



Dimensionnement de la compensation *ex ante* des atteintes à la biodiversité

État de l'art des approches,
méthodes disponibles et pratiques en vigueur

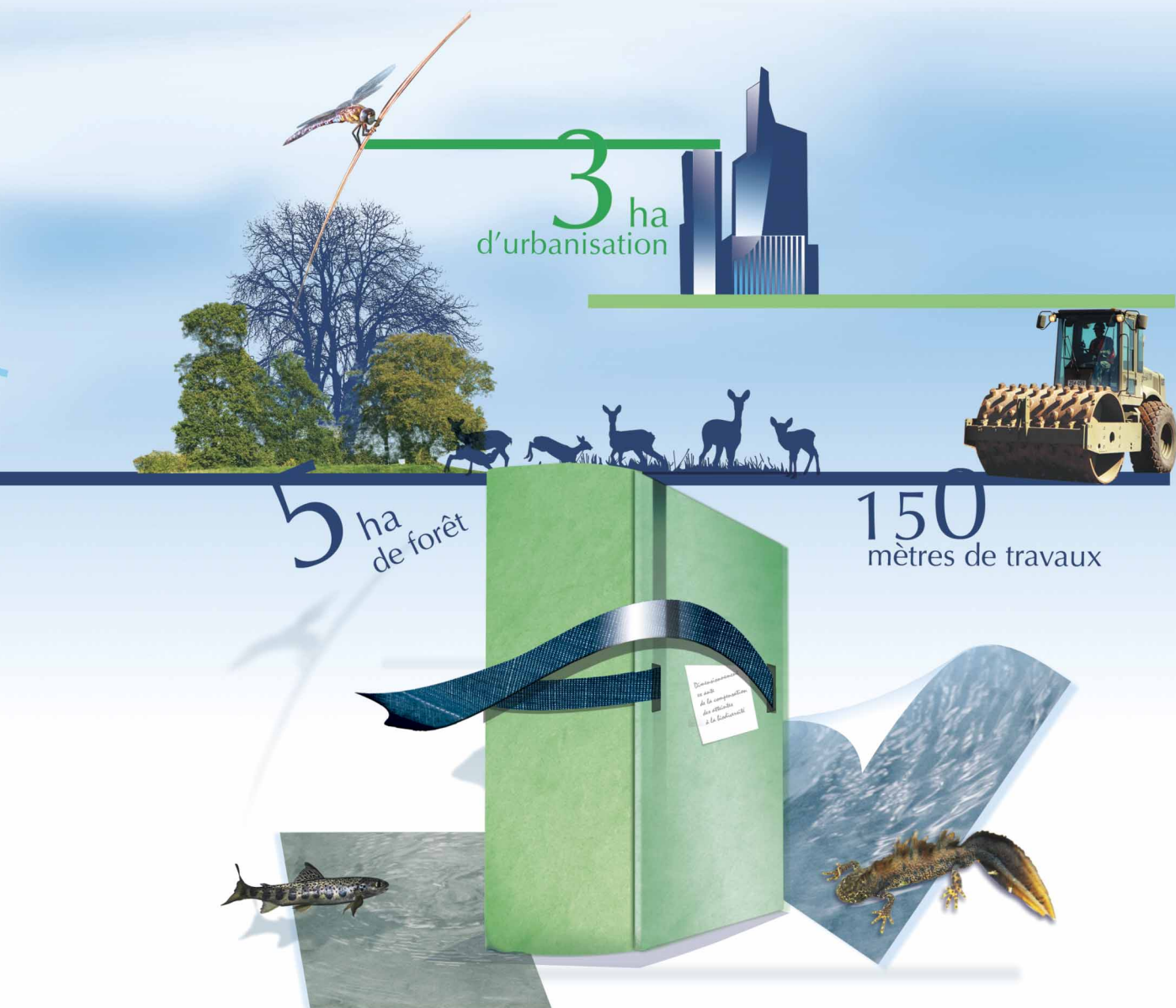
Hélène Truchon - Véronique de Billy - Lucie Bezombes - Brian Padilla

Au 1^{er} janvier 2020, l'Office français de la biodiversité regroupe les 2 700 agents de l'Agence française pour la biodiversité (AFB) et de l'Office national de la chasse et de la faune sauvage (ONCFS).

Cet établissement, sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et solidaire et du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, a cinq missions :

- la police de l'environnement ;
- la connaissance, la recherche et l'expertise sur les espèces et les milieux ;
- l'appui à la mise en œuvre des politiques publiques de la biodiversité ;
- la gestion et l'appui aux gestionnaires d'espaces naturels ;
- la mobilisation de la société civile.

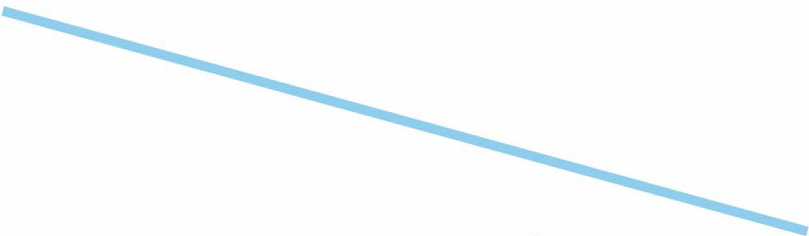
Cet ouvrage poursuit la collection "**Comprendre pour agir**" qui accueille des ouvrages issus de travaux de recherche et d'expertise mis à la disposition des enseignants, formateurs, étudiants, scientifiques, ingénieurs et des gestionnaires de la biodiversité. Il est consultable sur le site internet de l'Office français de la biodiversité (<https://professionnels.ofb.fr/fr/node/816>) et sur le portail documentaire partenarial *Les documents sur l'eau et la biodiversité* (www.documentation.eauetbiodiversite.fr)



Dimensionnement de la compensation *ex ante* des atteintes à la biodiversité

État de l'art des approches,
méthodes disponibles et pratiques en vigueur

Hélène Truchon - Véronique de Billy - Lucie Bezombes - Brian Padilla
Avec la contribution de Françoise Sarrazin et Pierre Boyer



Préface

Du renforcement de l'expertise et de l'ingénierie publiques au développement d'outils, de méthodes, et de formations, l'Agence française pour la biodiversité (AFB), aujourd'hui l'Office français de la biodiversité (OFB), contribue à améliorer les pratiques pour une application vertueuse de la séquence éviter, réduire, compenser (ERC) afin de concilier aménagement, développement économique et transition écologique. Elle est aussi un outil majeur qui est mobilisé par l'activité régaliennne de l'établissement pour répondre aux enjeux et aux grands défis du XXI^e siècle : lutter contre l'érosion de la biodiversité.

L'établissement est mobilisé depuis plusieurs années dans son application, que ce soit dans la prévention des atteintes à la biodiversité ou dans le contrôle de sa bonne mise en œuvre à travers la police de l'eau et de la nature. Cette implication a également été renforcée avec l'élaboration d'une feuille de route partagée avec le ministère de la Transition écologique et solidaire en 2019 et inscrite comme l'une de ses trois priorités.

Si cette feuille de route s'attache à travailler sur l'ensemble de ce triptyque dans le respect du séquencage des différentes phases, il est ici utile de réaffirmer l'importance de privilégier d'abord l'évitement et la réduction avant de poser la question de la compensation. C'est une condition préalable pour viser l'absence de perte nette de biodiversité.

Néanmoins, nous ne devons pas ignorer les enjeux forts qui subsistent sur la compensation et les difficultés que rencontrent les maîtres d'ouvrage pour proposer des projets exigeants et qualitatifs ou les services instructeurs de l'État pour les analyser et les contrôler. C'est la raison pour laquelle **par ses propres actions, son organisation, l'OFB a permis d'améliorer sa prise en compte et la qualité des projets d'aménagement** : augmentation d'un tiers de l'offre de formation sur la compensation, guide technique des bonnes pratiques environnementales en phase chantier pour accompagner les opérateurs économiques lors de leurs travaux, le centre national de ressources – ERC Biodiversité, etc.

Ce *Comprendre pour agir*, destiné à améliorer le dimensionnement de la compensation, propose une analyse des différentes méthodes de dimensionnement ainsi que des pratiques constatées dans les dossiers d'aménagement. Il vous propose un panorama de l'existant pour « mieux faire ensemble ».

Cet ouvrage viendra ainsi compléter et enrichir les travaux menés dans le cadre du groupe de travail national pour élaborer « une approche standardisée du dimensionnement *ex ante* des atteintes à la biodiversité ». Celle-ci offrira un cadre méthodologique, visant à harmoniser les pratiques de manière à favoriser la conduite de projets respectueux de l'environnement par les opérateurs économiques, les maîtres d'ouvrage et les services instructeurs de l'État.

Je vous souhaite une bonne lecture de cet ouvrage, que je souhaite utile à tous, pour protéger notre bien commun, la biodiversité !

Jean-Michel Zammitte
Directeur de la Police (2017 - 2019)



Résumé

La compensation des atteintes à la biodiversité consiste à apporter une **contrepartie aux incidences notables d'un projet sur l'environnement**, en tenant compte des espèces, des habitats naturels et des fonctions associées. Après l'évitement et la réduction, elle vise à réaliser des projets de moindre impact, respectant l'objectif « d'absence de perte nette, voire de gain de biodiversité ».

Veiller au respect de cet objectif nécessite de dimensionner séparément les **pertes de biodiversité engendrées par un projet** et les **gains apportés par la compensation**, puis d'en **vérifier l'équivalence**. À cette fin, de nombreuses méthodes ont été développées, engendrant parfois incompréhensions et inégalités de traitement entre projets. Aussi, l'harmonisation des pratiques en matière de dimensionnement *ex ante* de la compensation des atteintes à la biodiversité via le « développement d'une approche standardisée » constitue désormais une volonté forte de l'État (action 90 du Plan biodiversité ; MTES, 2018).

Afin d'y répondre, cette étude dresse une typologie des méthodes disponibles, présente un état de l'art des pratiques en vigueur et propose des pistes de réflexion en matière de dimensionnement de la compensation.

Au regard des méthodes actuellement développées, trois approches se distinguent :

- **l'approche par ratio minimal**, où seules les pertes de biodiversité sont calculées, sur la base de données essentiellement quantitatives (surfaces, linéaires ou volumes de milieux naturels concernés par le projet) et d'un ratio défini par défaut ;
- **l'approche d'équivalence par pondération**, qui estime les pertes et les gains de biodiversité puis en vérifie l'équivalence, sur la base d'une combinaison de critères de description de l'état initial des milieux, de leurs enjeux, de la nature et de l'intensité des impacts du projet, de la plus-value écologique générée par la compensation, des modalités de réalisation des mesures de compensation, etc. ;
- **l'approche d'équivalence entre écarts d'états des milieux**, qui vérifie l'équivalence entre les pertes et les gains de biodiversité sur la base d'une description des milieux naturels concernés par le projet ou la compensation, et de leurs trajectoires potentielles compte tenu de leur état initial, de leurs caractéristiques fonctionnelles, du contexte paysager, du projet, etc. Ces trajectoires sont estimées avant et après impact pour le site affecté par le projet, et avant et après actions écologiques pour le site de compensation.

En pratique, l'utilisation de ces méthodes reste peu fréquente, malgré le renforcement des attentes législatives à ce sujet. **Sur un panel de 135 projets, seule la moitié d'entre eux utilise une méthode dont la majorité estime uniquement les pertes de biodiversité.** En outre, l'évaluation de la nécessité de compenser les incidences significatives d'un projet sur la biodiversité varie entre milieux. Ainsi, les atteintes significatives aux cours d'eau et aux milieux marins sont moins fréquemment compensées, comparées à celles portées aux zones humides ou aux milieux terrestres.

L'analyse de l'assise réglementaire, de la robustesse et du caractère utilisable de 25 méthodes confirme les différences observées entre les trois approches précitées, et révèle une **forte hétérogénéité des critères utilisés entre méthodes**, et ce quelle que soit l'approche étudiée.

En conclusion, l'utilisation de l'approche par ratio minimal est déconseillée, cette dernière reposant sur une description insuffisante des milieux et ne vérifiant pas l'équivalence entre les pertes et les gains de biodiversité. En revanche, il est recommandé d'utiliser soit l'approche d'équivalence par pondération, notamment pour des milieux à enjeux faibles à forts, cette dernière offrant un bon compromis entre robustesse scientifique et utilisabilité ; soit l'approche d'équivalence entre écarts d'état des milieux, notamment pour les milieux ou espèces à enjeux forts à majeurs, cette dernière proposant une évaluation robuste de l'état des milieux. L'amélioration de la connaissance de la résilience des milieux devrait en outre améliorer l'évaluation de leurs trajectoires potentielles.

Mots clés :

Méthode, dimensionnement, zéro perte nette de biodiversité, compensation, proportionnalité, équivalence écologique, additionnalité, France



Sommaire

3	Préface
4	Résumé
8	Introduction
8	Un état de la biodiversité alarmant
9	Des engagements de la France visant à y remédier
9	La séquence ERC, une déclinaison technique de ces engagements
10	Mais des modalités d'application à préciser...
11	... dans une logique de simplification de l'instruction des projets
12	Un nécessaire état de l'art des méthodes et des pratiques en matière de dimensionnement <i>ex ante</i> de la compensation
13	I. Qu'est-ce que la compensation des atteintes à la biodiversité ?
21	II. Comment dimensionner les mesures de compensation ?
21	Étapes du dimensionnement
	Évaluation de la significativité des impacts et des pertes de biodiversité au droit du projet
	Vérification de l'équivalence qualitative et évaluation des gains de biodiversité au droit du site de compensation
	Ajustement de la réponse de compensation
25	Typologie des approches de dimensionnement disponibles
	Approche par ratio minimal
	Approche d'équivalence par pondération
	Approche d'équivalence entre écarts d'état des milieux

33	III. En pratique, quelles sont les approches utilisées ?
37	IV. Analyse comparée de ces approches
37	Assise réglementaire
38	Robustesse scientifique et technique
39	Indications sur le caractère utilisable
40	V. Que retenir ?
40	... en termes d'évaluation du caractère « significatif » des impacts négatifs résiduels à compenser
41	... en termes d'utilisation des approches ?
	Cas des méthodes fondées sur l'approche par ratio minimal
	Cas des méthodes issues de l'approche d'équivalence par pondération
	Cas des méthodes relevant de l'approche d'équivalence entre écarts d'état des milieux
45	... en termes de critères participant à l'évaluation des pertes et des gains de biodiversité
46	Conclusion et perspectives
50	Annexe - En savoir plus sur la caractérisation des approches de dimensionnement <i>ex ante</i> des atteintes à la biodiversité
58	Sigles et abréviations
59	Bibliographie
	Méthodes consultées
	Publications, guides, rapports
64	Auteurs, contributeurs et remerciements



Introduction

Un état de la biodiversité alarmant

Nous vivons actuellement la 6^e grande phase d'extinction massive de la biodiversité planétaire. Celle-ci n'épargne aucun territoire ni milieu naturel (terrestre, aquatique, marin), aucune espèce végétale ni animale. Les raisons majeures évoquées par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, 2019) et par la Plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES, 2019) sont la destruction, souvent irréversible, ou la dégradation des milieux naturels, par imperméabilisation, fragmentation, surexploitation, pollution, changement d'usage, colonisation par des espèces exotiques envahissantes, etc. En France, nombre de milieux naturels sont en mauvais état de conservation (cas de 55,2 % des masses d'eaux de métropole par exemple) et la liste des espèces menacées d'extinction ne cesse de s'allonger. Ce constat alarmant touche autant la biodiversité dite « ordinaire », que les espèces protégées emblématiques comme le Grand Hamster (*Cricetus cricetus*), le Vison d'Europe (*Mustela lutreola*), le Grand Cachalot (*Physeter macrocephalus*), le Saumon atlantique (*Salmo salar*), l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*), l'Écrevisse à pattes blanches (*Austropotamobius pallipes*), la Campanule cervicaria (*Campanula cervicaria*), la Violette élevée (*Violeta elatior*), la Nigelle des champs (*Nigella arvensis*), etc.

Considérée comme « patrimoine commun de la nation » (article L. 110-1 du code l'env.), la biodiversité rend de surcroît des services désormais reconnus comme facteurs de bien être pour l'homme en termes de sécurité, de cadre de vie, de santé, de relations sociales (Wallis *et al.*, 2013 ; Meral & Pesch, 2016 ; Efese, 2016 et 2018a, 2018b, 2019) :

- protection contre les risques naturels dont les inondations et l'érosion des sols ;
- épuration de l'eau et de l'air ;
- régulation de la température ;
- approvisionnement en eau potable, matériaux, énergie, nourriture ;
- apports culturels dont paysager, touristique, ludique, spirituel voire religieux, etc.

Ainsi, la FAO (2019) alerte sur le fait que « la biodiversité qui soutient nos systèmes alimentaires, à tous les niveaux, est en déclin dans le monde entier et menace l'avenir de notre nourriture ainsi que notre environnement ».

Ce constat général appelle une réaction des sociétés. Un certain nombre d'États prennent des mesures pour enrayer cette érosion de la biodiversité.

Des engagements de la France visant à y remédier

Afin de stopper cette érosion, la France contribue aux engagements internationaux et communautaires (directives et règlements européens) en matière de préservation de la biodiversité. Elle s'est notamment engagée à :

- ne pas dégrader l'état écologique et chimique des masses d'eaux superficielles et souterraines, ni l'état des milieux marins¹ ;
- maintenir en bon état de conservation, les espèces ou les habitats d'intérêt communautaire² ;
- préserver les espèces menacées par le trafic international (convention CITES) ;
- préserver les zones humides majeures (convention de Ramsar).

Ainsi, la Stratégie nationale pour la biodiversité 2011-2020 (Medde, 2012a) et le Plan biodiversité (MTES, 2018) visent à maîtriser les pressions anthropiques sur les milieux naturels et les espèces, et à améliorer l'efficacité des politiques de préservation de la biodiversité en faisant de celle-ci un enjeu positif pour les décideurs. De même, la Stratégie nationale de transition écologique vers un développement durable de 2015 à 2020 (Medde, 2014) cherche à préserver et à renforcer la capacité des territoires à fournir et à bénéficier des services écosystémiques apportés par la biodiversité.

La séquence ERC, une déclinaison technique de ces engagements

Pour répondre à ces objectifs, certaines pratiques doivent être adaptées, notamment en matière de planification et de réalisation des projets d'aménagement du territoire, de façon à **concilier le développement des activités humaines et la préservation de la biodiversité**. C'est tout l'objectif de la séquence ERC qui vise à réaliser des projets dits de « **moindre impact** »³, engendrant aucune « perte nette » voire tendant « vers un gain de biodiversité »⁴.

La séquence ERC constitue le **fil conducteur** de la prise en compte des enjeux environnementaux lors de la conception, de la réalisation puis de la mise en service d'un projet susceptible d'affecter des milieux naturels. Il s'agit à chaque étape du projet, de mobiliser successivement trois familles de mesures, la première ayant pour objet d'éviter tout impact du projet sur la biodiversité et les services écosystémiques associés, la deuxième visant à réduire ces impacts, et la troisième à les compenser en tenant compte des espèces, des habitats naturels et des fonctions associées⁵.



Réglementation

La séquence ERC en quelques mots...

Mise en place en 1976 par la loi relative à la protection de la nature, puis renforcée par la loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages (RBNP) de 2016, **la séquence ERC** constitue une déclinaison technique des engagements internationaux et communautaires de la France en matière de préservation de la biodiversité. Celle-ci s'applique aux documents de planification ainsi qu'aux projets d'aménagement susceptibles d'affecter des milieux naturels.

1 - Directive cadre européenne sur l'eau (2000) et directive cadre stratégie pour le milieu marin (2008).

2 - Directive Habitat/Faune/Flore (1992).

3 - Loi n°2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement.

4 - Principes généraux inscrits aux articles L. 110-1 et L. 163-1 du code de l'env.

5 - Articles L. 110-1 du code de l'env.

Mais des modalités d'application à préciser...

L'application vertueuse de la séquence ERC soulève de nombreuses questions sociétales, économiques et écologiques, et ce quels que soient les milieux concernés (Levrel *et al.*, 2015 et 2017 ; Jacob, 2017 ; Lombard-Latune, 2018 ; Scemana *et al.*, 2018 ; Calvet *et al.*, 2019). Un grand nombre de travaux en cours vise à promouvoir et à faciliter l'application de cette séquence, et particulièrement la partie « évitement ». Lorsque les impacts n'ont pu être ni évités, ni suffisamment réduits, la question de la compensation se pose, amenant un lot de questionnements. Parmi ces derniers, les moyens techniques de dimensionnement des mesures de compensation nécessitent d'être clarifiés et harmonisés (Sénat, 2017 ; MTES, 2018 ; MTES & AFB, 2018). Il convient désormais de raisonner en termes de « bilan écologique » et de veiller au respect de l'équivalence entre les pertes de biodiversité engendrées par le projet et les gains apportés par les mesures de compensation (Hubert *et al.*, 2019)⁶. Or, qualifier et quantifier ces pertes et ces gains puis en vérifier l'équivalence est un exercice complexe pour lequel, il importe de s'appuyer sur des méthodes dédiées.

En pratique, l'absence d'un cadrage méthodologique national engendre un foisonnement de méthodes, aux approches hétérogènes (Quétier, 2015 ; Méchin & Pioch, 2016 ; Bezombes *et al.*, 2018). La forte hétérogénéité des modalités de calcul des pertes et des gains de biodiversité entre projets complexifie l'appréciation de l'atteinte de l'objectif « d'absence de perte nette » de biodiversité, contribue à des inégalités de traitement des dossiers en phase d'instruction et fragilise les projets sur le plan juridique et économique (MTES & AFB, 2018). Le développement d'une « approche standardisée du dimensionnement de la compensation écologique dans le but de simplifier et d'homogénéiser les pratiques d'ici 2020 » (action 90 du plan Biodiversité ; MTES, 2018) a pour objectif de remédier à ces difficultés.

Les réglementations environnementales, dont la Direction de l'eau et de la biodiversité du ministère de la Transition écologique et solidaire a la charge, ont pour objectif d'assurer la protection et la restauration des milieux naturels et des écosystèmes.

Témoignages



Direction de l'eau et de la biodiversité

S'agissant de la maîtrise des impacts des projets sur les milieux, les réglementations reposent sur la mise en œuvre de la séquence éviter, réduire, compenser dont les principes sont définis par le code de l'environnement et les textes réglementaires pris en son application. Ces dispositions doivent garantir l'absence de perte nette de biodiversité lors de la mise en œuvre des projets et des activités, voire tendre vers un gain de biodiversité, dans le cadre d'une reconquête de la biodiversité, objectif assigné à la loi biodiversité 2016 et au plan biodiversité 2018.

Si dans tous les cas la priorité doit être donnée aux phases d'évitement puis de réduction des impacts des projets, le constat d'impacts résiduels significatifs après la mise en œuvre de ces deux étapes doit conduire à l'application de mesures compensatoires pour rétablir les éléments de biodiversité concernés dans un état répondant aux objectifs de protection et de restauration.

C'est dans ce contexte que le dimensionnement écologique de ces mesures revêt une importance particulière pour garantir l'atteinte des objectifs des réglementations environnementales. Fondé sur les expériences acquises et sur le développement des approches scientifiques et techniques, l'établissement d'une approche nationale harmonisée de ce dimensionnement doit faciliter la mise en œuvre des réglementations et conforter la qualité des mesures environnementales en faveur de la biodiversité.

6 - Objectif d'absence de perte nette voire de gain de biodiversité inscrit aux articles L. 100-1 et L. 163-1 du code de l'env.

... dans une logique de simplification de l'instruction des projets

Parallèlement à la précision des attendus du législateur en matière de mise en œuvre de la séquence ERC, les conditions d'instruction des projets ont été modernisées en 2017⁷. Les objectifs sont de concilier, à droit constant, les intérêts des pétitionnaires avec l'exercice des diverses polices administratives du code de l'environnement (MEEE, 2017 ; Lemaitre *et al.* 2017). Ces évolutions visaient à :

- simplifier les procédures d'autorisation, par la mise en place de l'autorisation environnementale qui intègre dans une procédure unique, plusieurs permis requis par diverses législations relevant ou non du code de l'environnement⁸ ;
- réduire les délais d'instruction, qui sont ainsi passés de 12 à 15 mois en moyenne, à 8 à 10 mois dans le cas général⁹ ;
- sécuriser les autorisations sur le plan juridique par un nouveau régime contentieux comprenant une réduction du délai de recours permettant aux tiers de contester une autorisation (de 12 mois à 4 mois) ; et permettant au juge d'annuler ou de réformer une décision d'autorisation, mais aussi d'en différer l'application dans le temps, voire d'encadrer la régularisation immédiate d'une autorisation jugée illicite.

Ce contexte de simplification des procédures et d'accélération de l'instruction des projets impose d'**anticiper** les modalités techniques d'application de la séquence ERC dès les phases amont de conception et de budgétisation des projets, au même titre que les contraintes socio-économiques ou géotechniques. Cette anticipation concerne les trois familles de mesures de la séquence ERC.



Témoignages

Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement Auvergne-Rhône-Alpes

En région Auvergne-Rhône-Alpes, la Dreal instruit chaque année une cinquantaine de dérogations à la protection des espèces dans le cadre de projets d'aménagements très divers, accompagnées de la mise en œuvre de mesures de compensations en faveur de celles-ci.

La mise en œuvre de l'autorisation environnementale se traduit par un changement profond des conditions d'instruction : co-instruction par plusieurs services traitant différents domaines (eau, ICPE...), en plus de la forte contraction des délais. À défaut d'approche standardisée de dimensionnement de la compensation, la mise en œuvre de ratios surfaciques plus ou moins pondérés reste largement dominante même si des méthodes plus élaborées émergent dans le cadre de projets importants. Un cadre permettrait :

- de faciliter la tâche des instructeurs, faire converger les pratiques et sécuriser les prescriptions ;
- d'éclairer les services sur les différentes approches méthodologiques de la compensation et leur pertinence au regard des divers types de projets (dimension, complexité...) ;
- de faciliter la mutualisation des différents enjeux (espèces protégées, trame verte et bleue, eau, défrichement, voire consommation d'espace agricole...).

La Dreal participe à plusieurs groupes de travail nationaux dont le groupe d'échange avec le CNPN, et le groupe de travail « dimensionnement de la compensation », afin d'améliorer le suivi des mesures déjà prescrites pour évaluer leur mise en œuvre et leur pertinence.

7 - Ordonnance n°2017-80 du 26 janvier 2017 ; Décret n°2017-81 du 26 janvier 2017 relatifs à l'autorisation environnementale.

8 - Autorisation au titre des ICPE ou des Iota « loi sur l'eau », dérogations à l'interdiction d'atteinte aux espèces et habitats protégés, autorisations de défrichement, notice d'incidences Natura 2000, etc.

9 - Selon les trois phases successives suivantes : examen de 2-4 mois, enquête publique de 3 mois, décision de 1 mois.

Un nécessaire état de l'art des méthodes et des pratiques en matière de dimensionnement *ex ante* de la compensation

Dans l'objectif d'améliorer les conditions d'application et l'efficacité de la séquence ERC, il s'agit de proposer des solutions pragmatiques de dimensionnement *ex ante* des mesures de compensation répondant notamment aux modalités de :

- caractérisation des impacts négatifs résiduels significatifs à partir desquels des mesures de compensation doivent être proposées ;
- choix des critères participant à la caractérisation et à la quantification des pertes ou des gains de biodiversité (état des milieux, des espèces et des fonctions concernés ; enjeux écologiques associés ; nature, intensité et étendue des impacts engendrés par le projet ; plus-value écologique des actions menées au droit des sites de compensation, etc.) ;
- mutualisation potentielle des composantes milieux et espèces, dans le calcul des pertes et des gains de biodiversité ;
- pondération éventuelle de l'intensité des impacts du projet d'une part ou de la plus-value écologique engendrée par la compensation d'autre part, en fonction du contexte et des enjeux locaux, et des modalités de réalisation des travaux ou de mise en œuvre des mesures de compensation (Figure 1).

À cette fin, cette étude a pour objectifs de :

- dresser un premier bilan des différentes approches disponibles en France en matière de dimensionnement de la compensation *ex ante* des atteintes à la biodiversité ;
- caractériser les pratiques en vigueur ces dix dernières années en matière de dimensionnement de la compensation par les maîtres d'ouvrage, ceci dans un contexte de précision des attendus réglementaires et de simplification des procédures d'autorisation des projets ;
- analyser l'assise réglementaire, la robustesse et le caractère utilisable des approches disponibles, afin d'identifier leurs avantages et limites dans l'exercice de la Police administrative et de définir les pistes d'amélioration à venir ;
- réaliser des premières recommandations en termes de dimensionnement de la compensation *ex ante* des atteintes à la biodiversité, visant la conception effective de projets de « moindre impact ».



Qu'est-ce que la compensation des atteintes à la biodiversité ?

Les mesures de compensation consistent à apporter une « contrepartie aux incidences négatives notables, directes ou indirectes, d'un projet sur l'environnement, qui n'ont pu être ni évitées ni suffisamment réduites » (article R. 122-13 du code de l'env. s'appliquant aux projets soumis à étude d'impact et, par analogie, aux autres procédures). Elles visent l'**absence de perte nette voire un gain de biodiversité**, ce qui signifie le maintien voire le rétablissement de la qualité environnementale et des fonctions associées aux milieux naturels affectés par un projet, conduisant à un bilan écologique neutre voire à une amélioration globale de la valeur écologique du site et de ses environs (articles L. 110-1 et L. 163-1 du code de l'env.).

Afin de respecter cet objectif, le choix des sites de compensation, le dimensionnement et la mise en œuvre des mesures sont régis par de nombreux principes réglementaires (Medde, 2013 ; de Billy *et al.*, 2015 ; Bassi, 2016 ; Dreal Paca et Occitanie, 2018) (Tableau 1).

De nombreux guides, rapports et notes techniques citent des exemples de mesures de compensation par type de milieux tels qu'indiqués ci-après (Anras & le Moing, 2013 ; Prevors & Perret, 2014 ; Alligand *et al.*, 2018 ; etc.) :

- **milieux littoraux** : dépoldérisation, renaturation/restauration/réhabilitation de milieux littoraux au droit de friches (anciennes zones portuaires, industrielles ou aquacoles), rétablissement de la connectivité marais littoral/mer par effacement, déplacement ou ouverture partielle d'ouvrages de protection non fonctionnels visant la lutte contre l'érosion (digue, épi, brise lame, tapis anti-affouillement), restauration de zones estuariennes par suppression de remblais, etc. ;

- **milieux marins** : nettoyage des fonds marins par enlèvement de corps morts, de récifs artificiels non fonctionnels, de macro-déchets, d'engins de pêche perdus ; restauration d'écosystèmes coralligènes à l'aide de matériaux biogènes pour la fixation des espèces, etc. ;

- **cours d'eau** : restauration des conditions morphologiques du lit mineur d'un cours d'eau anciennement rectifié, curé ou recalibré par remise en place dans le thalweg initial, calage altitudinal, reméandrage, diversification des faciès d'écoulements, etc. ; restauration de la continuité écologique longitudinale, par effacement, arasement ou équipement d'un seuil transversal ; restauration de l'espace de mobilité d'un cours d'eau par dé-talutage des berges, arasement ou effacement d'une digue, etc. ;

- **plans d'eau et lacs** : réengraissement de frayère au moyen de matériaux sélectionnés de taille propice à la reproduction de l'espèce ; restauration écologique d'une confluence entre un cours d'eau et un lac ;

- **mares** : création ou renaturation d'un réseau de mares interconnectées ;

- **zones humides** : restauration des conditions d'alimentation et de circulation de l'eau par dé-drainage, comblement de fossés ou de rigoles ; déblaiement partiel ou total d'une zone humide située hors chantier (avec évacuation des matériaux déposés) ;

- **milieux terrestres** : mise en place d'îlots de sénescence ; réouverture d'une lande par débroussaillage d'espèces ligneuses et abattage d'arbres suivis de modalités de gestion conservatoire du site adaptées ; renaturation d'une friche industrielle par désimperméabilisation des sols, réensemencement en utilisant une banque de graine locale, etc. ; création d'aires d'alimentation pour les rapaces en dehors de parcs éoliens ; rétablissement de continuités écologiques entre les gîtes et les territoires de chasse, etc.

Principe réglementaire	Description
Proportionnalité	<p>Le niveau de détail des informations attendues dans un dossier doit être adapté :</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ aux enjeux associés aux milieux naturels, espèces ou fonctions affectés par le projet ; ■ au projet et à ses incidences prévisibles sur ces milieux espèces ou fonctions (nature, intensité et étendue des impacts engendrés) <p>La qualité de l'état initial et les mesures ERC doivent être définies en fonction des enjeux associés aux milieux et des impacts engendrés par le projet. Ces mesures doivent prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement à un coût économiquement acceptable</p>
Équivalence	<p>La réparation des impacts résiduels significatifs du projet sur les espèces, les habitats et les fonctions doit intervenir « en nature »</p> <p>Équivalence qualitative et fonctionnelle : une mesure de compensation doit cibler les mêmes composantes (en termes d'espèces, d'habitats et de fonctions) que celles détruites, dégradées ou altérées</p> <p>Équivalence quantitative : une mesure de compensation doit engendrer un « gain » de biodiversité au moins équivalent aux « pertes »</p>
Proximité géographique & temporelle	<p>Une mesure de compensation doit être :</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ située à proximité du (des) site(s) affecté(s), de manière à maintenir ou rétablir le fonctionnement des communautés, populations et autres composantes physiques ou biologiques concernées (notion de proximité fonctionnelle) ; ■ effective rapidement, afin de prévenir les dommages et notamment d'éviter tout dommage irréversible (ex : maintien du cycle biologique des espèces protégées)
Faisabilité	<p>Le génie écologique doit être éprouvé et techniquement faisable sur les sites de compensation retenus</p>
Efficacité	<p>Les mesures de compensation doivent être assorties d'objectifs de moyen et de résultat exprimés de manière claire, précise et contrôlable.</p> <p>Les actions écologiques et le programme de gestion conservatoire envisagés sur le site de compensation doivent permettre d'atteindre les objectifs écologiques visés par la compensation. Ces actions et programmes doivent être suivis dans le temps et ajustés/complétés si besoin au fil du temps au regard des résultats obtenus</p>
Plus-value écologique	<p>Une mesure de compensation doit générer un gain écologique qui n'aurait pas pu être atteint en son absence. Ce dernier dépend de la nature, de l'intensité et de la durée des travaux de génie écologique et du programme de gestion conservatoire envisagés</p>
Additionnalité	<p>Additionnalité aux engagements publics : une mesure de compensation doit s'ajouter aux actions publiques en matière de protection de la nature éventuellement prévues sur le site, ou les conforter sans s'y substituer</p> <p>Additionnalité aux engagements privés : une même mesure ne peut compenser les impacts de différents projets, ni au même moment, ni dans le temps ; elle ne peut servir à mettre en œuvre des engagements privés déjà pris par ailleurs (ex : mesure de compensation prévue sur un autre projet)</p>
Pérennité	<p>Les mesures de compensation doivent être effectives pendant toute la durée des atteintes</p>
Cohérence, complémentarité	<p>Pour un même projet :</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ différentes mesures de compensation peuvent être proposées au titre de différentes réglementations. Leurs interactions doivent être vérifiées ; ■ mutualisation : un même site de compensation peut accueillir différentes actions écologiques favorables aux différentes composantes environnementales affectées par le projet et visées par différentes réglementations (milieux aquatiques et humides, espèces protégées, Natura 2000, milieux marins, milieux terrestres, etc.) <p>Pour différents projets : une même mesure ne peut compenser les impacts de différents projets, ni au même moment, ni dans le temps</p> <p>Le développement de synergies entre maîtres d'ouvrage pour rechercher et mettre en œuvre des mesures de compensation à proximité géographique ou fonctionnelle est à favoriser</p>



© Pierre Boyer - pour la CdC Biodiversité

Milieux terrestres

Projet : autoroute A65 - maître d'ouvrage : A'lienor (coteaux du Gabas, département Pyrénées-Atlantiques)
 Mesure de compensation : restauration de pelouses sèches marnicoles en contrepartie de l'atteinte aux habitats du Damier de la Succise. Débroussaillage (bucheronnage, réouverture milieux), clôture et remise en pâturage sur 5 ha en site Natura 2000 « Coteaux du Tursan » (en complément du Docob).
 Date de réalisation des travaux : 2018.



Michel Bramard - OFB

Milieux terrestres

Projet : LGV Sud Europe Atlantique - maître d'ouvrage : LISEA.
 Mesure de compensation : replantation de haies de Benjes au sein du bocage de Chaunay et gestion conservatoire par le Cren Poitou-Charentes.
 Département de la Vienne.



© Pierre Boyer pour la CdC Biodiversité

Milieux terrestres

Projet : autoroute A65 - maître d'ouvrage : A'lienor (département Landes).
 Mesure de compensation : restauration de prairies oligotrophes sur ancien champ de maïs et saulaie, en contrepartie de l'atteinte aux habitats du Damier de la Succise. Entretien par débroussaillage et broyage annuel.
 Date de réalisation des travaux : 2011.



© Michel Bramard - OFB

Cours d'eau

Projet : LGV Sud Europe Atlantique - maître d'ouvrage : COSEA/LISEA.
 Mesure de compensation « cours d'eau » par reméandrage de l'Echandon.



© Frédéric Fromager - OFB

Cours d'eau

Projet : autoroute A89 - maître d'ouvrage : Autoroute du Sud de la France (ASF).
 Mesure de compensation : augmentation de la transparence hydraulique et restauration de la continuité écologique au droit d'un franchissement hydraulique.
 Remplacement d'un pont cadre (dit "passage inférieur à cadre fermé" - P.I.C.F.) comprenant une chute infranchissable en aval immédiat du radier béton, par un pont poutre (dit "passage inférieur en portique ouvert" - P.I.P.O.) enjambant le lit mineur et les berges.
 Date de réalisation des travaux : 2014



© Frédéric Fromager - OFB



© Michel Leroux - OFB

Cours d'eau

Projet : LGV Bretagne Pays de la Loire - maître d'ouvrage : Eiffage Rail Express.

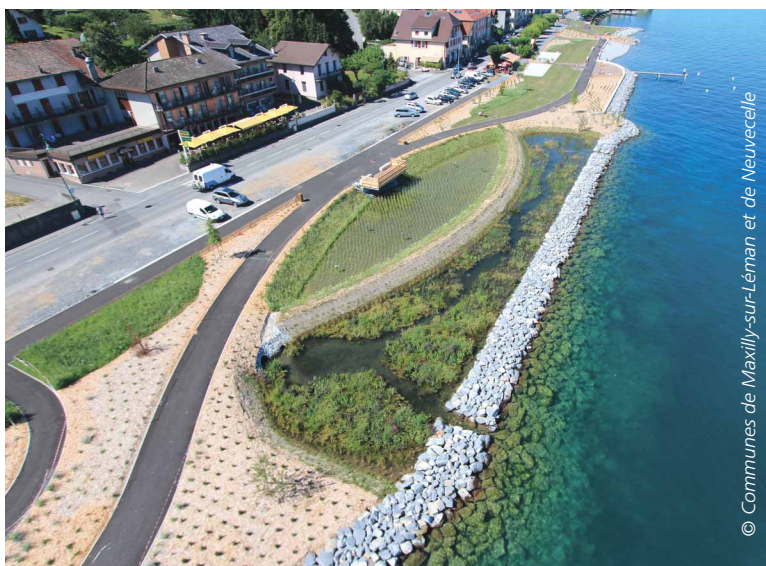
Mesure de compensation reméandrage et plantation d'une ripisylve le long d'un petit cours d'eau de tête de bassin versant. Date de réalisation des travaux : 2015.



© Pierre Boyer - pour la Cdc Biodiversité

Plans d'eau et lacs

Projet : autoroute A65 - maître d'ouvrage : A'lienor. Mesure de compensation : création de zones marécageuses, en contrepartie de l'atteinte aux habitats de la loutre, de la cistude d'Europe et d'un cortège d'amphibiens. Reprofilage d'un étang par création de hauts fonds. Site du Pont Long, département des Pyrénées-Atlantiques. Date de réalisation des travaux : 2017-2018.



© Communes de Maxilly-sur-Léman et de Neuvécelle

Plans d'eau et lacs

Projet : lutte contre l'érosion des berges et création d'un espace de loisirs sur le lac Léman - maître d'ouvrage : communes de Maxilly-sur-Léman et de Neuvécelle. Mesure de compensation : augmentation de la mosaïque locale d'habitats aquatiques par création d'une zone humide artificielle en arrière de la digue & rétablissement de la confluence du Maraîche avec le Léman sur la station « Petite-Rive et Grande-Rive ». Date de réalisation des travaux : 2012-2013.



© Julie Morvan - Amonia environnement

Mares

Projet : modernisation de la ligne SNCF
Toulouse-Bayonne - maître d'ouvrage :
SNCF réseau.

Mesure de compensation : création d'une mare
en contrepartie de la perte d'habitats pour
l'herpétofaune (dont triton palmé, crapaud
épineux, crapaud accoucheur, lézard à deux
bandes, lézard des murailles, couleuvre verte et
jaune et couleuvre helvétique).

Débroussaillage, terrassement comprenant 810 m²
de surface miroir et 28 m² d'îlot de thermorégulation.
Profondeur : 1,20 m maximum.

Pentes : 3/1. Lannemezan, département des
Hautes-Pyrénées.

Date de réalisation des travaux : 2018.



© Pierre Boyer - pour la CdC Biodiversité

Zones humides

Projet : autoroute A65 -
maître d'ouvrage : A'lienor.
Mesure de compensation :
restauration de landes humides
à molinie en contrepartie de
l'atteinte aux habitats du fadet
des laïches. Bouchage partiel
et modification des profils en
travers des fossés de drainage
(élargissement et réhausse du
fond) sur environ 500 ha.

Département des Landes.
Date de réalisation des travaux :
2018-2020.



© Pierre Boyer - pour la CdC Biodiversité



© Julie Morvan - Amonia environnement

Zones humides

Projet : modernisation de la ligne SNCF Toulouse-Bayonne - maître d'ouvrage : SNCF réseau.
 Mesure de compensation : restauration d'une zone humide dégradée.
 Suivi en continu du degré d'hydromorphie des sols à l'aide de trois piézomètres et de sondes d'enregistrement de type Mini-Diver. Lannemezan, Château Barbé, département des Hautes-Pyrénées.
 Date de réalisation des travaux : 2018.



© Véronique de Billy - OFB

Zones humides

Projet : Autoroute A65 - objectif : renaturation d'habitats d'espèces protégées (espèce « parapluie » : élanion blanc) et de zones humides ; site : landes du Pont Long.
 Conversion de maïsicultures en prairies humides, par modification des pratiques culturales (arrêt de la culture de maïs, ensemencement des terrains par un mélange prairial composé de 5 graines précoces et tardives ; arrêt de l'entretien des drains ; mise en défens des terrains ensemencés ; arrêt des traitements phytosanitaires ; gestion conservatoire du site par fauche tardive et pâturage extensif) - Département des Pyrénées Atlantiques. Date de commencement des travaux : 2011/2012.



© Julie Morvan - Amonia environnement

Zones humides

Projet : parc photovoltaïque de Cestas - maître d'ouvrage : NEOEN/Clemessy.
 Mesure de compensation : restauration d'une lande humide en contrepartie de l'atteinte aux habitats du fadet des laïches. Décapage du sol puis ensemencement avec des pieds de molinie prélevés hors zone sensible au moment des opérations de défrichage pour le parc - Cestas, département des Hautes-Pyrénées -
 Date de réalisation des travaux : 2012.



© Xavier Rozec - OFB

Milieu marin

Projet : construction d'un nouveau quai à Port-Vendres (Conseil départemental des Pyrénées Orientales).

Mesure de compensation : installation d'une zone de mouillage et d'équipement léger (ZMEL) sur les herbiers de la baie de Paulilles (commune de Port-Vendres), en compensation de la destruction de mat de posidonies.

Cet équipement limite les incidences des ancres des bateaux sur les fonds marins (ragage et abrasion).

Installation programmée : 2024.

Bouée de mouillage écologique utilisée pour les ZMEL.



© Emmanuelle Rivas - OFB

Corps mort utilisé pour le mouillage des bateaux au-dessus d'un herbier de Posidonie (Porquerolles).



© Nicolas Dallas (Oceanide)

Zoom sur un herbier de posidonies (*Posidonia oceanica*), comprenant une Girelle commune (*Coris julis*) et plusieurs Castagnoles (*Chromis chromis*) en arrière-plan.

2



Comment dimensionner les mesures de compensation ?

Les maîtres d'ouvrage sont libres de proposer leurs propres méthodes de dimensionnement de la compensation. Ces dernières doivent néanmoins respecter les principes réglementaires régissant la compensation (Tableau 1 page 14), et être compatibles avec les dispositions des documents de planification relatives à ce sujet (Sdage, Sage, PGRI, etc.).

Étapes du dimensionnement

Cinq étapes sont nécessaires au dimensionnement de la compensation des atteintes à la biodiversité :

Étape 1. Caractérisation des composantes environnementales du site affecté par le projet et des impacts négatifs résiduels significatifs engendrés

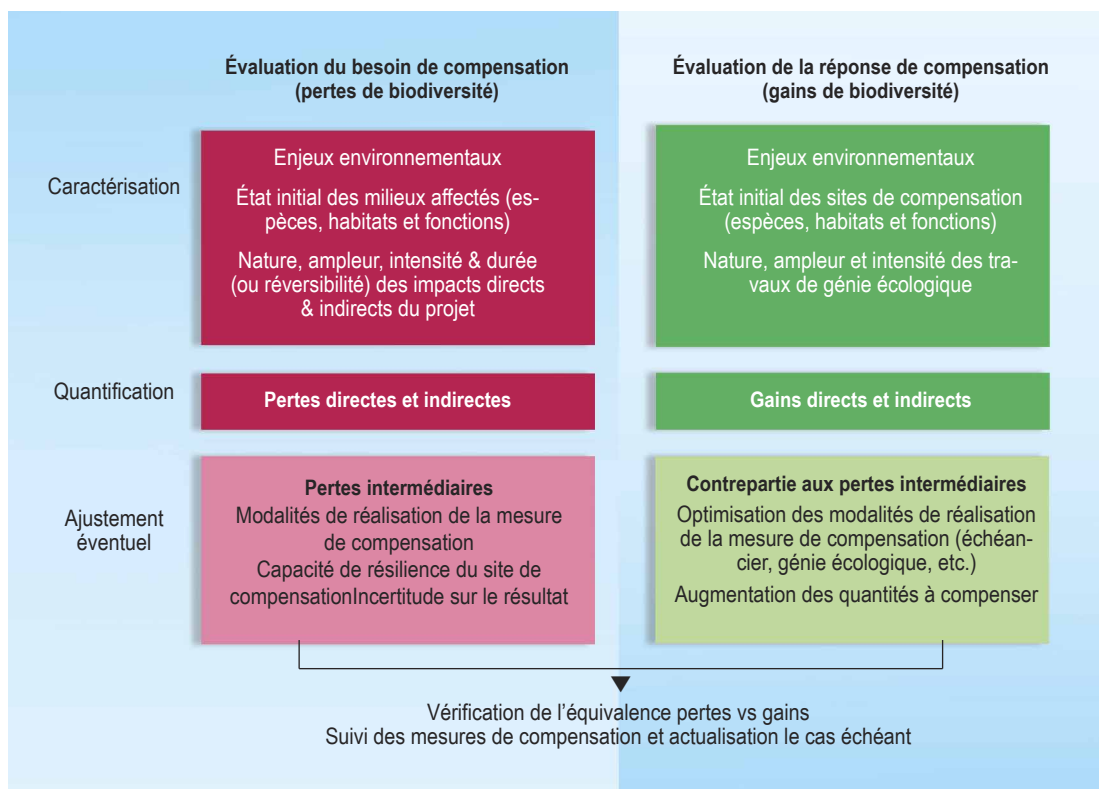
Étape 2. Évaluation des pertes de biodiversité (dites aussi « besoin de compensation » ou « dette environnementale »)

Étape 3. Caractérisation des composantes environnementales du site de compensation ; puis vérification de son équivalence qualitative avec le site affecté par le projet (au regard de sa trajectoire potentielle en termes d'espèces, d'habitats et de fonctions compte tenu des actions écologiques envisagées)

Étape 4. Évaluation des gains de biodiversité engendrés par les actions envisagées sur le site de compensation (dits aussi « réponse » ou « offre de compensation »)

Étape 5. Ajustement de la proposition de compensation, selon un processus itératif, veillant à vérifier l'équivalence quantitative entre les pertes et les gains de biodiversité (Figure 1)

Figure 1



Étapes du dimensionnement des pertes et gains de biodiversité (adapté de de BILLY et al., 2015).



L'importance de l'état initial face aux incertitudes de la compensation

Les pertes et les gains de biodiversité qui résultent des impacts engendrés par les projets ou des actions écologiques réalisées sur les sites de compensation varient selon le type de milieux, d'espèces et de fonctions concernés, leur état de conservation et leurs enjeux. Aussi, la **qualité des états initiaux** réalisés à la fois sur le site affecté par le projet et sur le site de compensation, et la bonne prise en compte des **fonctions** et des **enjeux environnementaux** associés à ces milieux, conditionnent la robustesse des calculs. Il faut toutefois garder à l'esprit que ces calculs présentent une part d'incertitude inhérente à l'objet complexe qu'est la biodiversité.

■ Évaluation de la significativité des impacts et des pertes de biodiversité au droit du projet

Les impacts négatifs résiduels et leur caractère significatif ou notable sont évalués au regard :

- des **caractéristiques du site concerné par le projet**. Ceci nécessite :
 - une étude de l'ensemble des composantes environnementales susceptibles d'être affectées par le projet (espèces, habitats naturels et fonctions physiques, biogéochimiques ou biologiques associées), exception faite des services écosystémiques¹⁰ (qui nécessiteraient une analyse socio-économique complémentaire non prévue au code de l'environnement). Cette étude suppose la réalisation d'un état initial complet du site concerné par le projet et des milieux adjacents (aire d'étude),
 - une estimation des enjeux écologiques ou de conservation associés à ces composantes (statut de protection, degré de menace, rareté, patrimonialité, importance des fonctions, etc.) ;
- des **caractéristiques du projet lui-même**, nécessitant une analyse de l'ensemble de ses incidences sur les composantes environnementales précitées. À ce titre, l'ensemble des opérations envisagées (aménagement, installations, ouvrages, travaux, activités, etc.), et leurs modalités de réalisation sur le chantier puis de mise en activité ou d'exploitation, sont caractérisées en tenant compte des mesures d'évitement et de réduction envisagées. Cette analyse doit être effectuée à différentes échelles spatiales, afin d'intégrer les impacts directs du projet au droit de son emprise, ses impacts indirects sur les milieux adjacents ou récepteurs, et ses impacts cumulés ou induits au regard des autres activités anthropiques¹¹.

Les **pertes de biodiversité** sont ensuite calculées sur la base de ces critères, en procédant soit séparément, par types d'habitats, d'espèces ou de fonctions ; soit de manière mutualisée, en tenant compte des espèces, des habitats et des fonctions simultanément.

■ Vérification de l'équivalence qualitative et évaluation des gains de biodiversité au droit du site de compensation

Préalablement au calcul des gains de biodiversité, il convient de vérifier l'équivalence dite « qualitative » entre le site affecté par le projet et le site de compensation, gage d'une réponse de compensation pertinente, répondant aux principes de la réglementation.

10 - Article L. 110-1 du code de l'env.

11 - Autorisation environnementale (article L. 181-1 du code de l'env.) et déclaration loi sur l'eau article R. 214-32 du code de l'env.

Cette vérification est effectuée sur la base :

- de la comparaison des composantes environnementales entre ces deux sites, en focalisant plus particulièrement son attention sur les espèces, les habitats naturels et les fonctions affectées par le projet et donc ciblées par la compensation ;
- de l'étude de la trajectoire potentielle du site de compensation, compte tenu des actions écologiques envisagées.

La plus-value écologique des mesures de compensation peut être ensuite évaluée au regard :

- de la nature et de l'état de conservation du site de compensation ;
- du paysage, comprenant les relations entre le site de compensation et son environnement (isolement ou au contraire bonne connectivité) ;
- de la nature, de l'intensité et de l'étendue des actions écologiques envisagées sur le site.

L'ensemble de ces critères conditionnent en effet l'efficacité des actions écologiques envisagées sur un site particulier.

Les gains de biodiversité sont ensuite calculés sur la base de ces critères, en procédant soit séparément par types d'habitats, d'espèces ou de fonctions ; soit de manière mutualisée, en combinant l'ensemble de ces critères.

■ Ajustement de la réponse de compensation

L'équivalence quantitative entre les pertes et les gains de biodiversité doit ensuite être vérifiée. En cas d'insuffisance des gains par rapport aux pertes, la mesure de compensation peut être ajustée (en nature ou en quantité) ou complétée par une autre mesure le cas échéant. L'équivalence doit alors être de nouveau vérifiée, selon **un processus itératif**.

À noter que, les résultats obtenus avec une méthode ne permettent pas de s'affranchir des dispositions des documents de planification (Sdage, Sage, etc.). Il convient donc de vérifier leur compatibilité avec les dispositions de ces documents.

Enfin, il est primordial de suivre l'efficacité des différentes actions écologiques et de gestion conservatoire mises en œuvre sur le site de compensation tout au long de la durée d'engagement du maître d'ouvrage pour, qu'en cas de non atteinte des objectifs en pratique (ceux-ci étant jusqu'alors évalués de manière théorique), un ajustement de ces actions ou modalités de gestion soit effectué (mesures correctives) ou d'autres mesures de compensation soient proposées.

Les critères utilisés dans ce processus de dimensionnement peuvent varier entre méthodes. La figure 2 page suivante propose une typologie de ces critères, accompagnée d'exemples issus des méthodes étudiées (Voir chapitre IV).

Figure 2

	PERTES Site affecté par le projet	GAINS Site de compensation
État initial	<p>Site</p> <p>État du milieu, de la population au sein du site impacté (richesse floristique et faunistique, niveau d'eutrophisation, nombre d'espèces exotiques envahissantes, pourcentage de recouvrement végétal, nombre d'espèces par strate, etc.) Connexion/isolement du site impacté avec des milieux naturels (linéaire de haies, niveau de fragmentation des habitats, surface de corridor écologique, etc.)</p>	<p>Site</p> <p>État du milieu, de la population au sein du site de compensation (richesse floristique et faunistique, niveau d'eutrophisation, nombre d'espèces exotiques envahissantes, pourcentage de recouvrement végétal, nombre d'espèces par strate, etc.) Connexion/isolement du site de compensation avec des milieux naturels (linéaire de haies, niveau de fragmentation des habitats, surface de corridor écologique, etc.)</p>
Périmètre élargi	<p>Périmètre élargi</p> <p>Caractéristiques des milieux adjacents au site impacté (composition, structure et type d'habitat impacté, zones favorables à l'espèce impactée à proximité du site de compensation, etc.) Résistance & résilience (degré de tolérance, plasticité, vulnérabilité des espèces aux pressions et aux impacts, capacités de colonisation, capacités d'évitement de l'impact, etc.)</p>	<p>Périmètre élargi</p> <p>Caractéristiques des milieux adjacents au site de compensation (composition, structure et type d'habitat, zones favorables à l'espèce ciblée par la compensation à proximité du site de compensation, etc.) Dynamique/résilience du milieu accueillant les mesures de compensation ou de l'espèce ciblée par la compensation (dynamique des écosystèmes coralligènes, puissance spécifique du cours d'eau, etc.)</p>
Enjeux / Statuts	<p>Rareté (rareté de plus-value de l'espèce, la plus-value écologique de l'habitat ou de la fonction à différentes échelles spatiales, etc.) Aire de répartition spatiale (endémisme, distribution spatiale, etc.) Degré de menace d'extinction (listes rouges, responsabilité régionale, pression(s) subie(s), etc.) Statuts de protection (APPB, listes de classement des cours d'eau, sites Natura 2000, etc.) Zonages, planification (Parc naturel régional, Aire marine protégée, SRCE-Trame verte et bleue, ZNIEFF, etc.)</p>	<p>Rareté (rareté de l'espèce, de l'habitat ou de la fonction à différentes échelles spatiales, etc.) Aire de répartition spatiale (endémisme, distribution spatiale, etc.) Degré de menace d'extinction (listes rouges, responsabilité régionale, pression(s) subie(s), etc.) Statuts de protection (APPB, listes de classement des cours d'eau, sites Natura 2000, etc.) Zonages, planification (Parc naturel régional, Aire marine protégée, SRCE-Trame verte et bleue, ZNIEFF, etc.)</p>
Nature et ampleur des impacts / actions écologiques	<p>Nature de l'opération (liste des natures d'opération par type de milieu) Nature de l'impact (durée et réversibilité de l'impact) Intensité/ampleur de l'impact (degré d'intensité, pourcentage d'espèces par habitat impacté, etc.) Cumul de cet impact avec d'autres projets / activités (type d'impact cumulé, proximité avec l'impact cumulé)</p>	<p>Nature des actions écologiques (liste des actions par type de milieu) Nature de la plus-value écologique Intensité/ampleur (degré d'intensité, pourcentage d'espèces par habitat restauré, etc.) Cumul de cette plus-value écologique avec d'autres projets ou activités (type de plus-value cumulée, proximité entre les milieux restaurés)</p>
Critères incitatifs ou de prise en compte des pertes intermédiaires	<p>Nature et efficacité des mesures de réduction Pertinence de la recherche d'alternatives (mesures d'évitement)</p>	<p>Modalités de la sécurisation foncière (durée en années, type de contrat ou convention, etc.) Quantification et caractérisation du niveau d'équivalence sur le plan qualitatif (pourcentage de milieux équivalents, fonctions sur site impacté vs site de compensation, etc.) Décalage temporel entre impact et mise en œuvre ou efficacité de la mesures de compensation (durée en années) Proximité géographique de la mesures de compensation avec le site affecté par le projet (distance à l'échelle du bassin versant, de la masse d'eau, de la zone bio-géographique, etc.) Durée et nature du suivi</p>

Typologie des critères pouvant participer à la quantification des pertes ou des gains de biodiversité et exemples de critères recensés au sein de méthodes de dimensionnement de la compensation issues de la littérature ou de dossiers d'évaluation environnementale.

Typologie des approches de dimensionnement disponibles

Les études scientifiques menées sur l'équivalence écologique d'une part (Fennessy *et al.*, 2007 ; Bull *et al.*, 2014; Bezombes *et al.*, 2017), et les pratiques actuelles en termes de dimensionnement de la compensation lors de la conception et de l'instruction des projets d'autre part, permettent d'identifier trois types d'approche :

- approche par ratio minimal ;
- approche d'équivalence par pondération ;
- approche d'équivalence entre écarts d'état des milieux.

Au sein de ces trois approches, les méthodes peuvent être :

- « holistiques » (ou « généralistes »), l'ensemble des composantes environnementales affectées par le projet (espèces, habitats et fonctions), étant simultanément prises en compte dans le dimensionnement de la compensation ;
- ou « spécialistes », les pertes et les gains de biodiversité étant alors évalués sur la base d'une seule composante environnementale. Il peut s'agir :
 - d'un type de milieu en particulier (ex : dans le cas d'une méthode « zone humide », seules les surfaces en habitats humides sont prises en compte dans les calculs),
 - d'un groupe d'espèces voire d'une seule espèce (dite espèce « parapluie ») susceptible de représenter les besoins écologiques de l'ensemble des autres espèces présentes,
 - ou des fonctions.

À noter que dans le cas de l'utilisation de méthodes dites « spécialistes » au sein des dossiers d'évaluation environnementale :

- soit plusieurs méthodes sont utilisées pour évaluer séparément les pertes et les gains de biodiversité engendrés par le projet sur chaque composante environnementale affectée ;
- soit une seule méthode est utilisée, cette dernière étant considérée comme représentative des pertes ou des gains engendrés par le projet pour l'ensemble des autres composantes.

■ Approche par ratio minimal

Il s'agit d'une approche uniquement **quantitative**, où les métriques (surfaces, linéaires ou volumes selon le contexte considéré) de milieux naturels ou d'habitats d'espèces à compenser, sont calculées en multipliant les métriques affectées par le projet, par un ratio minimal préétabli.

$$\text{Métrique à compenser} = \text{Ratio minimal préétabli} \times \text{Métrique affectée}$$

« Métrique » = Surface, linéaire ou volume de milieu affecté par le projet, ou bénéficiant de la compensation

Définition



Ratios ou coefficients préétablis ou évalués

En mathématiques, un **ratio** désigne un rapport significatif entre deux grandeurs issues d'un bilan, exprimé sous forme de pourcentage ou de quotient. Un **coefficient** est un nombre appliqué à une grandeur quelconque. Dans le cadre du dimensionnement de la compensation, on distingue (MTES, 2012) :

- les **ratios « préétablis »**, dont la valeur est définie par défaut (exemples : la surface d'une zone humide affectée par un projet doit être compensée à hauteur de 200 % dans le Sdage Rhône Méditerranée ; des ratios sont attribués à des espèces protégées en fonction de leur degré de menace d'extinction, etc.). Ces ratios préétablis sont généralement multipliés aux surfaces, linéaires ou volumes de milieux affectés par le projet et sont utilisés dans les méthodes par ratio minimal ;
- les **ratios « évalués »**, dits aussi « **coefficients** », dont la valeur résulte d'une combinaison de critères décrivant les milieux, les enjeux environnementaux, les opérations ou les actions écologiques envisagées. Ces coefficients permettent de tenir compte du contexte local, du type de projet et de ses modalités techniques de réalisation. Ils peuvent être associés aux surfaces, linéaires ou volumes de milieux affectés par le projet ou aux surfaces des sites bénéficiant d'actions écologiques au titre de la compensation. Ces ratios « évalués » (ou coefficients) sont plutôt utilisés dans les approches d'équivalence par pondération ou entre écarts d'état des milieux (voir ci-après).

Cette approche est généralement indépendante de la nature et de l'intensité des impacts ou des enjeux associés aux milieux affectés par le projet, et de la nature et de l'intensité des actions écologiques menées sur le site de compensation.

Ni le caractère « significatif » des impacts négatifs résiduels engendrés par un projet, ni l'équivalence quantitative entre les pertes et les gains de biodiversité ne sont vérifiés.

En France, l'utilisation de ratios minimaux préétablis dépend des procédures auxquelles les projets sont soumis. À titre d'exemples, on peut citer :

- les ratios surfaciques recommandés par les Sdage, lorsque les projets sont visés par des rubriques de la nomenclature « loi sur l'eau ». Ces derniers ont été définis pour les zones humides, mais leur application est parfois étendue à d'autres milieux aquatiques (cours d'eau, plans d'eau) ;
- les ratios définis en fonction des enjeux associés aux espèces protégées (degré de menace, rareté, statut, etc.), et utilisés lorsque le projet est soumis à une dérogation « espèces protégées » ;
- les ratios définis en fonction du niveau d'enjeu économique, écologique ou sociétal d'un boisement, dans le cadre d'une autorisation de défrichement¹².

Dans certains Sdage, le ratio minimal peut varier en fonction du respect de principes réglementaires comme la proximité géographique, l'équivalence fonctionnelle ou le type d'action écologique. En cas de non-respect de ces principes, sa valeur peut être augmentée. Ainsi :

- le Sdage Seine Normandie préconise de compenser les surfaces de zones humides affectées par un projet à hauteur de 100 % s'il y a équivalence fonctionnelle et si le site de compensation est proche du site affecté. À défaut, le ratio est augmenté à 150 %¹³ ;
- dans l'exemple de méthode citée en figure 3, le coefficient de compensation est augmenté en fonction de la distance entre le site affecté et le site de compensation, et de l'incertitude sur le génie écologique mis en œuvre sur le site de compensation.



Direction départementale des territoires de Savoie (73)

Pour les zones humides du bassin chambérien, le dimensionnement de la compensation est cadré par le Sdage Rhône Méditerranée Corse qui préconise de compenser la perte surfacique de ce type de milieu à hauteur de 200 %. Pour les autres habitats ou espèces, l'absence de valeur guide peut être préjudiciable. Ce territoire comprend 113 zones humides d'une surface totale de 560 ha. En s'appuyant sur un groupe de travail départemental permettant la concertation entre toutes les parties prenantes (DDT, Conseil départemental, CEN, etc.), il s'est doté d'un plan d'action en faveur des zones humides (PAFZH) qui a pour objectifs :

- d'enrayer la diminution de ces milieux ;
- de maîtriser l'impact du développement sur les zones humides ;
- de restaurer les milieux humides dégradés soit par l'action volontariste (aides publiques), soit par des mesures de compensation des impacts d'un projet.

28 zones humides totalisant une surface de 85 ha ont été jugées prioritaires à restaurer et ont été inscrites au PAFZH. Les besoins prévisionnels de mesures compensatoires de projets sur le territoire sont de 10 ha. Dans ce cas, le recours à d'autres dettes de compensation sur le territoire global de Chambéry métropole est envisagé pour mener à bien le PAFZH. De manière générale, une organisation et une optimisation de la compensation dans des secteurs pré-identifiés semblent pertinentes tant du point de vue écologique, que du point de vue des maîtres d'ouvrage ayant des dettes de compensation.

12 - Article L. 341-6 du Code forestier et circulaire et instructions techniques DGPE/SDFB /2015/656 du 29 juillet 2015 et 2015-813 du 24 septembre 2015.

13 - Sdage 2016-2021 du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands, Agence de l'eau Seine Normandie.

Figure 3

	Très proche	Décalage spatial	Très éloigné
Génie écologique éprouvé	Ratio de compensation = 1,5 Restauration dans la même masse d'eau	Ratio de compensation = 2 Restauration dans la masse d'eau voisine	Ratio de compensation = 3 Restauration au-delà (même département, région, bassin versant, etc.)
Risque d'échec	Ratio de compensation = 2 Réhabilitation dans la même masse d'eau	Ratio de compensation = 2,5 Réhabilitation dans la masse d'eau voisine	Ratio de compensation = 4 Réhabilitation au-delà (même département, région, bassin versant, etc.)
Génie écologique innovant	Ratio de compensation = 3 Renaturation/création dans la même masse d'eau	Ratio de compensation = 4 Renaturation/création dans la masse d'eau voisine	Ratio de compensation = 5 Renaturation/création au-delà (même département, région, bassin versant, etc.)

Méthode développée en 2011 par les conseils départementaux du Tarn et de l'Aveyron. Dans cet exemple, le ratio minimal du Sdage (1,5) est complété par deux critères, le risque d'échec de l'action écologique et la proximité géographique entre le site de compensation et le site affecté. Plus l'incertitude sur la réussite des actions écologiques et l'éloignement géographique augmentent, plus le ratio est élevé.

■ Approche d'équivalence par pondération

Il s'agit d'une approche qui quantifie séparément les pertes et les gains de biodiversité, en pondérant les métriques affectées par des coefficients « pertes », et les métriques à compenser par des coefficients « gains » (Figure 4). Afin de veiller à l'équivalence entre les pertes et les gains, les métriques à compenser sont ensuite déduites de la formule suivante :

$$\text{Métrique à compenser} = \text{Métrique affectée} \times (\text{Coefficient pertes} / \text{Coefficient gains})$$

« Métrique » = Surface, linéaire ou volume de milieu affecté par le projet, ou bénéficiant de la compensation

Figure 4

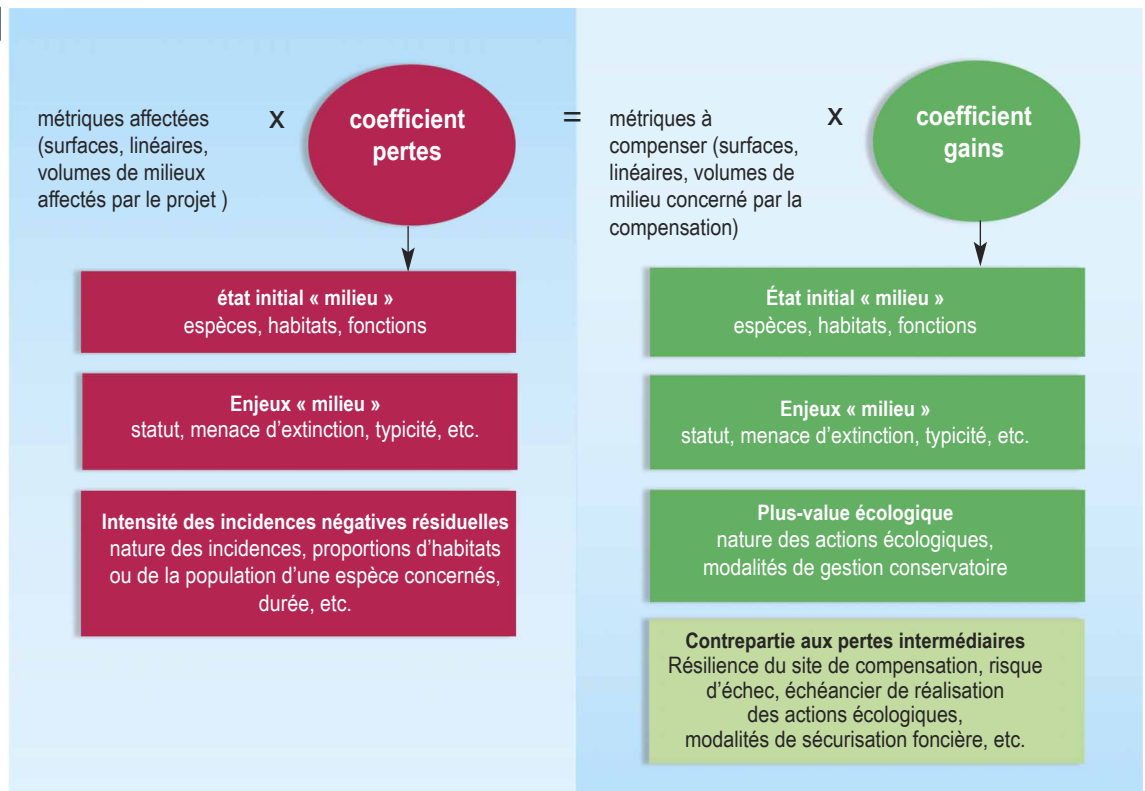


Schéma symbolisant l'approche d'équivalence par pondération.

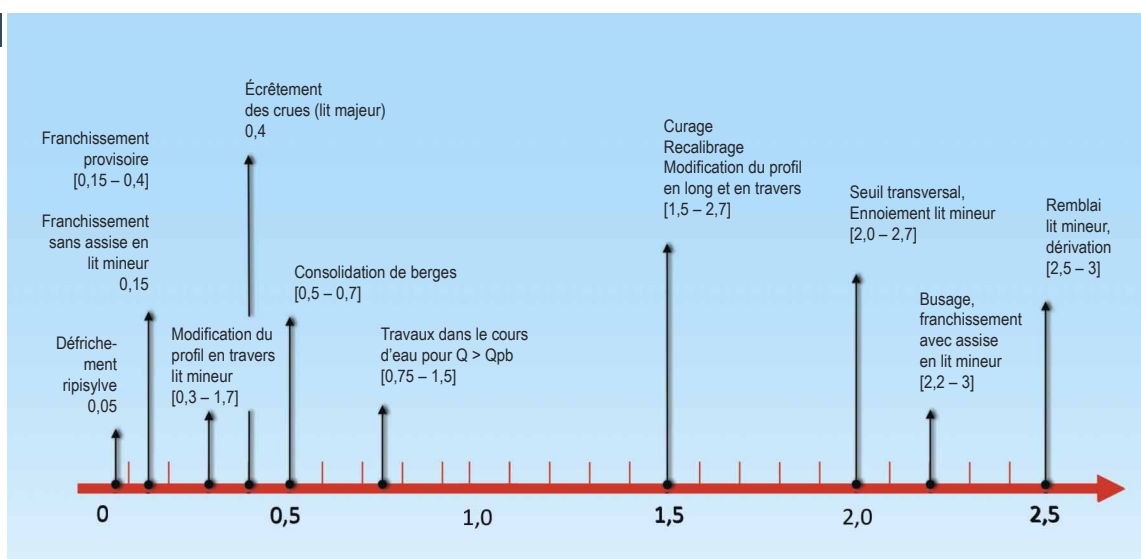
Le coefficient « pertes » de biodiversité résulte généralement de la combinaison des valeurs attribuées aux différents critères de pondération (Figure 4), et dont le choix est fondé sur la description ou l'évaluation :

- des milieux, des espèces ou des fonctions affectées (état initial avant impacts, connectivité avec les milieux adjacents, etc.) ;
- des enjeux écologiques associés à ces milieux, espèces ou fonctions ;
- de l'intensité des impacts engendrés par le projet sur ces espèces, habitats ou fonctions.

À ce titre, les modes d'évaluation de l'intensité des impacts varient entre méthodes. Ils sont généralement prédéfinis :

- soit sur la base de « classes d'intensité d'impact » (faible, moyen, fort par exemple). Dans ce cas, l'attribution d'une classe d'impact à un projet ou à certaines de ses entités est réalisée à dire d'expert ou sur la base d'une définition détaillée de chacune de ces classes ;
- soit sur la base de typologies préétablies et basées :
 - sur le type d'impact généré (ex : altération, dégradation ou destruction de la population d'espèce ou de l'habitat),
 - ou sur la nature des opérations devant déclencher une mesure de compensation (défrichement, modification des composantes physiques, remblai, perte d'habitats, etc.). Pour chaque nature d'opération, des valeurs d'intensité d'impact sont attribuées par défaut (exemple en Figure 5).

Figure 5



Exemple de classement des natures d'opérations en fonction de l'intensité des impacts qu'elles sont susceptibles d'engendrer sur les cours d'eau. L'échelle de valeurs utilisée est généralement comprise entre 0 et 3. Les valeurs indiquées entre crochets correspondent aux valeurs min. et max. d'intensité des impacts relevées au sein de différentes méthodes. Source des données : Hubert et al., 2019.

Au sein de ces classes ou typologies prédéfinies d'intensité des impacts, s'ajoute parfois la prise en compte :

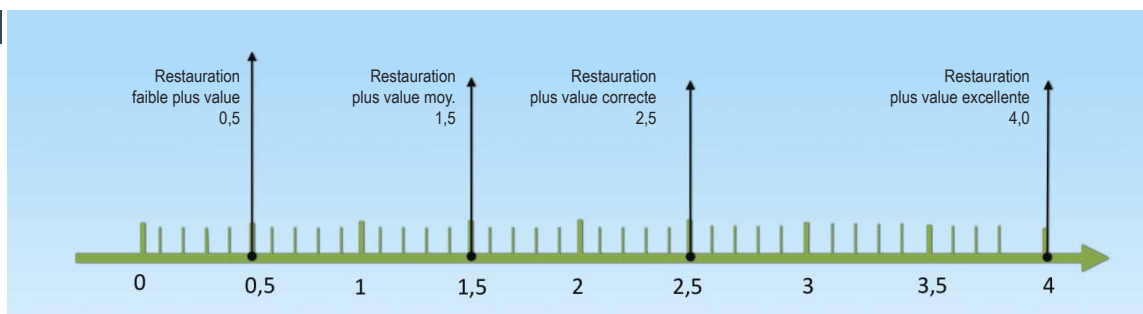
- de la proportion d'habitats dégradés au regard de leur surface totale sur l'emprise du projet ;
- de la durée supposée de l'impact (ex : impact irréversible, impact réversible au-delà de deux ans, impact réversible en moins de deux ans, etc.) ;
- ou des mesures de réduction mises en œuvre. Dans ce cas cependant, la faisabilité technique, l'efficacité (partielle ou totale) et la pérennité de ces mesures sont rarement évaluées.

Le coefficient « gains » résulte aussi de la combinaison des valeurs attribuées aux différents critères de pondération, et dont le choix est fondé sur la description ou l'évaluation :

- des milieux bénéficiant de la mesure de compensation : état de conservation initial avant action écologique, enjeux écologiques, connectivité avec les milieux adjacents, etc. ;

- de la nature des actions écologiques envisagées sur le site de compensation : type d'actions, niveau de plus-value écologique attendu, etc. Dans ce cas, des classes de plus-value écologique (faible, moyen, fort, etc.) ou des typologies prédéfinies d'actions écologiques auxquelles sont attribuées des valeurs selon le gain attendu (Figure 6) sont utilisées ;
- des conditions de mise en œuvre des mesures de compensation et du respect des principes réglementaires régissant la compensation (Tableau 1 page 14). Cette approche considère en effet que plus ces principes sont respectés, plus le gain écologique est fort. L'utilisation de ce type de critères incite à respecter la réglementation. Ainsi, les propositions de mesure de compensation s'écartant de ces principes peuvent être acceptées, tout en étant pénalisées par une intensification des actions écologiques à réaliser ou une augmentation des surfaces, linéaires ou volumes à compenser.

Figure 6



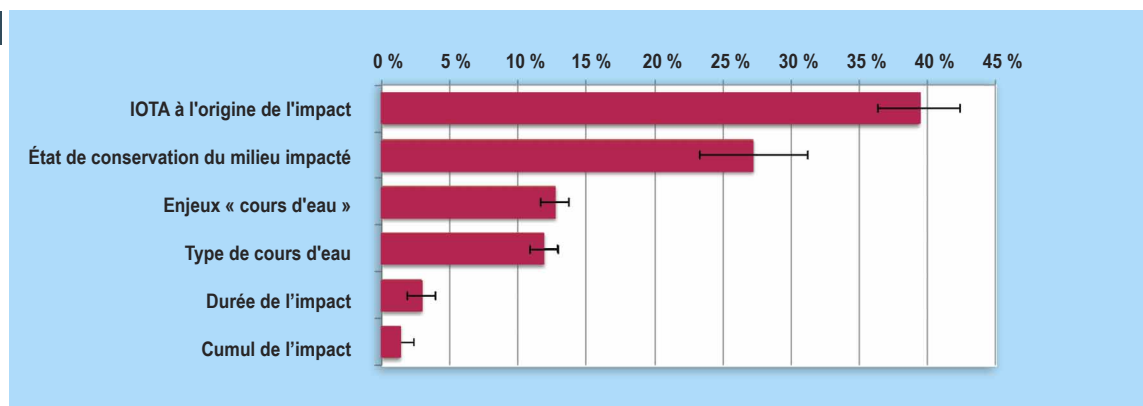
Exemple de classement d'actions écologiques en fonction de l'intensité du gain (ou plus-value écologique) qu'elles sont susceptibles d'engendrer. L'échelle de valeur est comprise ici entre 0 et 4. Source des données : Hubert et al., 2019.

Au sein de cette approche d'équivalence par pondération, le nombre de critères utilisés pour évaluer les coefficients « pertes » ou « gains » varie fortement selon les méthodes, de deux à plus d'une dizaine.

En revanche, la **logique d'attribution des poids donnés à chacun de ces critères paraît analogue entre méthodes** (Figures 7 et 8). Ainsi pour évaluer :

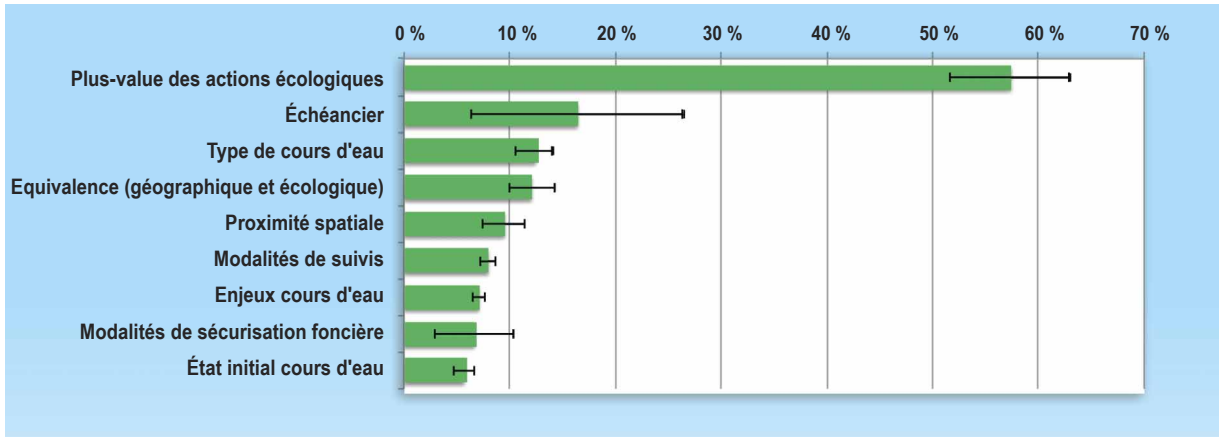
- le coefficient « pertes », le poids le plus élevé est généralement attribué à la nature de l'opération (défrichement, remblai, ennoisement, imperméabilisation, etc.) ou à l'intensité de ses impacts (altération, dégradation, destruction), puis à l'état initial du milieu affecté et à ses enjeux écologiques (Figure 7) ;
- le coefficient « gains », le poids le plus élevé est attribué au type de travaux de génie écologique effectué (réhabilitation, restauration, renaturation, création) sur le site de compensation et à la plus-value susceptible d'être générée. D'autres critères de pondération interviennent ensuite, dont les critères incitant au respect des principes réglementaires, mais ces derniers sont plus liés à la mise en œuvre concrète de ces mesures, qu'à des considérations écologiques (Figure 8).

Figure 7



Exemple de contribution (en pourcentage) de critères de pondération à la valeur du coefficient « perte » au sein de méthodes « cours d'eau ». Moyenne (+/- erreurs standards) des poids attribués à chaque critère au sein de 9 méthodes « cours d'eau » développées aux États-Unis. Source des données : Hubert et al., 2019.

Figure 8



Exemple de contribution (en pourcentage) de critères de pondération à la valeur du coefficient « gain » au sein de méthodes « cours d'eau ». Moyenne (+/- erreurs standards) des poids attribués à chaque critère au sein de 9 méthodes « cours d'eau » développées aux États-Unis. Source des données : Hubert et al., 2019.

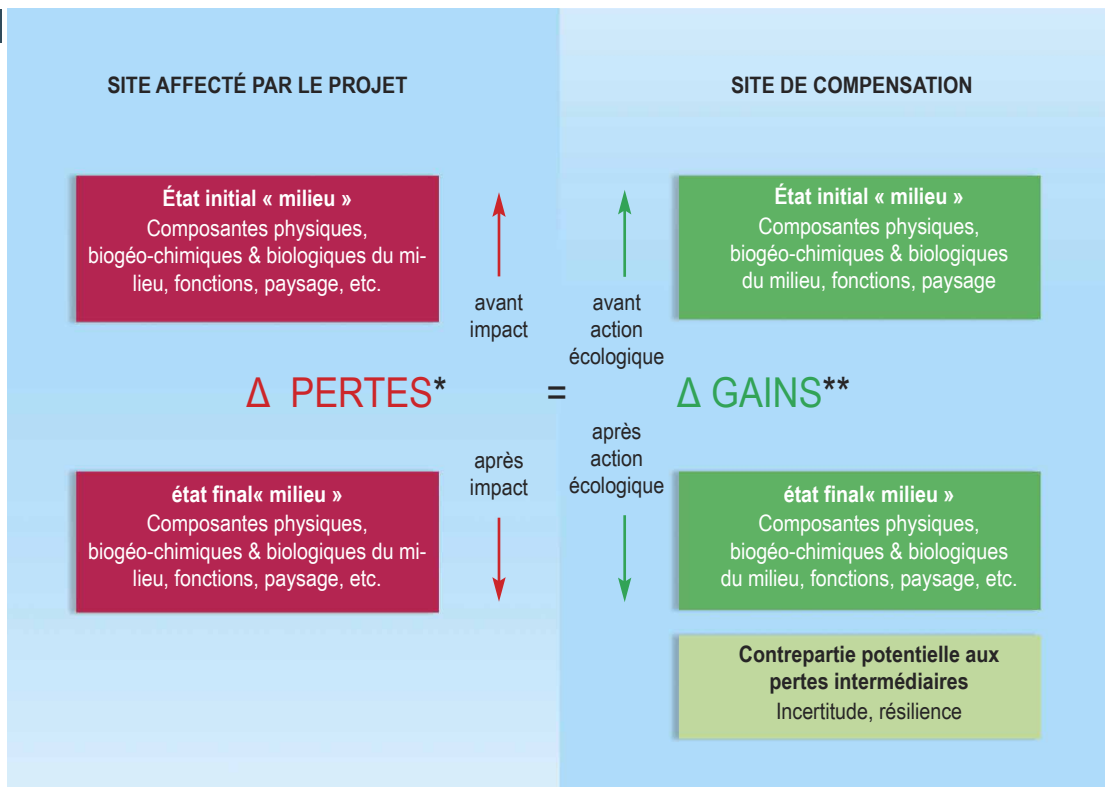
■ Approche d'équivalence entre écarts d'état des milieux

Enfin, la dernière approche quantifie aussi séparément les pertes et les gains de biodiversité, puis en vérifie l'équivalence (Quaempts, 2003 ; Dumax, 2009 ; Burrows, 2014 ; Mechin & Pioch, 2016 ; Bezombes, 2018).

Les calculs s'effectuent en comparant l'état ou la capacité d'accueil des milieux (Figure 9) :

- avant et après impact, pour le site concerné par le projet (delta « pertes ») ;
- avant et après réalisation des travaux de génie écologique, pour le site de compensation (delta « gains »).

Figure 9



Approche d'équivalence entre écarts d'état des milieux.

* Les enjeux environnementaux participent parfois au choix des critères ou indicateurs.

** Les pertes intermédiaires liées à la résilience des écosystèmes concernés ou à l'incertitude sur le génie écologique participent parfois au calcul des gains de biodiversité.

Afin de veiller à l'équivalence entre les pertes et les gains, les surfaces, linéaires ou volumes à compenser peuvent être déduits de la formule suivante :

$$\text{Métrique à compenser} = \text{Métrique affectée} \times (\Delta \text{ pertes} / \Delta \text{ gains})$$

« Métrique » = Surface, linéaire ou volume utilisé de milieu affecté par le projet, ou bénéficiant de la compensation

Au sein de cette approche, l'équivalence qualitative (en espèces, habitats et fonctions) entre le site affecté et le site de compensation est considérée comme un prérequis devant être vérifié préalablement à tout calcul. Le caractère « significatif » de l'impact est estimé au regard de la valeur de l'écart calculé avant puis après projet.

Ces écarts d'état ou de capacité d'accueil des milieux sont évalués au regard de leur **état initial** et de leurs **trajectoires potentielles** (état dit « projeté »). Les critères utilisés pour les caractériser sont similaires entre le site affecté et le site de compensation. Ils se basent notamment sur :

■ **les composantes physiques et biogéochimiques des milieux naturels** (ex. : régime hydrologique, qualité physico-chimique, fonctionnement hydrogéomorphologique, taux d'érosion des sols, niveau d'expression des fonctions associées, etc.) ;

■ **leurs composantes biologiques**, dont la composition, la structure, la dynamique et l'état de conservation des communautés d'espèces et des milieux naturels (ex. : richesse et diversité floristique et faunistique, présence d'espèces inféodées aux habitats présents, capacité de résilience et de résistance des espèces, mosaïque d'habitat, dynamique et état de conservation des populations d'espèces ou des habitats, présence d'espèces exotiques envahissantes, etc.) ;

■ **les caractéristiques du paysage** (mosaïque des habitats jouxtant les sites évalués ; présence de corridors écologiques et fragmentation éventuelle de ces derniers ; connexion ou isolement des sites évalués avec ces milieux naturels ; présence d'habitats favorables aux espèces affectées ; présence d'espèces exotiques envahissante ; occupation des sols et usages anthropiques ; etc.).

Témoignages



Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE)

L'équivalence entre pertes et gains de biodiversité lors d'un projet d'aménagement doit être évaluée quantitativement en intégrant plusieurs « dimensions » :

- écologique (composantes de biodiversité et indicateurs pour les évaluer) ;
- spatiale (rôle des sites dans le paysage) ;
- temporelle (délai entre mise en place et efficacité des mesures) ;
- incertitudes (risque d'échec des mesures).

La question du dimensionnement ne se limite pas à la fourniture d'un ratio surfacique mais peut être traitée via différentes métriques. C'est ce que propose le cadre méthodologique d'évaluation de l'équivalence (Écoval), issu d'un projet de thèse Cifre (INRAE, EDF, et MNHN) pour les milieux terrestres en adéquation avec le contexte réglementaire français. La biodiversité des sites affectés et compensatoires est évaluée grâce à un lot d'indicateurs avant et après impact ou action écologique, et à court et long terme. Un degré d'incertitude est associé à chaque estimation. Les pertes et les gains sont calculés selon ces estimations et l'évaluation finale de l'équivalence écologique est réalisée en deux temps : indicateur par indicateur et de manière transversale à tous les indicateurs.

Une interface utilisateur est disponible en version bêta depuis 2019 et est en cours de test. Elle vient finaliser l'outil et le rendre pleinement opérationnel. Des travaux sont en cours pour tester le cadre méthodologique sur des projets concrets en partenariat avec l'UMS PatriNat.

Ces critères peuvent être considérés séparément. Dans ce cas, plusieurs deltas « pertes » et deltas « gains » sont calculés et peuvent être comparés deux à deux entre le site affecté et le site de compensation (ex. méthode Écoval). Ils peuvent aussi être classés en catégories (ex. : diversité, patrimonialité, fonctionnalité, etc.) ou agrégés en un seul coefficient global (ex. méthode MERCIe) pour une lecture plus synthétique des résultats. Dans ce dernier cas, les critères utilisés doivent présenter la même unité de mesure. Les critères peuvent être renseignés soit sur la base de données quantitatives (nombre d'individus, surface d'habitat, hauteur de végétation, etc. ; Bezombes *et al.*, 2018), soit à l'aide de classes qualitatives prédéfinies (ex. : bon état de conservation : 3, moyen : 2 et mauvais : 0).

L'estimation des trajectoires de ces milieux est réalisée soit à dire d'expert, soit à l'aide de catégories ou de modèles préalablement définis (cas des méthodes *Habitat Equivalency Analysis* [HEA], *Resource Equivalency Analysis* [REA], *Landscape Equivalency Analysis* [LEA], etc.). Dans ce cadre, les types d'impacts engendrés par le projet sur les milieux naturels au droit du projet ou de plus-values générées par les actions écologiques sur les sites de compensation sont indirectement pris en compte dans le choix des catégories ou des modèles.

Certaines méthodes ajoutent des critères supplémentaires de pondération des gains, dont l'incertitude sur les actions écologiques mises en œuvre sur le site de compensation, ou les pertes intermédiaires générées par le décalage temporel entre les impacts du projet d'une part, et le retour à un état fonctionnel satisfaisant des sites de compensation d'autre part (ex. : méthode MERCIe).

3



En pratique, quelles sont les approches utilisées ?

Une fois les différentes approches possibles de dimensionnement de la compensation identifiées, il importe d'analyser les pratiques actuellement en vigueur (tout en sachant que les maîtres d'ouvrage n'avaient pas toujours connaissance de ces différentes approches lors de la conception de leurs projets). À cette fin, 135 projets choisis aléatoirement parmi des projets faisant l'objet d'une saisine de l'AFB ou du Conseil national de la protection de la nature (CNP) et relevant de diverses procédures et secteurs d'activités, ont été analysés. Ces derniers ont été instruits sur une période s'étendant de 2006 à 2018 (Tableau 2).

L'effet potentiel des natures d'opération, du type de milieu concerné par le projet ou de la loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages (RBNP) de 2016 sur les modalités de dimensionnement de la compensation, a été évalué à l'aide d'un test de proportions sur des échantillons indépendants (fonction *prop.test* du logiciel R). L'effet analysé est statistiquement « significatif » dès lors que la valeur-p est inférieure à 0,05.

Tableau 2 Nombre de projets analysés par natures d'opérations et par année

Nature d'opération	2006	2007	2008	2009	2000	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total
Infrastructures linéaires (route, autoroute, voie ferrée)	1	3	3	1	6	8	2	5	6	3	3	2	5	48
Production d'énergie renouvelable (éolien, solaire, hydroélectrique, géothermique)	0	2	1	1	1	1	0	0	2	3	7	5	4	27
Zones d'activité commerciale ou industrielle	0	0	0	0	0	0	0	0	5	6	1	3	6	21
Divers (base de loisirs, plan d'eau, protection contre risques naturels, restauration milieux, etc.)	1	0	1	0	1	0	1	3	8	3	9	4	8	39
Toutes natures d'opération confondues	2	5	5	2	8	9	3	8	21	15	20	14	23	135

Parmi les projets étudiés, 83 % d'entre eux présentent des mesures intitulées « de compensation » dans leurs dossiers soumis à instruction (Tableau 3).

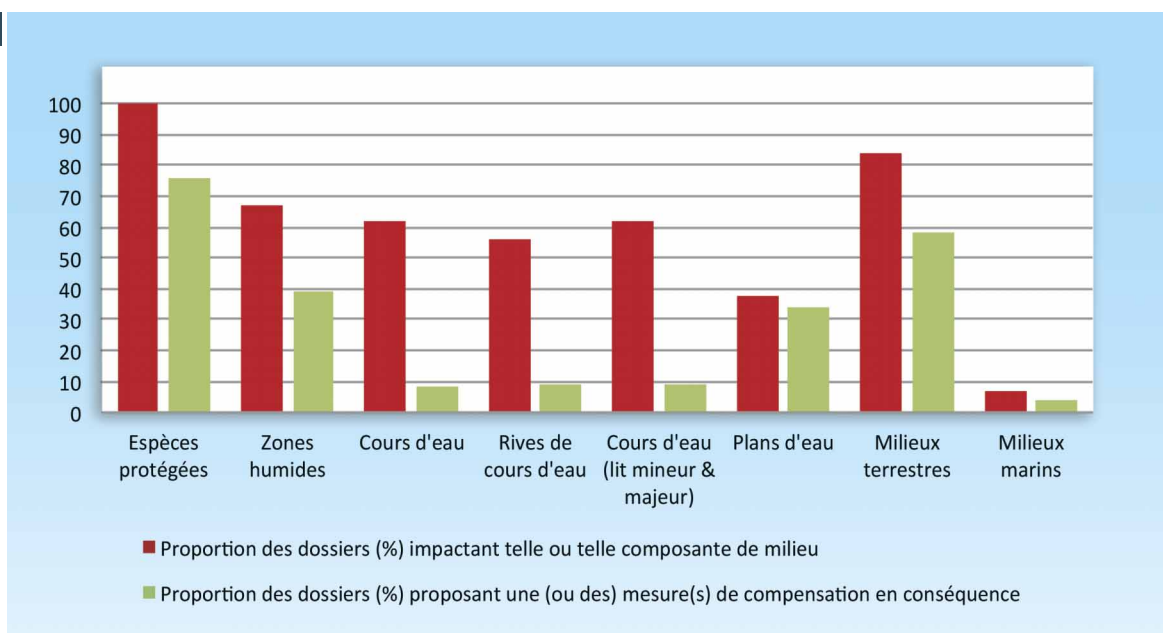
La perception du caractère « significatif » (ou « notable ») des impacts engendrés par les projets et la proposition de mesures de compensation qui en découle, ne dépend pas du type de projet. En effet, il n'y a pas de différence significative entre les natures d'opération étudiées à ce sujet (valeur-p = 0,4113).

Tableau 3 Nombre et proportion des différentes natures d'opérations analysées et proposant des mesures de compensation

Nature d'opération	Nombre total de projets	Représentativité de chaque nature d'opération au sein de l'échantillon (%)	Proportion de projets proposant des mesures de compensation (%)
Infrastructures linéaires (route, autoroute, voie ferrée)	48	36 %	81 %
Production d'énergie renouvelable (éolien, solaire, hydroélectrique, géothermique)	27	20 %	78 %
Zones d'activité commerciale ou industrielle	21	16 %	95 %
Divers (base de loisirs, plan d'eau, protection contre risques naturels, restauration milieux, etc.)	39	29 %	82 %
Toutes natures d'opération confondues	135	100 %	83 %

En revanche, la **proposition - ou non - de mesures de compensation varie significativement en fonction des composantes environnementales concernées par les projets** (valeur-p = $2,2 \times 10^{-16}$). Ainsi, dès lors que des espèces protégées sont affectées, les impacts sont considérés comme nécessitant d'être compensés dans 76 % des cas. En revanche, lorsque des cours d'eau sont affectés, seuls 8,5 % des impacts bénéficient de mesures de compensation (Figure 10).

Figure 10



Composantes affectées par les projets analysés (espèces protégées, zones humides, cours d'eau, etc.) et proportion d'entre eux proposant des mesures de compensation favorables à ces composantes.

Au sein des projets proposant des mesures de compensation, l'utilisation d'une méthode de dimensionnement des pertes et des gains de biodiversité n'est pas systématique. Ainsi, **seule la moitié de ces projets (49 %) utilise une méthode pour dimensionner leurs mesures de compensation** (Tableau 4 et Figure 11). À nouveau, le type de projet n'intervient pas dans l'utilisation - ou non - d'une méthode, la nature d'opération n'ayant pas d'effet significatif sur ce paramètre (valeur-p = 0,4481).

Tableau 4

Proportion des différents types de projets analysés (%), utilisant une méthode de dimensionnement de la compensation et calculant les pertes ou les gains de biodiversité

Nature d'opération	Proportion de projets utilisant une méthode de dimensionnement de la compensation (%)	Proportion de méthodes utilisées calculant des « pertes de biodiversité » (%)	Proportion de méthodes utilisées calculant des « gains de biodiversité » (%)
Infrastructures linéaires (route, autoroute, voie ferrée)	54 %	95 %	14 %
Production d'énergie renouvelable (éolien, solaire, hydraulique, géothermie)	33 %	86 %	43 %
Zones d'activité commerciale et industrielles	50 %	90 %	10 %
Divers (base de loisirs, plan d'eau, protection contre risques naturels, restauration milieux, etc.)	53 %	88 %	47 %
Toutes natures d'opération confondues	49 %	91 %	27 %

De même, la publication de la loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages (RBNP) en 2016, n'a eu **aucun effet significatif sur l'utilisation - ou non - d'une méthode**, malgré l'inscription au code de l'environnement de l'objectif d'absence de perte nette de biodiversité (valeur-p = 0,74) (Tableau 5).

Tableau 5

Nombre total de projets (n) proposant une mesure de compensation avec ou sans méthode pour la dimensionner, avant et après le vote de la loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages (RBNP)

Nature d'opération	Projets sans méthode spécifique de dimensionnement (n)	Projets utilisant une méthode spécifique de dimensionnement (n)	Total (n)
avant loi RBNP (de 2006 à 2016)	47	43	90
après la loi RBNP (de 2017* à 2018)	10	12	22
Total (n)	57	55	112

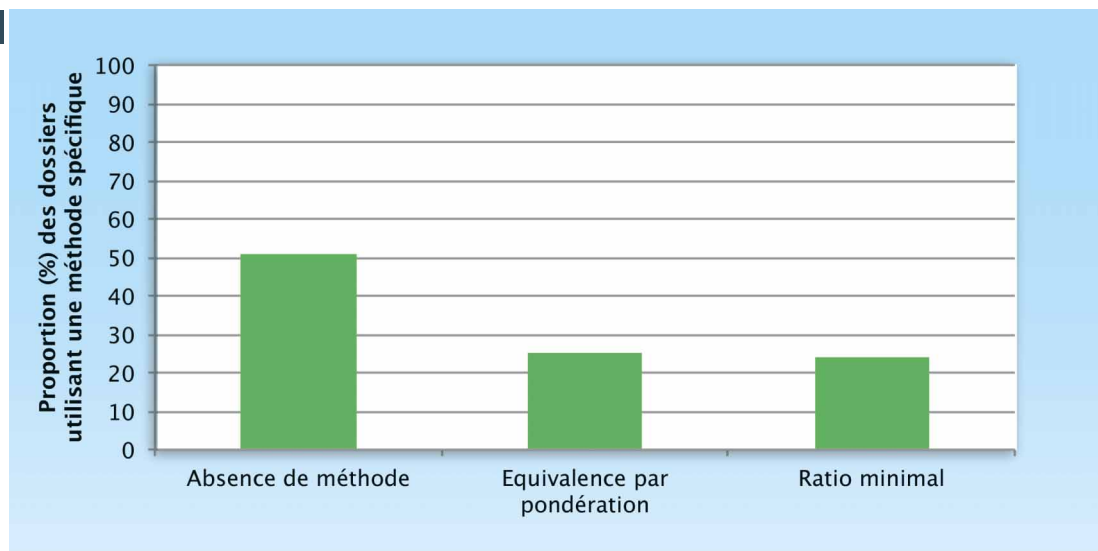
* En tenant compte de la durée de conception et d'instruction des projets.

L'étude des méthodes de dimensionnement utilisées au sein de cet échantillon révèle que :

- la moitié d'entre elles (49 %) se base sur l'approche par ratio minimal, et l'autre moitié (51 %) utilise l'approche d'équivalence par pondération (Figure 11). Aucun des projets étudiés ne dimensionne la compensation sur la base d'une méthode d'équivalence entre écarts d'état des milieux ;
- les « pertes de biodiversité » sont quantifiées dans la très grande majorité des cas (91 %) avec a minima une prise en compte des surfaces, linéaires ou volumes affectés par le projet. Il n'y a pas d'effet significatif de la nature d'opération sur le calcul de ces pertes au sein de cet échantillon (valeur-p = 0,8346) ;

■ en revanche, le calcul des « gains de biodiversité » est réalisé moins fréquemment (27 %), signifiant que **l'équivalence entre les pertes et les gains de biodiversité est vérifiée pour moins d'un tiers des projets utilisant une méthode**. Dans ce cas, on note un effet presque significatif de la nature d'opération sur le calcul - ou non - des gains. Ces derniers sont en effet calculés moins fréquemment au sein des projets d'aménagement d'infrastructures linéaires et de zones d'activités commerciales ou industrielles, que pour les autres natures d'opération (valeur-p = 0,0575).

Figure 11



Proportion des dossiers proposant des mesures de compensation, et type de méthode utilisé.

Témoignages

Syntec Ingénierie

Essentielle dans la séquence éviter, réduire, compenser et accompagner (ERC-A), la compensation, est utilisée en dernier recours par les sociétés d'ingénierie dans une démarche itérative intégrant composantes environnementales et contraintes socio-économiques.

Lors de l'évaluation des impacts résiduels et de la « perte » de biodiversité, il convient :

- de veiller à la qualité et à l'interprétation des données de terrain ;
- de considérer l'état de conservation des habitats, espèces et fonctionnalités écologiques selon le projet à une échelle spatiale et temporelle pertinente ;
- d'éviter les biais de subjectivité ou du « trop dire d'expert » ;
- d'asseoir cette évaluation sur des critères pertinents, robustes et reproductibles avec des choix techniques adéquats.

Par retours d'expériences, sont fréquents :

- la réussite de la démarche ERC dépend de la concertation avec les services instructeurs ;
- l'hétérogénéité des types de projets et de leur instruction demande une adaptation du dimensionnement aux spécificités des territoires ;
- l'absence de prise en compte de l'équivalence écologique et des fonctionnalités écologiques essentielles au succès et à la pérennité de la compensation.

Les sociétés d'ingénierie souhaitent alerter sur les risques d'un excès de normalisation de la méthodologie. La mission du groupe de travail dimensionnement de la compensation *ex ante* est constitutive des bases d'une meilleure prise en compte de la biodiversité dans l'élaboration des projets.

4



Analyse comparée de ces approches

L'étude des pratiques en vigueur lors de la conception et de l'instruction des projets (Voir chapitre III), a mis en évidence l'existence d'une marge de progrès dans le dimensionnement de la compensation qu'il convient d'explorer.

À cette fin, les modes de prise en compte des principes réglementaires, la robustesse scientifique et technique et des indications sur le caractère utilisable de 25 méthodes ont été étudiés. Ces méthodes ont été sélectionnées au regard de leur représentativité au sein des trois approches décrites précédemment. Elles sont issues de la littérature scientifique, ou de dossiers soumis à instruction. Huit d'entre elles se basent sur l'approche par ratio minimal, dix sur celle de l'équivalence par pondération et sept sur celle de l'équivalence entre écarts d'état des milieux (Tableau A de l'annexe page 50).



Définition

Qu'est-ce que la robustesse et le caractère utilisable d'une méthode ?

Robustesse : capacité d'une méthode à maintenir ses résultats, malgré une variation de ses conditions d'application (ex. : absence de biais opérateur, de biais saisonnier, etc.).

Caractère utilisable : facilité d'utilisation, de compréhension et de lecture de la méthode et de ses résultats par l'ensemble des acteurs concernés (maître d'ouvrage, bureau d'études, service instructeur de l'État, établissement public en charge de l'expertise et du contrôle, association de protection de la nature, collectivités, riverains, etc.).

Ces méthodes ont été caractérisées à l'aide d'analyses des correspondances multiples (ACM) réalisées sur des variables caractérisant les modes de prise en compte des principes réglementaires, la robustesse scientifique et technique ou le caractère utilisable de ces méthodes. Ces variables ont été choisies en fonction de leur capacité à donner une information objective (Tableau B, C, et D de l'annexe pages 52, 54 et 56) et codifiées sur la base de données qualitatives ou quantitatives.

Au total, trois ACM ont été réalisées :

- la première sur les modes de prise en compte des principes réglementaires dans les méthodes ;
- la deuxième sur le type de critères utilisés pour caractériser les pertes et les gains de biodiversité ;
- et la dernière, sur le caractère utilisable de ces méthodes.

Assise réglementaire

Au total, onze variables ont été utilisées pour caractériser l'intégration – ou non - des principes réglementaires régissant la compensation dans les calculs des pertes et des gains de biodiversité, au sein des différentes approches et méthodes (Tableau B de l'annexe page 52). Au regard de ces variables, les différences observées entre les méthodes au sein de l'ACM, sont expliquées à hauteur de 23 % par le type d'approche utilisé.

Les modes de prise en compte des principes réglementaires varient essentiellement entre l'approche par ratio minimal d'une part et les approches d'équivalence d'autre part. Les méthodes par ratio minimal intègrent en effet peu ou pas de principes réglementaires dans leurs calculs, et ne vérifient pas l'équivalence entre les pertes et les gains de biodiversité (Figure A de l'annexe page 53).

Les autres différences observées entre approches s'expliquent surtout par la nature des principes réglementaires utilisés par les méthodes dans leurs calculs.

Ainsi :

- les méthodes relevant de **l'approche par ratio minimal se réfèrent peu aux principes réglementaires**, à l'exception de l'équivalence qualitative (de milieux ou de fonctions). Certaines d'entre elles se distinguent toutefois, en intégrant un autre principe réglementaire, dont la proximité géographique (Sdage Rhin Meuse et Seine Normandie par exemple) ;

- les méthodes fondées sur **l'approche d'équivalence par pondération intègrent généralement un grand nombre de principes réglementaires** dans leurs calculs (proportionnalité, équivalence qualitative, proximité géographique et temporelle, plus-value écologique, etc.). Ces principes constituent des critères de pondération des pertes et des gains non négligeables, visant à favoriser une application vertueuse du code de l'environnement ;

- enfin, les méthodes basées sur **l'équivalence entre écarts d'état des milieux considèrent l'équivalence qualitative comme un prérequis, mais intègrent d'autres principes** dans leurs calculs, dont l'additionnalité (plus-value) écologique, l'efficacité et la proximité temporelle.

Robustesse scientifique et technique

Au total, 18 variables ont été utilisées pour analyser la robustesse scientifique et technique des méthodes (Tableau C de l'annexe page 54). Au regard de ces dernières, les différences observées entre les méthodes au sein de l'ACM, sont expliquées à hauteur de 34 % par le type d'approche utilisé.

Les modes de caractérisation des milieux, des impacts du projet ou de la plus-value écologique des travaux de génie écologique **varient fortement entre les trois approches** (Figure B de l'annexe page 55). Ceci s'explique essentiellement par :

- le fait d'évaluer – ou non - les gains de biodiversité ;

- le nombre total de composantes utilisées (espèces, habitats ou fonctions) et de critères au sein de ces composantes ;

- les modes de caractérisation des impacts et de la plus-value écologique (typologie détaillée, classes prédéfinies ou trajectoires modélisées).

Les méthodes relevant de **l'approche par ratio minimal sont essentiellement quantitatives** : les calculs sont basés sur les surfaces, linéaires ou volumes affectés par le projet, auxquels un coefficient multiplicateur est associé. L'estimation de ces surfaces, linéaires ou volumes affectés est effectuée sur la base d'une seule composante (espèces, habitats ou fonctions) dont la caractérisation reste sommaire, exception faite des méthodes où l'équivalence de fonctions doit être vérifiée. Le **nombre de critères** utilisés dans les calculs est donc généralement **très faible**.

Dans **l'approche d'équivalence par pondération, deux composantes participent généralement à la caractérisation des pertes et des gains : habitats et espèces**. Les fonctions sont parfois aussi prises en compte, notamment via leur connectivité avec les milieux naturels adjacents. De fortes différences apparaissent entre les méthodes relevant de cette approche, selon qu'elles utilisent des classes (faible/moyen/fort...) ou une typologie détaillée des natures d'opérations ou des travaux de génie écologique pour caractériser les impacts ou la plus-value écologique (voir plus haut). En moyenne, 8,8 +/- 2 critères de pondération sont utilisés pour calculer les pertes, et 5,2 +/- 0,8 critères sont utilisés pour quantifier les gains.

Enfin, dans **l'approche d'équivalence entre écarts d'état des milieux**, les **trois composantes** (espèces, habitats et fonctions) **participent généralement au calcul des pertes et des gains**. La caractérisation des milieux et de leurs fonctions intègre de nombreux paramètres physiques et biologiques, ainsi que les activités anthropiques et l'écologie du paysage. En moyenne, 22 +/- 4,4 critères sont renseignés pour quantifier les pertes ou les gains.

Indications sur le caractère utilisable

Au total, cinq variables ont été utilisées pour caractériser l'utilisabilité des approches par les acteurs d'ERC, qu'il s'agisse des maîtres d'ouvrage, des bureaux d'étude, des services instructeurs de l'État ou des établissements en charge de l'appui technique à l'instruction et des contrôles (Tableau D de l'annexe page 56). Ces variables ont été choisies au regard des nombreux retours d'expériences et échanges avec ces acteurs, entre 2010 et 2019, et de la possibilité de les renseigner de manière objective.

Ces variables restent toutefois insuffisantes pour analyser pleinement le caractère utilisable des méthodes ; l'accès aux données nécessaires aux calculs, la facilité d'apprentissage et de mémorisation de la méthode par les utilisateurs, son efficacité, sa flexibilité, etc., doivent aussi être étudiés. Cette analyse constitue donc un premier état de l'art qui est amené à être complété.



Témoignages

Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive - Centre national de la recherche scientifique

Le dimensionnement de la compensation est une opération qui, au cours du processus d'autorisation d'un projet, associe en particulier le maître d'ouvrage, le bureau d'étude et les services instructeurs pour la définition des mesures compensatoires. Lors de la conception des méthodes de dimensionnement, l'attention est focalisée sur leur dimension technique : choix des indicateurs, formules de calculs, etc.

Les travaux de recherche menés dans le cadre d'une thèse au sein du Cefe et d'Eco-Med entre 2017 et 2020 ciblent la dimension opérationnelle de ces méthodes, trop souvent négligée, et pourtant indispensable pour qu'elles soient réellement utilisées par les acteurs de terrain. Ils mettent en évidence l'attention à apporter aux différents usages qui peuvent être faits de tels outils en fonction du type d'acteur concerné, de leur niveau d'expertise, et du stade d'avancement du projet auquel ces méthodes sont mobilisées. Ainsi, dans une optique ergonomique, une même méthode peut être déclinée sous des formes différentes (données à mobiliser, résultats obtenus, niveau d'expertise, etc.) pour tenir compte de ces différents contextes et doter chaque acteur d'un outil adapté à ses besoins.

Au regard des cinq variables étudiées, les différences observées entre les méthodes au sein de l'ACM, sont expliquées à hauteur de 17 % par le type d'approche utilisé. Les différences observées entre méthodes au sein d'une même approche sont donc très élevées.

Le caractère utilisable des méthodes ne paraît pas dépendre des approches utilisées, ces dernières se juxtaposant entre elles (Figure C de l'annexe page 57), mais paraît plutôt lié **au nombre de données mobilisées et au mode d'attribution des valeurs aux critères de pondération** (prédéfinies ou guidées).

À titre d'exemple, deux groupes de méthodes se distinguent au sein de l'approche par ratio minimal : celles qui n'imposent pas de vérifier l'équivalence de fonctions avec celles qui renvoient à une méthode d'évaluation des fonctions mobilisant de nombreuses données (cas des dispositions des Sdage Artois Picardie, Rhin Meuse et Seine Normandie).

Le niveau d'expertise intervient en second plan.

La plupart des méthodes issues des approches par ratio minimal ou d'équivalence par pondération utilisent **des critères imposés** et des **valeurs prédéfinies**, là où les méthodes basées sur l'approche d'équivalence entre écarts d'état des milieux se basent davantage sur le « **dire d'expert** » (parfois étayé par des retours d'expériences ou de la modélisation des trajectoires de milieux). Ces méthodes utilisent également un nombre élevé de critères (20 en moyenne +/- 3 pour l'approche d'équivalence entre écarts d'état des milieux contre 14 +/- 2,2 pour celle par pondération) et de données (61 en moyenne +/- 7,9 pour l'approche d'équivalence entre écart d'état des milieux contre 21 +/- 1,7 pour celle par pondération).



Au regard des constats alarmants sur l'état de conservation de la biodiversité en France, des pratiques actuelles en matière de dimensionnement de la compensation *ex ante* des atteintes à la biodiversité lors de la conception des projets, des attendus réglementaires et des conditions d'instruction des projets, il y a lieu d'utiliser des méthodes de dimensionnement de la compensation à la fois **scientifiquement robustes et adaptées au processus d'instruction**.

À cette fin, les méthodes de dimensionnement des mesures de compensation doivent :

- veiller au respect du code de l'environnement afin d'assurer la sécurité juridique des projets ;
- se baser sur des connaissances scientifiques et techniques robustes pour construire solidement les éléments permettant de vérifier l'absence de perte nette de biodiversité ;
- être facilement utilisables et contrôlables par les maîtres d'ouvrage, les services instructeurs et les établissements publics en charge de missions d'appui technique à l'instruction, ainsi que du suivi et du contrôle des mesures de compensation.

... en termes d'évaluation du caractère « significatif » des impacts négatifs résiduels à compenser

Au regard des méthodes étudiées, les critères utilisés pour évaluer les incidences d'un projet sur les composantes environnementales d'un milieu naturel, varient fortement entre approches, ainsi qu'entre méthodes au sein d'une même approche. Ils sont généralement basés sur des considérations :

■ quantitatives :

- ampleur globale de l'impact (surface, linéaire ou volume de milieu concerné),
- intensité de l'impact (proportion d'un habitat affecté au regard de sa surface totale, proportion de spécimens affectés au sein d'une population),
- durée de l'impact si ce dernier est temporaire (nombre d'années ou pertes intermédiaires engendrées par l'altération d'un milieu naturel avant retour à son état initial) ;

■ ou qualitatives :

- enjeux écologiques associés aux espèces, aux habitats ou aux fonctions affectés par le projet (degré de menace d'extinction, responsabilité régionale compte tenu de l'état de conservation des populations, etc.),
- nature de l'impact (altération, dégradation ou destruction),
- réversibilité de l'impact (pérenne ou temporaire).

L'évaluation de ces impacts est effectuée sur l'ensemble des composantes du milieu affecté par le projet (cas des approches holistiques) ou sur une seule de ses composantes (cas des approches spécialistes).

En outre, selon les approches ou méthodes utilisées, l'évaluation du caractère « **significatif** » de ces incidences est explicite ou implicite. À l'international (Arnott *et al.*, 2001 ; Hubert *et al.*, 2019) comme en France, il peut être caractérisé à partir :

■ d'un **seuil, au-delà duquel il est imposé de compenser** les impacts du projet. Ce dernier correspond à un linéaire, une surface ou un volume de milieu naturel concerné par un projet. Par exemple, la méthode de Montana considère qu'il y a lieu de compenser les impacts d'un projet sur les cours d'eau dès lors que les installations, ouvrages ou travaux envisagés affectent plus de 90 mètres linéaire de lit mineur (Hubert *et al.*, 2019). Ce seuil est généralement indépendant de la nature ou de la durée des impacts et des éventuelles mesures de réduction mises en œuvre. Il est défini sur la base de critères socio-économiques plutôt qu'écologiques, à l'instar des seuils de la nomenclature « loi sur l'eau » (Art. R. 214-1 du code de l'environnement) ou de l'autorisation environnementale (Art. R. 122-2 du code de l'env.) ;

■ d'une **combinaison de critères**, auxquels sont associées des classes et des valeurs définies à l'avance (c'est-à-dire indépendamment du projet). Ces critères caractérisent d'une part, les milieux naturels affectés par le projet (état initial et enjeux écologiques) ; et d'autre part, la nature, l'intensité et la durée des impacts du projet. Ils considèrent que les impacts d'un projet sont d'autant plus élevés et donc significatifs, que le milieu considéré présente un bon état de fonctionnement et de forts enjeux écologiques.

Cette combinaison de critères permet d'évaluer le caractère « significatif » des impacts d'un projet au cas par cas. Elle se présente sous différentes formes dont à titre d'exemples :

- un tableau à double entrée « enjeux écologiques » et « intensité d'impact »,
- ou un tableau à entrées multiples combinant des critères de description de « l'état initial », des « enjeux », de la « nature d'opération » et de « l'intensité et de la durée des impacts », les valeurs associées à chacun de ces critères étant généralement additionnées ;

■ deux « **dire d'expert** », fondé sur l'importance accordée aux composantes de la biodiversité potentiellement impactées par le projet et sur la nature et l'intensité supposée de l'impact. L'évaluation de la significativité de la perte s'effectue en combinant de multiples critères de caractérisation des composantes physiques, chimiques, biologiques ou fonctionnelles de ces milieux. Par exemple, une perte d'habitat favorable à une espèce peut être considérée comme significative si l'habitat a une importance particulière dans le déroulement du cycle de vie de l'espèce (reproduction, migration, croissance, abri, etc.), s'il est faiblement représenté à l'échelle du paysage, ou s'il abrite un grand nombre de spécimens.

... en termes d'utilisation des approches ?

Trois grandes approches existent pour dimensionner les pertes et gains de biodiversité : ratio minimal, équivalence par pondération et équivalence entre écarts d'état des milieux. Ces types d'approches **se basent sur des objectifs et des concepts fondamentalement distincts entre eux**, occasionnant une forte hétérogénéité de caractérisation puis de quantification des pertes et des gains de biodiversité.

■ Cas des méthodes fondées sur l'approche par ratio minimal

Ces méthodes privilégient la simplicité des calculs et la lisibilité des résultats au détriment des caractéristiques propres à chaque milieu, de la spécificité des impacts engendrés par chaque type de projet ou de la nature des gains de biodiversité apportés par chaque type de mesure de compensation. Seuls les espèces ou milieux affectés par le projet sont en effet pris en compte. Leur description reste généralement sommaire et les pertes de biodiversité sont évaluées sur la base de considérations presque exclusivement quantitatives (telle surface d'habitats affectés donnant lieu à telle surface à compenser). Les caractéristiques des sites de compensation et les gains générés par les actions écologiques envisagées ne participent pas au calcul. Ceci n'incite pas à la proposition de mesures de compensation ambitieuses et empêche toute vérification de l'équivalence entre les pertes et les gains de biodiversité (Tableau 6 page suivante). Pour ces raisons, l'utilisation de cette approche est déconseillée.

Tableau 6

Synthèse des avantages et limites de l'approche par ratio minimal utilisée pour dimensionner les mesures de compensation, au regard du processus d'instruction des projets

	Modalités de prise en compte des principes réglementaires	Robustesse scientifique et technique	Caractère utilisable
Avantages	Incitation au respect du principe d'équivalence qualitative voire, dans certains cas, du principe de proximité spatiale		Rapide Adaptée à tous milieux Applicable par tout public Modalités de mise en œuvre de la compensation facilement contrôlables
Limites	Équivalence entre pertes et gains de biodiversité non vérifiée Absence de prise en compte des autres principes réglementaires (ni cités comme prérequis ni utilisés dans les calculs)	Caractérisation des sites sur la base d'une des trois composantes uniquement (espèces, habitats ou fonctions) Calcul des pertes réduit à la surface d'emprise du projet ou de son impact direct Absence de calcul des gains de biodiversité Nombreux concepts écologiques non utilisés Valeurs des ratios minimaux définies arbitrairement Non prise en compte des spécificités de la biodiversité au cas par cas	

■ Cas des méthodes issues de l'approche d'équivalence par pondération

Dans ces méthodes, les pertes et les gains de biodiversité sont généralement évalués séparément, ce qui permet de vérifier le respect de l'objectif d'absence de perte nette de biodiversité. Elles intègrent dans leurs calculs, une combinaison de critères qui :

- caractérisent les « enjeux écologiques » associés aux milieux naturels, et ce, en complément de leur état initial ;
- prédefinisent à l'avance l'intensité des impacts d'un projet ou de la plus-value écologique générée par la mesure de compensation (à l'aide de classes ou de typologies de natures d'opération) ;
- incitent au respect des principes réglementaires régissant la compensation, via l'augmentation de l'offre de compensation en cas de non-respect de ces principes. Ces critères ayant un but incitatif, leur poids dans les calculs est généralement moins élevé que celui donné aux critères de pondération précédents.

Ce faisant, cette approche tient compte des spécificités locales et propose un **compromis entre la robustesse scientifique du calcul des pertes et des gains de biodiversité d'une part**, et la réalité de conception et d'instruction des projets d'autre part. La caractérisation des espèces et de leurs habitats, et l'estimation de leurs fonctions et enjeux sont basées sur un nombre limité de critères ; l'évaluation des impacts et des plus-values écologiques est prédéfinie à l'aide de classes (faible/moyen/fort, etc.) ou de typologies de natures d'opération et de travaux de génie écologique.

Les objectifs de ce type de méthodes sont de :

- permettre au maître d'ouvrage d'anticiper au maximum le besoin de compensation qu'engendrera son projet et l'offre qu'il conviendra de développer en réponse, incitant même parfois à revenir aux phases d'évitement et de réduction ;
- favoriser les conditions d'une mise en œuvre vertueuse des mesures de compensation, tout en accordant une certaine souplesse compte tenu de la réalité de certains contextes locaux ;
- gagner en lisibilité pour les services instructeurs et les établissements en charge des contrôles sur les résultats obtenus.

Ces méthodes tiennent compte des spécificités des milieux et des actions réalisées au droit du projet et du site de compensation, tout en restant généralement simples et rapides d'utilisation. Elles paraissent ainsi adaptées aux modalités actuelles de conception et d'instruction des projets impactant des milieux ou espèces dont l'enjeu de préservation est faible à fort.

Néanmoins, l'écologie du paysage et l'ensemble des fonctions associées aux milieux concernés par le projet ou par la mesure de compensation, et qui participent aux calculs des pertes ou des gains écologiques, gagneraient à être mieux pris en compte (voir les recommandations spécifiques aux espèces protégées : Medde, 2012b).

Tableau 7

Synthèse des avantages et limites de l'approche d'équivalence par pondération utilisée pour dimensionner les mesures de compensation, au regard du processus d'instruction des projets

	Modalités de prise en compte des principes réglementaires	Robustesse scientifique et technique	Caractère utilisable
Avantages	<p>Possible prise en compte des pertes intermédiaires liées aux modalités de réalisation des mesures de compensation</p> <p>Incitation au respect des principes réglementaires</p>	<p>Prise en compte d'au moins deux des trois composantes (espèces, habitats ou fonctions)</p> <p>Calcul séparé des pertes et des gains de biodiversité</p> <p>Évaluation de l'intensité des impacts d'un projet en fonction de l'état initial des milieux concernés, de leurs enjeux et de la nature de l'opération</p> <p>Valeurs associées aux critères de pondération adaptables au cas par cas</p> <p>Possibilité d'utiliser une typologie prédéfinie des natures d'opération et de leurs impacts</p> <p>Gradient prédéfini d'intensité de la plus-value en fonction du génie écologique envisagé</p> <p>Nombreux concepts utilisés : impacts cumulés, connectivité, pertes intermédiaires, etc.</p> <p>Poids donné aux critères de pondération des pertes ou des gains de biodiversité variable en fonction de leur importance « écologique » (ex. : les impacts du projet ou le génie écologique sur le site de compensation présentent un poids supérieur dans les calculs comparé aux autres critères)</p>	<p>Rapide</p> <p>Adaptée à tous milieux</p> <p>Souvent lisible et compréhensible</p> <p>Applicable par une grande partie du public impliqué dans le processus</p> <p>Possibilité de connaître à l'avance les natures d'opération déclenchant la compensation et la plus-value associée à chaque type d'action écologique</p>
Limites	<p>Possibilité d'envisager une mesure de compensation qui s'éloigne d'une application idéale de tous les principes de la compensation</p>	<p>Forte variabilité des critères de pondération utilisés entre méthodes</p> <p>Valeurs associées aux critères de pondération prédéfinies :</p> <ul style="list-style-type: none"> - indépendamment des mesures de réduction - en restreignant la prise en compte des cas particuliers, au risque d'une normalisation réductrice <p>Choix parfois arbitraires des valeurs associées aux critères de pondération</p>	<p>Résultats variables selon les critères de pondération utilisés</p>

■ Cas des méthodes relevant de l'approche d'équivalence entre écarts d'état des milieux

Ces méthodes quantifient les pertes et les gains de biodiversité séparément, et vérifient le respect de l'objectif d'absence de perte nette de biodiversité. Elles focalisent leur attention sur l'état des milieux, au regard de l'ensemble de leurs composantes physiques, chimiques, biologiques, fonctionnelles et de l'écologie du paysage (selon les méthodes, ces composantes sont plus ou moins bien prises en compte). Elles estiment alors leur évolution après projet ou mise en œuvre des actions écologiques, soit à l'aide de modèles prédictifs de leur(s) trajectoire(s) potentielle(s), soit à dire d'expert (ce dernier étant alimenté par des retours d'expériences).

Cette estimation peut ensuite être comparée tout au long du projet, avec les résultats des suivis reposant sur les mêmes protocoles d'évaluation que ceux réalisés lors de l'état initial du milieu avant-projet. Un ajustement des mesures de compensation peut alors être apporté si nécessaire dès lors que l'acte administratif autorisant le projet le prévoit.

Ces méthodes permettent ainsi d'évaluer les pertes et les gains de biodiversité de manière robuste, sur la base de concepts uniquement écologiques.

Dans ce type d'approche, les enjeux écologiques et la nature du projet ou des actions écologiques mises en œuvre sur le site de compensation sont généralement pris en compte de manière implicite. Le respect des principes réglementaires peut être considéré comme un **prérequis** à vérifier préalablement à tout calcul (limitant de fait les pertes intermédiaires engendrées par les modalités de réalisation des mesures de compensation). Le non-respect de ces principes peut cependant être vérifié pendant les calculs selon les critères utilisés. Par exemple, les gains de biodiversité attendus sur un site de compensation et pour une espèce cible donnée peuvent être diminués si le principe de proximité fonctionnelle n'est pas vérifié, compte tenu de la difficulté de colonisation du site de compensation pour les individus de cette population.

Tableau 8

Synthèse des avantages et limites de l'approche d'équivalence entre écarts d'état des milieux utilisée pour dimensionner les mesures de compensation, au regard du processus d'instruction des projets

	Modalités de prise en compte des principes réglementaires	Robustesse scientifique et technique	Caractère utilisable
Avantages	<p>Souplesse possible dans l'application de certains principes réglementaires dès lors que les objectifs de non perte nette de biodiversité sont atteints (proximité spatiale et temporelle, équivalence quantitative, pérennité, etc.)</p> <p>Obligation de respecter les autres principes comme prérequis</p>	<p>Caractérisation des sites sur la base des trois composantes (espèces, habitats et fonctions)</p> <p>Calcul séparé des pertes et des gains de biodiversité</p> <p>Évaluation de l'intensité des impacts d'un projet en fonction de l'état initial des milieux concernés, de leurs enjeux et de leur trajectoire potentielle selon le projet</p> <p>Valeurs associées aux critères adaptables au cas par cas</p> <p>Nombreux concepts écologiques pris en compte : fonctionnalités, structure et dynamique des communautés et habitats, écologie du paysage, etc.</p> <p>Possible utilisation du même cadre d'acquisition de données et de calcul des états initiaux pour suivre l'évolution des sites impactés et compensés</p>	<p>Adaptée à tous milieux</p> <p>Applicable par anticipation, aux documents de planification et aux Sites naturels de compensation (SNC)</p> <p>Utilisable pour les suivis afin de vérifier l'atteinte réelle de l'équivalence écologique</p>
Limites	<p>Absence de critères incitant au respect des principes réglementaires, rendant l'approche rigide (le non-respect de ces principes engendrant un rejet du projet) ou la vérification de ces principes non effective</p>	<p>Forte variabilité des critères utilisés entre méthodes</p> <p>Hypothèses sur les trajectoires écologiques définies à dire d'expert ou à partir de modèles potentiellement complexes</p> <p>Prise en compte implicite de la nature de l'impact et du type d'action écologique, pouvant engendrer des inégalités de traitement selon les cas</p>	<p>Résultats variables selon les critères utilisés</p> <p>Nombreuses données nécessaires</p> <p>Niveau d'expertise requis parfois élevé</p>

En France, le faible taux d'utilisation de cette approche lors de la conception des projets s'explique notamment par :

- leur apparente complexité au regard du nombre plus élevé de données à renseigner en comparaison avec les autres approches ;
- les modes de renseignement des critères nécessitant beaucoup de données ou de choix des trajectoires qui peut varier entre experts ;
- le manque de connaissances sur la pertinence des modèles utilisés ;
- la multiplicité des résultats obtenus qui complexifie leur interprétation.

En revanche, ces méthodes favorisent la concertation entre acteurs en rendant toutes les étapes du dimensionnement transparentes et objectivées.

Ce type d'approche nécessite un niveau d'expertise avancé pour analyser les données et en interpréter les résultats, relevant du domaine de compétence des bureaux d'étude. Malgré une adaptation possible à tous types de projets, l'investissement initial pour l'utilisation de ces méthodes les prédispose à des projets nécessitant une bonne prise en compte de tous les enjeux écologiques (enjeux forts à majeurs).

... en termes de critères participant à l'évaluation des pertes et des gains de biodiversité

Afin de quantifier les pertes ou les gains de biodiversité, les méthodes étudiées utilisent de nombreux critères qui pondèrent les métriques directement ou indirectement concernées, par le projet ou par la mesure de compensation. Ces critères sont généralement symétriques entre les pertes et les gains. Ils peuvent être regroupés en quatre catégories (Figure 2 page 24), dont :

- les critères de caractérisation de l'état initial des milieux concernés par le projet ou par les mesures de compensation ;
- les critères d'évaluation des enjeux écologiques associés à ces milieux ;
- les critères d'estimation de la nature, de l'intensité et de la durée des impacts du projet ou de la plus-value écologique générée par les actions écologiques sur les sites de compensation ;
- les critères d'incitation à la limitation des pertes intermédiaires et au respect des principes réglementaires régissant la compensation.



Surdimensionnement ou respect des principes réglementaires ?

L'utilisation de certains principes réglementaires comme critères de pondération des pertes ou des gains de biodiversité part du constat de difficultés dans leur stricte application sur le terrain. Cette pratique encourage les solutions répondant le mieux aux principes réglementaires et pénalise les solutions qui s'en écartent.

Ce faisant, elle offre néanmoins une certaine souplesse permettant l'adaptation des mesures compensatoires au contexte du terrain. L'écart à une application idéale d'un principe peut se traduire par une augmentation des pertes de biodiversité qui augmente alors les métriques à compenser.

Toutefois, dans ce cas de figure, pour écarter le risque d'accepter des mesures de compensation peu efficaces, les réflexions doivent être guidées par l'objectif d'absence de perte nette de biodiversité. Augmenter le dimensionnement d'une mesure de compensation trop éloignée des principes réglementaires de compensation n'en augmente pas nécessairement l'efficacité ou la pertinence. Aussi, le respect de ces principes est toujours préférable à un surdimensionnement des mesures de compensation. Le coût des mesures de compensation n'est pas forcément corrélé à leur intérêt écologique. Dans l'impossibilité de réaliser des mesures de compensation suffisamment satisfaisantes, il convient de revenir aux phases d'évitement et de réduction.



Conclusion et perspectives

La séquence ERC, renforcée par l'objectif d'absence de perte nette de la biodiversité inscrite dans la loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages de 2016, comprend désormais une étape de dimensionnement de la compensation destinée à vérifier l'équivalence entre les pertes et les gains de biodiversité associés.

L'analyse des méthodes réalisée dans la présente étude corrobore les constats d'études conduites à l'international : forte hétérogénéité des approches développées, tant en termes de critères utilisés que de modalités de calculs ; et écart non négligeable entre la connaissance scientifique et technique du sujet et les pratiques en vigueur en matière de conception et d'instruction des projets (Pearson *et al.*, 2005 ; Doyle & Douglas Shields, 2012).

Témoignages



Club des infrastructures linéaires et biodiversité

Une forte disparité est constatée dans les méthodes de dimensionnement de la compensation, comme dans les exigences des services instructeurs en fonction des dossiers. Plusieurs problématiques demeurent :

- l'objectivation de l'équivalence écologique sur des critères scientifiques est nécessaire ;
- l'encadrement de la proportionnalité entre la durée de l'impact et celle du suivi et de l'entretien de la mesure de compensation ;
- la nécessité de compenser les impacts temporaires en phase chantier reste à étayer par des retours d'expériences ;
- les problématiques foncières, freins cruciaux dans la mise en œuvre de la compensation, accentués par l'application de ratios conservateurs. La recherche foncière doit être menée en amont pour une compensation effective au moment des impacts. Or, la question de la compensation apparaît trop tardivement dans la phase d'élaboration du projet pour ce faire.

Le principe de la proximité fonctionnelle peut conduire à la dispersion des mesures de compensation, alors qu'un positionnement stratégique s'inscrivant par exemple dans le renforcement des trames vertes et bleues pourrait être plus pertinent pour la biodiversité.

Issue d'une décision sociétale, l'identification de zones prioritaires de restauration d'un territoire pourrait optimiser l'efficacité des mesures de compensation. Le recours à des mesures agro-écologiques est à développer.

La caractérisation des trois types d'approches identifiées pour dimensionner la compensation, et leur analyse conduisent aux recommandations ci-après.

L'utilisation de l'**approche par ratio minimal**, bien que la plus rapide à utiliser lors de la conception du projet ou pendant le processus d'instruction, est déconseillée. Ne reposant pas sur une analyse rigoureuse des milieux affectés et compensés, elle ne tient pas compte des spécificités locales et normalise le dimensionnement de la compensation sans vérifier son principal objectif, l'absence de perte nette de biodiversité. Malgré son usage régulier dans le cadre des projets relevant de la « loi sur l'eau » ou des demandes de dérogation à la protection d'espèces protégées, cette approche ne garantit pas le respect des principes réglementaires régissant la compensation.

L'**approche d'équivalence par pondération** représente un bon **compromis entre robustesse scientifique et utilisabilité**, dont il faut toutefois identifier les limites. Lorsque les méthodes qui en découlent tiennent compte d'une part des caractéristiques et des milieux naturels concernés par le projet ou par la compensation, et d'autre part, des actions réalisées au droit du projet et des sites de compensation, leur usage est adapté à la conception de mesures de compensation pertinentes.

Ces méthodes sont pour l'instant favorisées dans de nombreux pays (Doyle & Douglas Shields, 2012 ; Hubert *et al.*, 2019 ; voir la méthode Nouvelle-Calédonie). Elles s'affranchissent de l'estimation des trajectoires des milieux, par l'utilisation de critères de pondération des pertes et des gains prédéfinis à l'avance. Lorsque l'analyse sur laquelle reposent les choix des critères de pondération est décrite de manière précise et argumentée, il en résulte une méthode assez simple d'utilisation, dont les résultats sont plus rigoureux et robustes que pour l'approche par ratio minimal.

Cependant, ces méthodes ont tendance à offrir une vision réductrice des écosystèmes, les fonctions associées aux milieux et leurs trajectoires potentielles étant très rarement prises en compte. En conséquence, leur utilisation est recommandée **pour des projets dont les enjeux environnementaux sont estimés de « faibles » à « forts »**, et doit nécessairement reposer sur un **cadre d'acquisition de données standardisé et remobilisable lors des suivis, afin de pouvoir vérifier dans le temps, l'équivalence effective entre les pertes et les gains de biodiversité.**

L'**approche d'équivalence entre écart d'états des milieux** est la plus **robuste et la plus précise**, les méthodes proposées reposant généralement sur une bonne connaissance de l'état des milieux et de leur dynamique. Elles doivent néanmoins être optimisées pour en faciliter l'utilisation. Reposant sur des prérequis forts, qui garantissent théoriquement la pertinence des mesures de compensation proposées, elles s'alimentent de jeux de données riches et de protocoles qui permettent d'une part, d'évaluer finement un état initial des sites impactés et des sites de compensation ; et d'autre part, de proposer des modèles prédictifs des pertes engendrées par le projet et des gains apportés par la ou les mesures de compensation. Ces modèles, qu'ils soient le fruit d'une expertise ou d'un travail de synthèse bibliographique, demandent encore à être éprouvés et doivent de fait intégrer les incertitudes qui rendent leur lecture parfois complexe. L'utilisation d'un cadre d'acquisition de données standardisé permet de suivre l'évolution temporelle de l'état des milieux, d'en déduire les trajectoires et d'ajuster au besoin les mesures proposées et leur dimensionnement. De nombreux projets de recherche sont en cours de développement pour mieux cadrer l'étape d'estimation des valeurs après impact et compensation, principal frein à l'utilisation de cette approche. À titre d'exemple, les écologues du Lessem (Laboratoire écosystèmes et sociétés en montagne) de Grenoble, capitalisent des retours d'expériences pour identifier les trajectoires prises par les écosystèmes impactés ou restaurés (Bezombes *et al.*, 2019 ; Bezombes *et al.*, 2019, in prep), notamment grâce à un partenariat avec l'UMS PatriNat qui teste une de ces méthodes sur des projets réels en cours d'instruction. Au regard de sa robustesse scientifique mais aussi de sa complexité, l'utilisation de cette approche est **recommandée pour des projets dont les enjeux environnementaux sont estimés « forts » à « majeurs »**. Malgré un **cadre plus lourd à déployer, parfois difficile à appréhender**, son utilisation permet d'**évaluer plus précisément l'état écologique des sites considérés et leurs trajectoires potentielles, de suivre la réussite des opérations de compensation menées et de garantir l'atteinte des objectifs.**



Direction départementale des territoires des Ardennes (08)

Le dimensionnement de la compensation doit être un outil pour évaluer au plus juste les impacts résiduels des projets sur les milieux naturels et pour trouver des mesures de compensation préservant leur fonctionnalité globale sur le territoire. La moitié nord-est du département des Ardennes (80 % de la population) abrite de nombreuses zones humides fortement impactées par le projet autoroutier A304 (225 ha détruits). Une réflexion sur les méthodes de dimensionnement a débuté en 2011 pour répondre d'une part à la demande générale des porteurs de projets de connaître au plus tôt les exigences de l'État, et d'autre part aux contraintes liées à l'importance des surfaces prévues pour la compensation.

Une méthodologie de compensation de type calcul d'écart a été conçue par le pétitionnaire (AFB et DDT associées) afin de compenser les impacts sur la fonctionnalité hydraulique des milieux détruits. Aujourd'hui, même issues d'une méthode pouvant paraître approximative, elles semblent pertinentes quantitativement (surfaces) ou qualitativement (plus-value écologique).

La difficulté réside dans la juste évaluation des impacts et du gain réel des mesures proposées. Une méthode idéale doit être aisément compréhensible par les porteurs de projets, pragmatique et souple. Trop complexe, elle peut aboutir à des mesures trop spécifiques pour être opérantes tandis que trop simple et globale, elle peut être préjudiciable et amener à négliger l'évitement et la réduction.

La multiplication des méthodes est susceptible de fragiliser les résultats du dimensionnement de la compensation pour deux raisons :

- les résultats peuvent varier pour un même projet selon la méthode utilisée, ouvrant la porte à une forme de négociation dans le choix des méthodes ou des critères d'estimation des pertes et des gains ;
- le choix des valeurs associées aux différents critères peut être remis en question s'il est insuffisamment expliqué.

La justification des valeurs attribuées aux critères est donc impérative, même si elle complexifie parfois la lecture et la compréhension des résultats.

En outre, les utilisateurs de ces méthodes doivent intégrer des problématiques indispensables à leur prise de décision :

- l'identification des contraintes socio-économiques ou temporelles limitant l'utilisation de certaines méthodes d'apparence trop complexes pour les acteurs de la séquence ERC (maîtres d'ouvrage, bureaux d'études, services instructeurs et établissements publics en charge des contrôles) ;
- la considération des espèces, milieux ou fonctions dont la préservation ou la restauration en bon état de conservation ne peut pas être assurée par la mobilisation du génie écologique actuel. En l'absence de possibilité de compensation satisfaisante, l'évitement de ces composantes environnementales est impératif ;
- le développement, pour l'ensemble des milieux naturels concernés par les projets, de méthodes d'évaluation de leurs fonctions physiques, chimiques et biologiques, tenant compte de l'écologie du paysage (Gayet *et al.*, 2016) ;
- l'amélioration de la connaissance relative à la résilience des écosystèmes à différentes échelles, de celle du projet à celle du territoire (Palmer & Hondula, 2014 ; Dutoit *et al.*, 2018) ;
- l'intégration de la finitude spatiale des territoires, rappelée par l'objectif nouvellement affiché de « zéro artificialisation nette » (Plan biodiversité, 2018) qui conduit à reconsidérer l'opportunité d'un projet au regard de sa soutenabilité écologique sur un territoire donné.

Le présent ouvrage apporte sa contribution à la compréhension de la problématique en donnant des clés de lecture du dimensionnement de la compensation *ex ante*. Il s'inscrit dans un ensemble de travaux en cours ayant pour objectif d'améliorer l'application de la séquence ERC. Parmi ces derniers, figure le développement d'une approche standardisée du dimensionnement de la compensation *ex ante* porté par un groupe de travail national mis en place par l'AFB et le Ministère de la Transition écologique et solidaire (CGDD) avec l'expertise technique du Cerema. Ce travail fournira un cadre méthodologique destiné à harmoniser les pratiques, dans le but de faciliter le montage des projets pour les maîtres d'ouvrage et les acteurs économiques, mais aussi l'instruction de ces dossiers par les services de l'État. Ces travaux constituent une première étape d'amélioration de la compensation et seront étoffés par d'autres. Par exemple, la constitution d'un inventaire des espaces à fort potentiel de gain écologique permettra d'aborder la problématique de la disponibilité du foncier.

Le propos de cet ouvrage cible principalement la partie « compensation » de la séquence ERC. **L'évitement et la réduction restent toutefois des étapes majeures de la démarche, indispensables pour atteindre l'objectif d'absence de perte nette de biodiversité.** On le voit, si la séquence ERC vise à concilier aménagement du territoire, développement économique et transition écologique, elle conduit aussi à la fois à réinterroger nos modes de vie, et à repenser notre modèle de société ; elle devra à l'avenir s'intégrer pleinement et durablement dans la planification urbaine et l'aménagement du territoire.

Annexe

En savoir plus sur la caractérisation des approches de dimensionnement *ex ante* des atteintes à la biodiversité

Les 25 méthodes étudiées sont présentées dans le tableau A. Le type d'approche et le code associé à chaque méthode sont précisés au sein des cartes factorielles.

Tableau A Liste des méthodes étudiées

Nom de la méthode	Code	Caractère utilisable
Approche par ratio minimal		
Sdage Adour-Garonne	<i>Sdage AG</i>	Spécialiste
Sdage Artois-Picardie	<i>Sdage AP</i>	
Sdage Corse	<i>Sdage Corse</i>	
Sdage Loire-Bretagne	<i>Sdage LB</i>	
Sdage Seine-Normandie	<i>Sdage SNorm</i>	
Sdage Rhône-Méditerranée	<i>Sdage RMéd</i>	
Sdage Rhin-Meuse	<i>Sdage RMeuse</i>	
Méthode ratio évolué Tarn	<i>Ratio évolué Tarn</i>	
Approche d'équivalence par pondération		
Méthode cours d'eau du Missouri (États-Unis)	<i>CEMissouri</i>	Spécialiste
Méthode cours d'eau du Savannah (États-Unis)	<i>CESavannah</i>	
Méthode EcoMed	<i>EcoMed</i>	
Méthode Egis – projet GRTgaz dans le Val de Saône	<i>EgisVdSaone</i>	
Méthode Eten environnement – projet de la retenue de Gerac	<i>EtenGerac</i>	
Méthode – projet de LGV BPL	<i>LGV BPL</i>	
Méthode Miroir de biotope (dossier de l'aéroport de Notre-Dame-des-Landes)	<i>Miroir NDdL</i>	Holistique
Méthode Naturalia – projet de déviation RD1215 à Saint-Aubin du Médoc	<i>Naturalia RD1215</i>	Spécialiste
Outil de calcul des mesures compensatoires (Nouvelle Calédonie)	<i>OCMC</i>	Holistique
Méthode Biotope – projet RN141	<i>RN141</i>	Spécialiste
Approche d'équivalence entre écarts d'état des milieux		
Méthode Écosphère démarche ERC Aequitas	<i>Aequitas</i>	Holistique
Cadre méthodologique pour l'évaluation de l'équivalence écologique (ECOVAL)	<i>ECOVAL</i>	
Méthode du département de l'Environnement, de l'Alimentation et des Affaires rurales (Royaume-Uni)	<i>DEFRAUK</i>	
<i>Habitat Evaluation Procedure</i> (HEP) « adaptée »	<i>HEPadaptée</i>	
Méthode pour éviter réduire et compenser les impacts en zones coralliennes	<i>MERCICor</i>	Spécialiste
Méthode d'évaluation rapide de la compensation des impacts écologiques	<i>MERCIE</i>	
<i>Uniform Mitigation Assessment Method</i> (USA)	<i>UMAM</i>	

N.B. Les documents consultés pour chaque méthode sont listés dans la bibliographie.

Les méthodes ont été analysées à l'aide d'une Analyse des correspondances multiples (ACM) disponible sur le logiciel R et la fonction *dudi.mix* du package *ade4*. Cette analyse multivariée présente le double avantage de pouvoir caractériser les méthodes selon un grand nombre de variables et ce, sans jugement de valeur *a priori* sur les modalités caractérisant ces variables. À titre d'exemple, la variable « niveau d'expertise » est caractérisée par les trois catégories « Tout public », « Acteurs/Techniciens » et « Expert », sans considérer que l'une soit meilleure que l'autre¹⁴.

Pour chaque aspect étudié (modes de prise en compte de la réglementation, robustesse scientifique et technique et caractère utilisable), un tableau liste les variables utilisées dans l'analyse, leur code et leur interprétation. Deux cartes factorielles présentent les résultats de chaque ACM, l'une présentant les méthodes, l'autre les variables caractérisant les méthodes.

Aide à l'interprétation



Comment lire les cartes factorielles ?

L'Analyse des correspondances multiples permet de visualiser sur une carte factorielle les ressemblances et différences entre méthodes (qui sont ici rassemblées par types d'approche) et d'identifier les variables expliquant le plus ces ressemblances ou différences. Plus les méthodes sont proches, plus elles présentent des caractéristiques similaires au regard des variables étudiées. Plus elles sont éloignées, plus elles présentent des caractéristiques différentes.

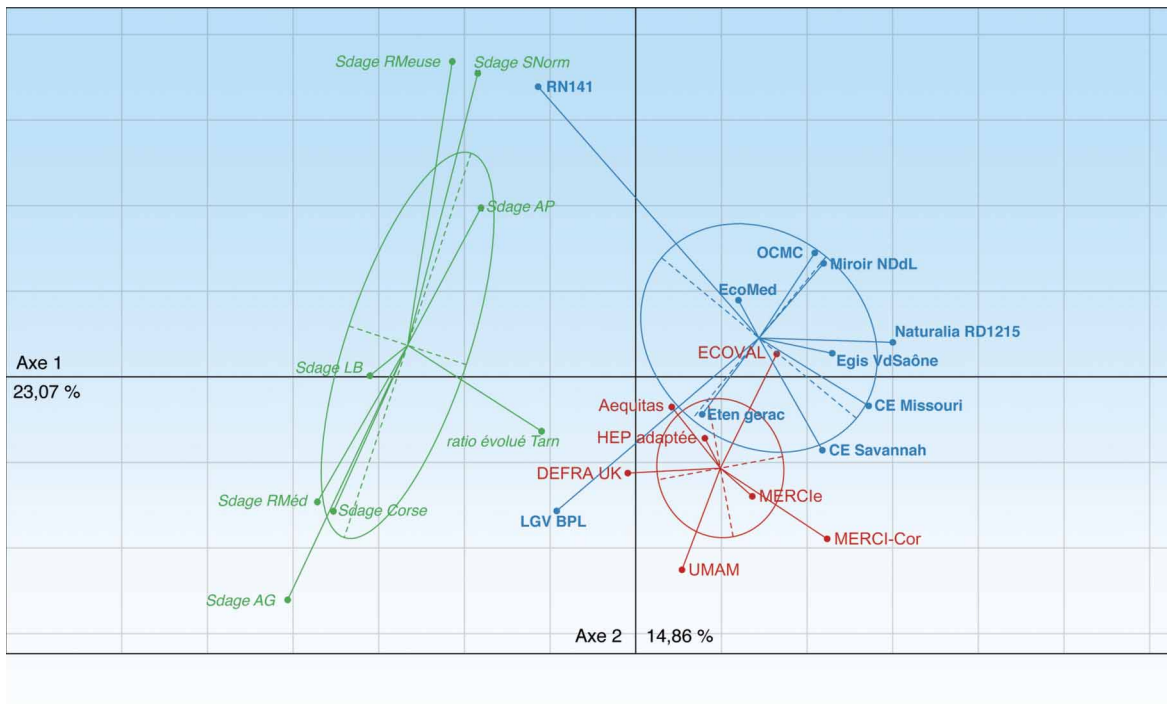
Cas des principes réglementaires régissant la compensation

Tableau **B**

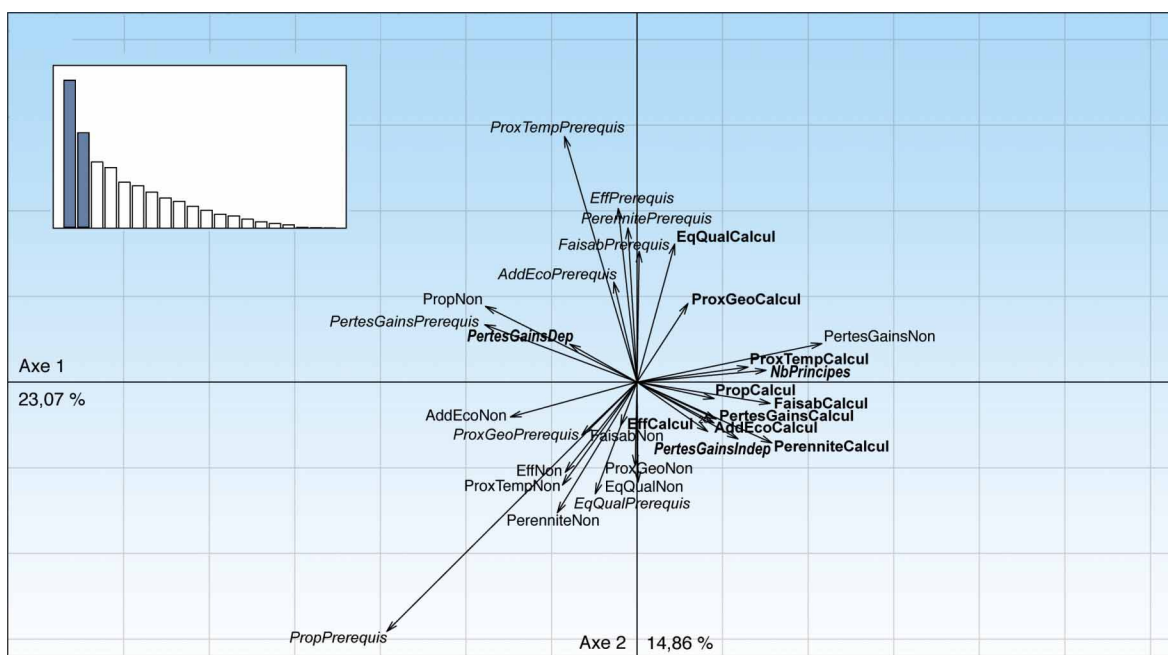
Variables et modalités utilisées pour caractériser l'intégration des principes réglementaires régissant la compensation au sein du calcul des pertes ou des gains de biodiversité

Variables		Modalités associées (codes)	Interprétation
Les principes réglementaires suivants sont-ils cités ou pris en compte par la méthode, lors du calcul des pertes ou des gains de biodiversité ?	Proportionnalité (<i>Prop-</i>)	- Principe non pris en compte - (<i>Non</i>)	Le respect de la réglementation vise à s'assurer du respect de l'objectif d'absence de pertes nettes de biodiversité et à asseoir la sécurité juridique du projet
	Équivalence qualitative (<i>EqQual-</i>)		
	Proximité géographique (<i>ProxGeo-</i>)	- Principe cité dans les « prérequis » mais non utilisé dans les calculs (<i>Prerequis</i>)	
	Proximité temporelle (<i>ProxTemp-</i>)		
	Additionnalité (plus-value écologique) (<i>Add-</i>)	- Principe pris en compte dans les calculs (<i>Calcul</i>)	
	Faisabilité (<i>Faisab-</i>)		
	Efficacité (<i>Eff-</i>)		
	Pérennité (<i>Perennite-</i>)		
Équivalence entre pertes et gains (<i>PertesGains-</i>)			
Combien de principes réglementaires sont-ils utilisés par la méthode ?		Nombre total de principes pris en compte dans le calcul des pertes ou des gains (<i>NbPrincipes</i>)	
Les pertes et les gains sont-ils calculés séparément ?		Oui (<i>PertesGainsIndep</i>) Non (<i>PertesGainsDep</i>)	Le calcul des pertes et des gains effectué séparément permet de vérifier l'équivalence entre les deux et l'absence de perte nette de biodiversité

Figure A (a)



(b)



Résultats de l'ACM réalisée sur 25 méthodes caractérisées sur la base des modes de prise en compte des principes réglementaires dans le dimensionnement de la compensation.
 Plans factoriels des méthodes (a) et des variables caractérisant ces méthodes selon leur assise réglementaire (b).
 Pour des questions de lisibilité, les méthodes et variables sont représentées séparément, mais les deux cartes (a) et (b) sont superposables.

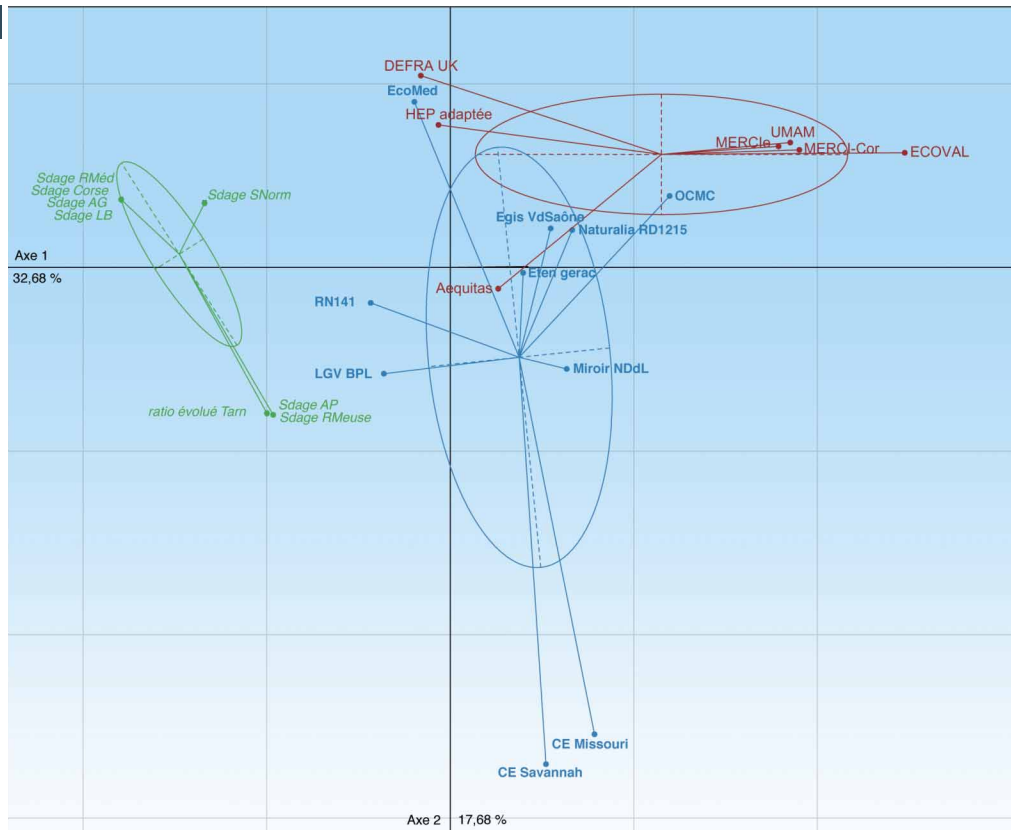
Robustesse scientifique et technique

Tableau C

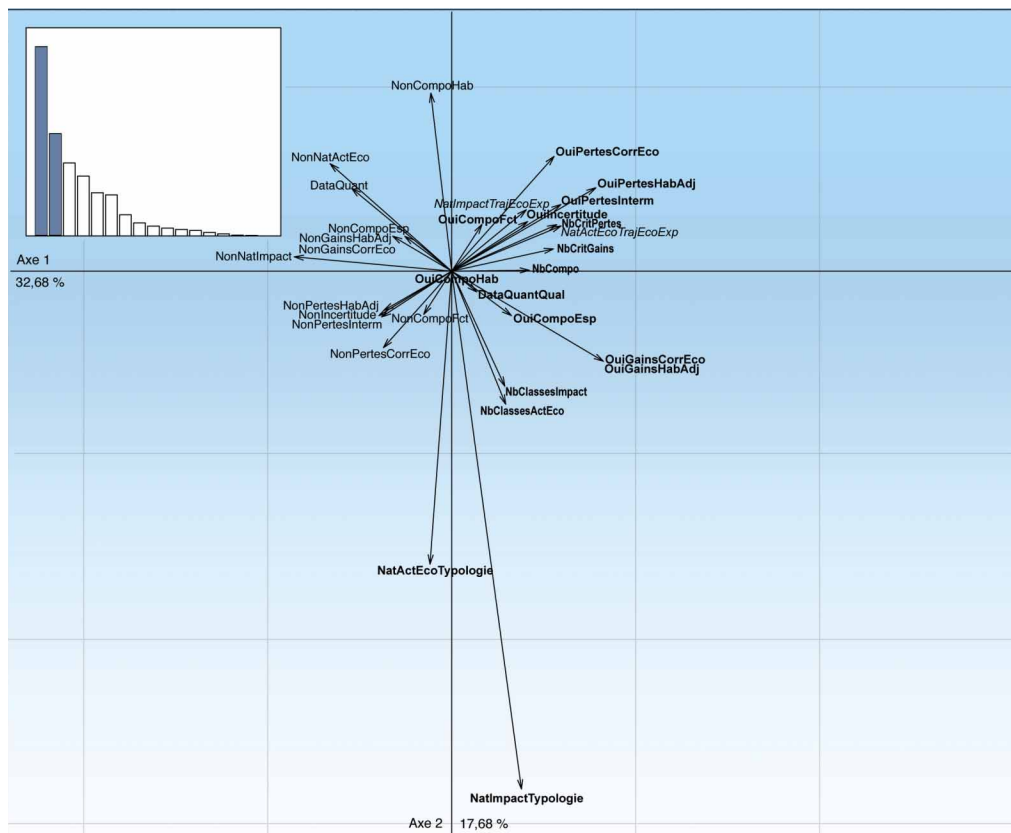
Variables et sa ou ses modalité(s) utilisés pour caractériser la robustesse scientifique et technique des méthodes de dimensionnement de la compensation

Variables	Modalités associées (codes)	Interprétation
Type de données utilisées	- Quantitative (<i>Quant</i>) - Quantitative et qualitative (<i>QuantQual</i>)	La combinaison de critères qualitatifs et quantitatifs, permet de caractériser les milieux concernés, la nature des impacts engendrés par le projet ou de la plus-value générée par la compensation, c'est-à-dire la nature précise des pertes ou des gains de biodiversité
Nombre de composantes utilisées (habitat, espèce, fonction)	Nombre total de composantes prises en compte	Plus le nombre de composantes utilisées pour caractériser les milieux naturels et évaluer les pertes ou les gains de biodiversité est grand, plus cette évaluation est susceptible de refléter l'ensemble de l'écosystème de manière robuste À l'inverse, certains impacts ou gains peuvent être omis, si toutes les composantes de milieu ne sont pas prises en compte dans les calculs
Prise en compte des habitats naturels	- Oui (<i>OuiCompoHab</i>) - Non (<i>NonEntreeHab</i>)	
Prise en compte des espèces	- Oui (<i>OuiCompoEsp</i>) - Non (<i>NonEntreeEsp</i>)	
Prise en compte des fonctions ou services écosystémiques	- Oui (<i>OuiCompoFct</i>) - Non (<i>NonCompoFct</i>)	
Critères participant au calcul des pertes	Nombre total de critères (<i>NbCritPert</i>)	La prise en compte de la nature de l'impact au droit du projet ou de la nature du génie écologique mis en place sur le site de compensation permet de caractériser précisément la nature et l'intensité des pertes et des gains
Critères participant au calcul des gains	Nombre total de critères (<i>NbCritGain</i>)	
Modes de prise en compte de la nature du projet et de ses impacts	- Non prise en compte (<i>NonNatImpact</i>) - Prise en compte par estimation des trajectoires écologiques sur la base de modèles prédéfinis ou à dire d'expert (<i>NatImpactTrajEcoExp</i>) - Prise en compte explicite à l'aide d'une typologie des natures d'opération associée aux impacts (<i>NatImpactTypologie</i>)	
	- Non prise en compte (<i>NonNatActEco</i>) - Prise en compte par estimation des trajectoires écologiques sur la base de modèles prédéfinis ou à dire d'expert (<i>NatActEcoTrajEcoExp</i>) - Prise en compte à l'aide d'une typologie des natures d'opération associée aux impacts (<i>NatActEcoTypologie</i>)	
Modes de prise en compte de la nature des actions écologiques sur le site de compensation et de leur plus-value écologique potentielle	- Non prise en compte (<i>NonNatActEco</i>) - Prise en compte par estimation des trajectoires écologiques sur la base de modèles prédéfinis ou à dire d'expert (<i>NatActEcoTrajEcoExp</i>) - Prise en compte à l'aide d'une typologie des natures d'opération associée aux impacts (<i>NatActEcoTypologie</i>)	Plus le nombre de classes ou de variables décrivant la nature et l'intensité de l'impact ou la nature et l'intensité de la plus-value écologique augmente, plus il est possible d'adapter le calcul à chaque situation rencontrée
Nombre de classes ou de critères caractérisant les natures d'opération associées aux impacts	- Nombre de classes ou de critères (<i>NbClassesImpact</i>)	La prise en compte, dans le calcul des pertes et des gains, des fonctions inhérentes à la mosaïque d'habitats et à leur connectivité, permet d'intégrer le rôle de l'écologie du paysage dans le fonctionnement des écosystèmes naturels et les impacts ou bénéfiques indirects (dont la résilience) qu'engendrent le fractionnement ou la reconnexion de ces habitats entre eux
Nombre de classes ou de critères caractérisant les actions écologiques	- Nombre de classes ou de critères (<i>NbClassesActEco</i>)	
Écologie du paysage	prise en compte des habitats adjacents à l'emprise du projet dans le calcul des pertes - Oui (<i>OuiPerteshabAdj</i>) - Non (<i>NonPerteshabAdj</i>)	
	prise en compte des habitats adjacents au site de compensation dans le calcul des gains - Oui (<i>OuiGainsHabAdj</i>) - Non (<i>NonGainsHabAdj</i>)	
Connectivité	prise en compte des corridors écologiques dans le calcul des pertes - Oui (<i>OuiPerteshabAdj</i>) - Non (<i>NonPerteshabAdj</i>)	Les retours d'expériences en matière de restauration des milieux naturels invitent à une nécessaire prudence dans la prévision des gains, l'ensemble des paramètres physiques et biologiques participant au succès du génie écologique ne pouvant être contrôlés sur le site de compensation. La prise en compte du risque d'échec inhérent à ces actions écologiques évite de surestimer les gains
	prise en compte des corridors écologiques dans le calcul des gains - Oui (<i>OuiGainsCorrEco</i>) - Non (<i>NonGainsCorrEco</i>)	
Efficacité : prise en compte de l'incertitude sur l'action écologique dans le calcul des gains	- Oui (<i>OuiIncertain</i>) - Non (<i>NonIncertain</i>)	La prise en compte des pertes intermédiaires de fonctionnalité des écosystèmes liées au décalage temporel entre les impacts et l'efficacité des actions écologiques sur le site de compensation permet d'estimer au plus juste les gains de biodiversité
Temporalité : prise en compte du temps nécessaire à l'efficacité des actions écologiques dans le calcul des gains	- Oui (<i>OuiPerteshabAdj</i>) - Non (<i>NonPerteshabAdj</i>)	Le renvoi vers une méthode adaptée à un milieu ou une espèce donnée permet d'adapter les calculs à des cas particuliers qui nécessitent une évaluation spécifique
La méthode renvoie-t-elle à une méthode complémentaire d'évaluation écologique de l'état d'un milieu, d'une espèce ou des fonctions ?	- Oui (<i>OuiRenvoiMeth</i>) - Non (<i>NonRenvoiMeth</i>)	

Figure B (a)



(b)



Résultats de l'ACM réalisée sur 25 méthodes caractérisées selon leur utilisation de critères scientifiques et techniques dans le dimensionnement de la compensation.

Plans factoriels des méthodes (a) et des variables caractérisant ces méthodes (b). Pour des questions de lisibilité, les méthodes et variables sont représentées séparément, mais les deux cartes (a) et (b) sont superposables.

Indications sur le caractère utilisable

Tableau

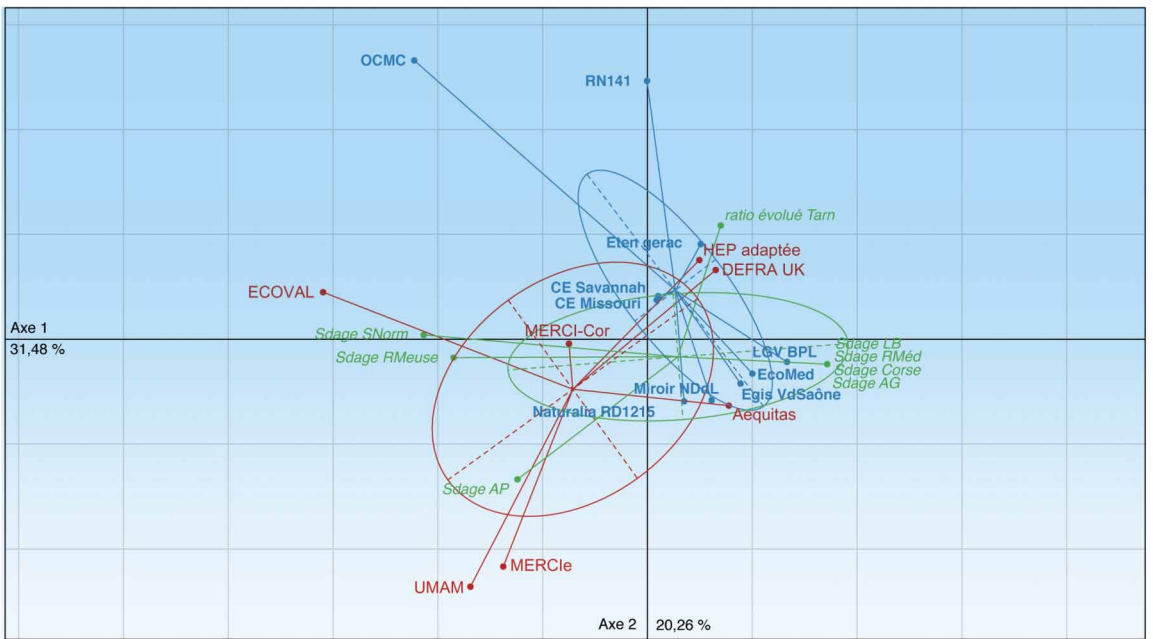
D

Variables et sa ou ses modalité(s) pour caractériser le caractère utilisable des méthodes de dimensionnement de la compensation

Variables	Modalités associées (codes)	Interprétation
Nombre total de critères utilisés dans la méthode	Nombre total de critères (<i>NbCrit</i>)	Un nombre élevé de critères et de données associées peuvent compliquer l'application de la méthode
Nombre de données nécessaires au calcul des pertes et des gains	Nombre total de données (<i>NbData</i>)	Les résultats peuvent perdre en lisibilité et devenir difficiles à vérifier et à contrôler
Modes de choix des critères	Critères à choisir au sein d'une liste proposée par la méthode (<i>CritChoixListe</i>) Critères imposés par la méthode (<i>CritImposes</i>)	Lorsque les critères utilisés dans les calculs sont imposés, il n'y a pas de possibilité de modifier les résultats
Modes de choix des valeurs associées aux critères	Valeurs associées aux critères non prédéfinies mais choix guidés par la méthode (<i>ValCritNonPredef</i>) Valeurs associées aux critères prédéfinies par la méthode (<i>ValCritPredef</i>)	Lorsque le choix des valeurs associées aux critères utilisés dans les calculs est imposé, il n'y a pas nécessité de faire appel au dire d'expert ni de possibilité de modifier les résultats
Niveau d'expertise nécessaire à l'application de la méthode	Tout public (<i>ToutPublic</i>) Intermédiaire (<i>Intermediaire</i>) Expert (<i>Expert</i>)	Plus la méthode nécessite un haut niveau de compétence, moins elle est utilisable par un large panel d'utilisateurs et moins les résultats sont contrôlables

Figure C

(a)



(b)

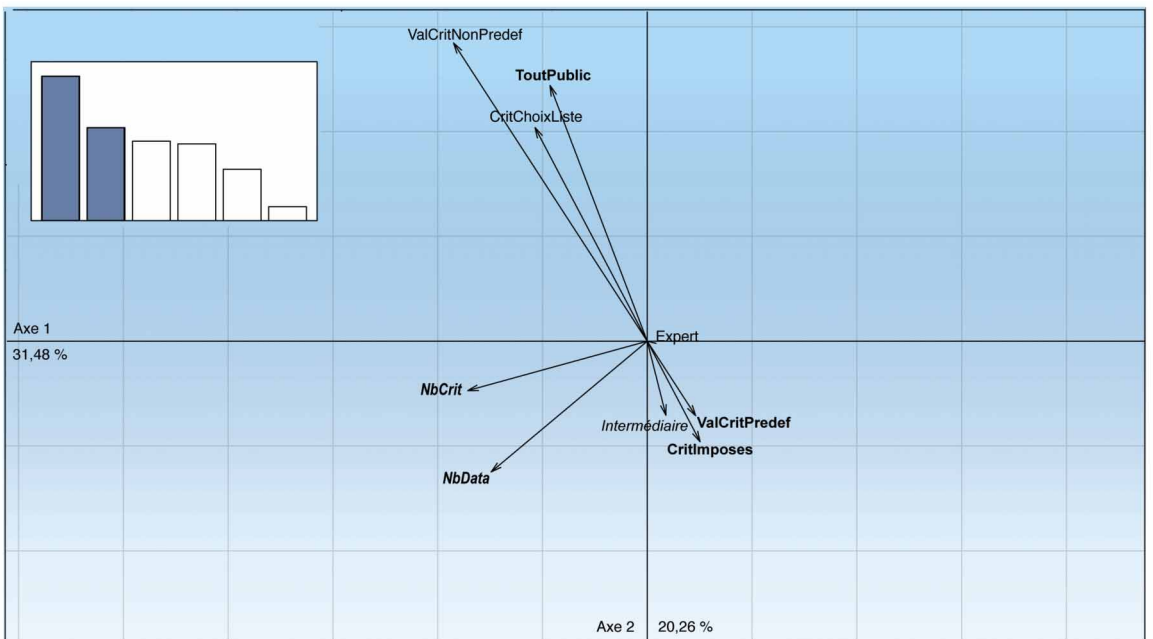


Figure A. Résultats de l'ACM réalisée sur 25 méthodes caractérisées sur la base de leur caractère utilisable. Plans factoriels des méthodes (a) et des variables caractérisant ces méthodes selon leur assise réglementaire (b). Pour des questions de lisibilité, les méthodes et variables sont représentées séparément, mais les deux cartes (a) et (b) sont superposables.



Sigles et abréviations

- **ACM** Analyse des correspondances multiples (intégré dans l'Office français de la biodiversité en 2020)
- **AFB** Agence française pour la biodiversité
- **APG** Arrêté de prescriptions générales
- **CE** Code de l'Environnement
- **CGDD** Commissariat général du développement durable
- **CILB** Club des infrastructures linéaires et biodiversité
- **CITES** Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction
- **CNRS** Centre national de la recherche scientifique
- **DEFRA** *Department for Environment Food & Rural Affairs* (Département de l'environnement, de l'alimentation et des affaires rurales)
- **EFESE** Évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques
- **ERC** éviter, réduire, compenser
- **FAO** Food and Agriculture Organisation (Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture)
- **HEA** *Habitat Equivalency Analysis*
- **HEP** *Habitat Evaluation Procedure* (Procédure d'évaluation de l'habitat)
- **INRAE** Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
- **Iota** Installations, ouvrages, travaux et aménagements (soumis à la loi sur l'eau)
- **IPBES** Plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques
- **Irstea** Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture
- **LEA** *Landscape Equivalency Analysis*
- **LESSEM** Laboratoire écosystèmes et sociétés en montagne
- **LGV BPL** Ligne à grande vitesse Bretagne - Pays de la Loire
- **MC** Mesure de compensation ou mesure compensatoire
- **MERCicor** Méthode pour éviter, réduire et compenser les impacts en zones coralliennes
- **MERCle** Méthode d'évaluation rapide de la compensation des impacts écologiques
- **MNHN** Muséum national d'histoire naturelle
- **OFB** Office français de la biodiversité
- **Onema** Office national de l'eau et des milieux aquatiques (intégré dans l'Agence française pour la biodiversité en 2017)
- **PGRI** Plan de gestion des risques d'inondation
- **RBNP** (Loi pour la) reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages
- **REA** *Resource Equivalency Analysis*
- **Sage** Schéma d'aménagement et de gestion des eaux
- **Sdage** Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux
- **SNC** Site naturel de compensation
- **UMAM** *Uniform Mitigation Assessment Method*
- **UMR** Unité mixte de recherche



Bibliographie

■ Méthodes consultées

- Bezombes L., 2018. Développement d'un cadre méthodologique pour l'évaluation de l'équivalence écologique : Application dans le contexte de la séquence « Éviter, Réduire, Compenser » en France. Thèse, Université Grenoble Alpes, 250 p.
- Biotope, 2017. Mise à 2x2 voies de la RN141 – Section Exideuil – Roumazières Dossier de demande de dérogation au titre de l'article L 411-2 du Code de l'environnement, 310-316.
- Biotope, 2017. Projet aéroportuaire de Notre-Dame-des-Landes - Dossier de demande de dérogation au titre de l'article L 411-2 du Code de l'environnement.
CDC Biodiversité & Direction de l'Environnement Province Sud de Nouvelle-Calédonie, 2018. Présentation PowerPoint du 21/06/2018 - Définir et mettre en œuvre une politique « Eviter-Réduire-Compenser ».
- Comité de bassin Adour-Garonne, 2015. Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux du bassin Adour-Garonne 2016-2021, 296 p.
- Comité de bassin Artois-Picardie, 2015. Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux du bassin Artois-Picardie 2016-2021, 190 p.
- Comité de bassin Corse, 2015. Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux 2016-2021 Bassin de Corse, 190 p.
- Comité de bassin Loire-Bretagne, 2015. Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux 2016-2021 Bassin Loire-Bretagne 2016-2021, 360 p.
- Comité de bassin Rhin-Meuse, 2015. Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux du bassin Rhin-Meuse 2016-2021, 825 p.
- Comité de bassin Rhône – Méditerranée, 2015. Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux Rhône – Méditerranée 2016-2021, 512 p.
- Comité de bassin Seine-Normandie, 2015. Le Sdage 2016-2021 du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands, 458 p.
- Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (Medde), 2013. Fiche numéro 15 - Définir une mesure compensatoire en fonction des impacts résiduels significatifs *In* « Lignes directrices nationales sur la séquence éviter, réduire et compenser les impacts sur les milieux naturels ». Commissariat général au développement durable (CGDD) et Direction de l'eau et de la biodiversité (DEB), 230 p.
- Department for Environment Food & Rural Affairs (DEFRA), 2012. Biodiversity Offsetting Pilots - Guidance for offset providers, 27 p.
- Department for Environment Food & Rural Affairs (DEFRA), 2013. Biodiversity offsetting in England - Green paper, 37 p.
- Direction de l'environnement de la Province Sud de Nouvelle-Calédonie (2018). Outil de Calcul des Mesures Compensatoires (OCMC).
- Division of Ecological Services US, Fish and Wildlife Service Department of the Interior Washington D.C., 1980. Habitat Evaluation Procedure (HEP) ESM, 102 p.
- Dumax N., 2009. Les mesures compensatoires: un indicateur du coût environnemental. Thèse de Doctorat en Sciences Économiques. Université de Strasbourg- ENGEES/GSP, 297 p.

- Eco-Med - Écologie et Médiation, 2015. Méthode de dimensionnement des mesures Compensatoires [Présentation PowerPoint du 26/02/2015 consultée le 16/08/18] (http://www.occitanie.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/20150227-_4_-_GT-ERC_Reunion_SRCE_MC_PresentationEco-Med_cle12cbab.pdf).
- Écosphère, 2018. Aequitas – La démarche ERC d'Écosphère, 9 p.
- Egis Structures & Environnement, 2016. Artère du Val de Saône, canalisation de transport de Gaz, Dossier de demande de dérogation exceptionnelle de destruction et/ou de déplacement d'espèces végétales et animales protégées au titre des articles L.411-1 et L.411- 2 du code de l'environnement, p. 422 à 435.
- ETEN Environnement, 2016. Projet de création de la retenue de Gerac Domaine skiable de Guzet Neige – Dossier de demande de dérogation pour destruction de spécimens et d'habitats d'espèces protégées, p. 91 à 93.
- FAO, 2019. The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture, J. Bélanger & D. Pilling (eds.).
- FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments. Rome. (<http://www.fao.org/3/CA3129EN/CA3129EN.pdf>) Licence : CC BY-NC-SA 3.0 IGO, 572 p.
- Florida Department of Environmental Protection, 2004. The Uniform Mitigation Assessment Method (UMAM), Chapter 62-345.
- Mechin A. et Pioch S., 2016. Une méthode expérimentale pour évaluer rapidement la compensation en zone humide, La méthode MERCIle : principes et applications, Onema.
- Natural England, 2010. Higher Level Stewardship - Farm Environment Plan (FEP) Manual.
- Naturalia Environnement, 2018. RD 1215 Déviation de Saint-Aubin du Médoc – Le Taillan Médoc, Département de la Gironde, Dossier de demande de dérogation à l'interdiction de destruction d'espèces animales et végétales protégées au titre de l'article L.411-1 et 2 du Code de l'Environnement pour le compte du Département de la Gironde, p. 74 à 81.
- Dervenn & Setec & Ouest Aménagement Scop Sa., 2013. Dossier de demande d'autorisation relatif à l'aménagement foncier lié à la Ligne à Grande Vitesse Bretagne-Pays de la Loire au titre de l'article L. 214-1 et suivants du code de l'environnement.
- Pinault M., Pioch S., & Pascal N., 2017. Guide pour la mise en œuvre des mesures compensatoires et la méthode de dimensionnement MERCI-COR, Documentation Ifreco.
- Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES), 2019. Rapport d'évaluation mondiale sur la biodiversité et les services écosystémiques.

■ Publications, guides, rapports

- Alligand G., Hubert S., Legendre T., Millard F. et Müller A., 2018. Évaluation environnementale. Guide d'aide à la définition des mesures ERC. Collection THEMA Balises. CGDD, Cerema, 133 p.
- Anras L. et le Moing Y., 2013. Les compensations en zones humides. Procédures, principes et méthodes d'analyse. Forum des marais atlantiques et Agences de l'eau Seine Normandie et Loire-Bretagne, 65 p.
- Arnott D.A., 2001. Water Vole Mitigation Techniques. A Questionnaire Research Project. English Nature Research Reports n°415. British waterways. Environment agency. Ed. English Nature. 66 p.
- Bassi C., 2016. Mesures compensatoires des impacts sur les milieux naturels. Application aux projets d'infrastructures de transport. Ed. Cerema, Note d'information Environnement – Santé – Risque n°5. Collection « connaissances », 21 p.
- Bezombes L., Barillier A., Gouraud V., Spiegelberger T., 2019 in prep. Améliorer les estimations de gains de biodiversité apportés par les mesures compensatoires : un retour d'expérience des actions de restauration menées sur l'île de Kembs. *Naturae*
- Bezombes L., Kerbiriou C., Spiegelberger T., Gouraud V. et Gaucherand S., 2018. Un cadre méthodologique pour évaluer l'équivalence entre pertes et gains de biodiversité induits par les projets d'aménagement et leurs mesures compensatoires. *Sciences, Eaux et Territoires*, 9.
- 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* 325, 1121–1124.
- Bougeard S., Dray S., 2018. Supervised Multiblock Analysis in R with the ade4 Package. *Journal of Statistical Software*, *86*(1), 1-17. doi: 10.18637/jss.v086.i01 (<http://doi.org/10.18637/jss.v086.i01>).

- Bull J.W., Milner-Gulland E.J., Suttle K.B. & Singh N.J., 2014. Comparing biodiversity offset calculation methods with a case study in Uzbekistan. *Biological Conservation*, 178, 2-10.
- Burrows L., 2014. Somerset Habitat Evaluation Procedure Methodology. Strategic Commissioning : economy and planning. Somerset County Council, County Hall, Taunton (England). 53 p.
- Chessel D., Dufour A., Thioulouse J., 2004. The ade4 Package - I: One-Table Methods. *_R News_*, *4*(1), 5-10. (<https://cran.r-project.org/doc/Rnews/>).
- Calvet C., Le Coent P., Napoleone C., Quétier F., 2019. Challenges of achieving biodiversity offset outcomes through agrienvironmental schemes: evidence from an empirical study in southern France. *Ecological Economics* n°163, 117–130.
- de Billy V., Moulin N., Fromager F., Dubois E., Boyer P., Bechtel L., 2015. Pour une conception et une réalisation des IOTA de « moindre impact environnemental ». Modalités d'expertise, préconisations techniques et retours d'expériences. Tome 5 : Expertise des mesures de compensation écologique. Onema, Collection Guides et Protocoles, Guide technique Police de l'eau, 76 p.
- de Billy V., Tournebize J., Barnaud G., Benoit M., Birgand F., Garnier J., Lesaffre B., Lévêque C., de Marsily G., Muller S., Musy A., Zimmer D., 2015. Compenser la destruction de zones humides. Retours d'expérience sur les méthodes et réflexions inspirées par le projet d'aéroport de Notre-Dame-des-Landes (France). *Natures, sciences et sociétés*, 23, 27-41.
- Dreal Paca et Dreal Occitanie, 2018. Guide cadre Eval_Impact. Impacts des projets d'activités et d'aménagements en milieu marin méditerranéen. Recommandations des services instructeurs. Fascicule 3 - Mise en œuvre de la séquence éviter, réduire et compenser : focus sur l'application de mesures compensatoires en mer. Ed. CO2 communication. 39 p.
- Doyle M.W. and Douglas Shields F., 2012. Compensatory mitigation for streams under the clean water act : reassessing science and redirecting policy. *Journal of the American water resources association*. 1-16. DOI: 10.1111/j.1752-1688.2011.00631.x.
- Dray S., Dufour A., 2007. The ade4 Package: Implementing the Duality Diagram for Ecologists. *Journal of Statistical Software_*, *22*(4), 1-20. doi: 10.18637/jss.v022.i04 (<http://doi.org/10.18637/jss.v022.i04>).
- Dray S., Dufour A., Chessel D., 2007. The ade4 Package - II: Two-Table and K-Table Methods. *R News*, *7*(2), 47-52. (<https://cran.r-project.org/doc/Rnews/>).
- Dutoit T., Chenot J., Buisson E., Jaunatre R., 2018. Restaurer ou laisser faire la nature ? *Le Courrier de la Nature*, Société nationale de protection de la nature (France), 2017, 9 p.
- Évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques (Efese), 2016. Le service de pollinisation. Contributeurs : Beyou W., Darses, O., Puydarrieux P., Tallandier Lespinasse, S. et Hubert S. MTES, Ed. La Documentation Française. Collection THEMA Balises. CGDD, Cerema, 46 p.
- Efese, 2018a. Les milieux humides et aquatiques continentaux. Contributeurs : Devaux J. et Hélier A. MTES, Ed. La Documentation française. Collection THEMA Balises. CGDD, 248 p.
- Efese, 2018b. Le service de régulation de l'érosion côtière en Aquitaine. Contributeurs : Delangue J. et Teillac-Deschamps P. MTES, Ed. La Documentation française. Collection THEMA Balises. UICN, 64 p.
- Efese, 2019. La séquestration du carbone par les écosystèmes français. Auteurs : Kervinio Y. et Rais Assa C. MTES, Ed. La Documentation française. Collection THEMA Analyse. CGDD, 102 p.
- Fennessy M.S., Jacobs A.D. & Kentula M.E., 2007. An evaluation of rapid methods for assessing the ecological condition of wetlands. *Wetlands*, 27, 543-560.
- Food and Agriculture organization of the united states (FAO), 2019. The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture, Ed. J. Bélanger & D. Pilling. FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments. Rome. 572 p. (<http://www.fao.org/3/CA3129EN/CA3129EN.pdf>).
- Gayet, G., Baptist, F., Baraille, L., Caessteker, P., Clément, J.-C., Gaillard J., Gaucherand, S., Isselin-Nondedeu, F., Poinot C., Quétier, F., Touroult, J., Barnaud, G., 2016. Guide de la méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides - version 1.0. Onema, Collection Guides et Protocoles, 186 p.
- Hubert S., Ribeyre R., Billon V. et de Billy V., 2019. Compensation écologique des cours d'eau. Exemples de méthodes de dimensionnement. MTES, Collection THEMA Balises. CGDD, Cerema et AFB, 187 p.

- Intergovernmental Science Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), 2019. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services. Auteurs : Sandra Díaz, Josef Settele, Eduardo Brondízio, Hien T. Ngo, Maximilien Guèze; John Agard, Almut Arneth, Patricia Balvanera, Kate Brauman, Stuart Butchart, Kai Chan, Lucas Garibaldi, Kazuhito Ichii, Jianguo Liu, Suneetha Mazhenchery Subramanian, Guy Midgley, Patricia Miloslavich, Zsolt Molnár, David Obura, Alexander Pfaff, Stephen Polasky, Andy Purvis, Jona Razzaque, Belinda Reyers, Rinku Roy Chowdhury, Yunne Jai Shin, Ingrid Visseren Hamakers, Katherine Willis, Cynthia Zayas. Secretariat of the IPBES, Bonn, Germany, 2019. (https://www.ipbes.net/sites/default/files/downloads/spm_unedited_advance_for_posting_htn.pdf).
- Jacob C., 2017. Approche géographique de la compensation écologique en milieu marin : analyse de l'émergence d'un système de gouvernance environnementale. Thèse de Doctorat. École doctorale territoires, temps, société et développements. Spécialité Géographie et aménagement de l'espace. CNRS, UMR Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive et Bureau d'études Creocœan, 239 p.
- Lemaître V., Rogier P., 2017. La modernisation du droit de l'environnement, Collection THEMA Essentiel. CGDD, 4 p.
- Levrel H., Frascaria-Lacoste N., Hay J., Martin G. et Pioch S., 2015. Restaurer la nature pour atténuer les impacts du développement. Analyse des mesures compensatoires pour la biodiversité. Ed. Quae. 320 p.
- Levrel H., Scemana P. and Vaissière A.C., 2017. Should we be wary of mitigation banking? Evidence regarding the risks associated with this wetland offset arrangement in Florida, *Ecological Economics* n°135, 136-149.
- Lombard Latune J. 2018, La compensation écologique : du principe de non perte nette de biodiversité à son opérationnalisation - analyse de l'action collective. Thèse de doctorat. École doctorale n°581 agriculture, alimentation, biologie, environnement et santé. Université Paris-Saclay, 247 p.
- Medde, 2012a. Stratégie nationale pour la biodiversité 2011-2020. Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature. 58 p.
- Medde, 2012b. Recommandations pour la prise en compte des enjeux liés aux espèces protégées et pour la conduite d'éventuelles procédures de dérogation au sens des articles L. 411-1 et L. 411-2 du code de l'environnement dans le cadre des projets d'aménagements et d'infrastructures. Guide « Espèces protégées, aménagements et infrastructures ». Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature. 59 p. (<http://www.side.developpement-durable.gouv.fr/EXPLOITATION/DEFAULT/doc/IFD/IFD>).
- Medde, 2013. Lignes directrices nationales sur la séquence éviter, réduire et compenser les impacts sur les milieux naturels. Commissariat général au développement durable (CGDD) et Direction de l'Eau et de la Biodiversité (DEB), 230 p.
- Medde, 2014. Stratégie nationale de transition écologique vers un développement durable 2015-2020. Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature. 135 p.
- Meral P. et Pesch, D., 2016. Les services écosystémiques. Repenser les relations nature et société. Ed. Quae. Nature et Société. 300 p.
- Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer (MEEE), 2017. L'autorisation environnementale : des démarches simplifiées, des projets sécurisés, DICOM-SPES/PLA/16269, 4 p.
- Ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES), 2018. Plan Biodiversité. Le choix de l'avenir. 27 p.
- MTES et AFB, 2018. Lettre de mission et mandat à destination des membres du groupe de travail « Élaboration d'une méthode générique et harmonisée pour dimensionner la compensation *ex ante* des atteintes à la biodiversité ». MTES (CGDD) et AFB (Direction de la Police), 12 p.
- Palmer M.A. and Hondula K.L. 2014, Restoration as mitigation : analysis of stream mitigation for coal mining impacts in Southern Appalachia. *American Chemical Society. Environmental Science Technology*, 48, 10552–10560.
- Pearson, M.P., Quigley, J.T., Harper, D.J., and Galbraith, R.V., 2005. Monitoring and assessment of fish habitat compensation and stewardship projects: Study design, methodology and example case studies. *Canadian Manuscript. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2729: xv + 124 p.
- Prevors L., Perret M., 2014. Guide sur l'application de la réglementation relative aux espèces protégées pour les parcs éoliens terrestres. Medde, 32 p.

- Quaempts, E., 2003. Habitat Evaluation Procedures (HEP) Report. Iskuulpa Wildlife Mitigation and Watershed Project, 1998-2003 Technical Report, Project N°199506001, 95 p.
- Quétier, F., 2015. La compensation écologique fonctionnelle : innover pour mieux traiter les impacts résiduels des projets d'aménagements sur la biodiversité. *Sciences Eaux & Territoires* n° 17. 24-29.
- R Core Team, 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (<https://www.R-project.org/>).
- Sénat, 2017. Réalité des mesures de compensation des atteintes à la biodiversité engagées sur des grands projets d'infrastructures, intégrant les mesures d'anticipation, les études préalables, les conditions de réalisation et leur suivi. Rapport de la commission d'enquête présidée par M. Longeot. Rapporteur : M. Dantec. 226 p.
- Scemama P., Kermagoret C., Levrel H. et Vaissière A.C., 2018. La fabrique de la compensation écologique : controverses et pratiques – L'économie néo-institutionnelle comme cadre de recherche pour questionner l'efficacité de la compensation écologique. *Natures Sciences Sociétés*. 19 p. (www.nss-journal.org).
- Wallis C., Blancher P., Seon-Massin N., Martini F., Schouppe M., 2013. Mise en œuvre de la directive cadre sur l'eau. Quand les services écosystémiques entrent en jeu. Asconit, Onema, Commission européenne. Collection Onema Les rencontres – synthèses. Deuxième séminaire « *Quand les sciences de l'eau rencontrent les politiques publiques* », Bruxelles, 29 et 30 septembre. 208 p.



Auteurs, contributeurs et remerciements

Auteurs

Hélène Truchon est chargée de mission « Suivi et capitalisation des mesures de compensation » au service Prévention, appui et prospective de la direction de la Police et du permis de chasser de l'Office français de la biodiversité (OFB)

Véronique de Billy, auparavant cheffe de projet « Appui technique, éviter, réduire, compenser » dans le département Appui technique de la direction Police de l'Agence française pour la biodiversité, est maintenant coordinatrice thématique « Énergies renouvelables » dans la direction de l'Appui aux stratégies pour la biodiversité de l'Office français pour la biodiversité (OFB), veronique.debilly@ofb.gouv.fr

Lucie Bezombes, auparavant chargée de recherche compensation écologique à l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement, est maintenant experte indépendante en gestion de la biodiversité, lucie.bezombes@gmail.com

Brian Padilla est chef de projet Recherche & Développement de la séquence « éviter - réduire - compenser » à l'Unité mixte de recherche Patrimoine naturel (UMS Patrinat), brian.padilla@mnhn.fr

Contributeurs

Françoise Sarrazin est cheffe de projet « Expertise technique et évaluation des atteintes à la biodiversité » au service Prévention, appui et prospective de la direction de la Police et du permis de chasser de l'Office français de la biodiversité (OFB), francoise.sarrazin@ofb.gouv.fr

Pierre Boyer est chargé de mission juridique du Pôle juridique, administratif et financier de l'Office français de la biodiversité (OFB), pierre.boyer@ofb.gouv.fr

Remerciements

Les auteurs remercient chaleureusement de leurs contributions, **Agnès Mechin**, Doctorante (Cefe/CNRS & Eco-Med) ; **Nadia Moulin**, cheffe de projet « Prévention, outils et référentiels techniques » (OFB) ; **Nicolas Hette-Tronquart**, chargé de mission recherche sur le fonctionnement des écosystèmes continentaux (OFB) ; **Sophie Huon**, cheffe du service Prévention, appui et prospective (OFB) ; **Cédric Mondy**, chargé de mission analyses de données pour l'évaluation environnementale (OFB) ; **Agnès Baccelli**, chargée d'affaires environnement (RTE France) et référente du Ciib ; **Marc Chatelain**, chef de projet « espèces protégées » (Dreal Aura) ; **Laureline Ledoux**, responsable police de l'eau (DDT Ardennes) ; **Stéphane Morel**, chargé de mission « zones humides – biodiversité » (DDT de la Savoie) ; **Michel Perret**, chargé de mission auprès du sous-directeur de la protection et de la restauration des écosystèmes terrestres (DEB) ; **Stéphane Pradon**, directeur environnement (EGIS) et référent Syntec Ingénierie, et **Fabien Quétier**, directeur d'études (Biotope) et référent Syntec Ingénierie.

Édition

Véronique Barre et Béatrice Gentil-Salasc (Office français de la biodiversité)

Création et mise en page

Béatrice Saurel (saurelb@free.fr)

Citation

Truchon H., de Billy V., Bezombes L., Padilla B., 2020. Dimensionnement de la compensation *ex ante* des atteintes à la biodiversité - État de l'art des approches, méthodes disponibles et pratiques en vigueur. Office français de la biodiversité. Collection *Comprendre pour agir*. 64 pages



Cet ouvrage fait partie de la collection **Comprendre pour agir** consultable sur le site internet de l'Office français de la biodiversité (<https://professionnels.ofb.fr/fr/comprendre-pour-agir>).

Ci-dessous, les derniers numéros parus

- 24 - Combien coûte la dégradation des milieux aquatiques pour les usagers de l'eau ? L'évaluation des dépenses compensatoires (janvier 2017)
- 25 - Les zones de rejet végétalisées : repères scientifiques et recommandations pour la mise en oeuvre (février 2017)
- 26 - Du dommage écologique au préjudice écologique. Comment la société prend-elle en compte et répare-t-elle les atteintes causées à l'eau et aux milieux aquatiques ? (avril 2017)
- 27 - Restauration de cours d'eau en France : comment les définitions et les pratiques ont-elles évolué dans le temps et dans l'espace, quelles pistes d'action pour le futur (juillet 2017)
- 28 - Impact cumulé des retenues d'eau sur le milieu aquatique. Expertise scientifique collective (novembre 2017)
- 29 - Les espèces exotiques envahissantes dans les milieux aquatiques : connaissances pratiques et expériences de gestion - Vol. 3 Expériences de gestion (bis) (mai 2018)
- 30 - La prévision à moyen et long terme de la demande en eau potable : bilan des méthodes et pratiques actuelles (janvier 2019)
- 31 - Les bénéfices liés à la préservation des eaux souterraines : pourquoi et comment leur donner une valeur monétaire ? (novembre 2018)
- 32 - Lutter contre les micropolluants dans les milieux aquatiques : quels enseignements des études en sciences humaines et sociales ? (septembre 2018)
- 33 - Agro-écologie et Trame verte et bleue : des synergies à valoriser (avril 2019)
- 34 - Évaluer le franchissement des obstacles par les poissons et macrocrustacés dans les départements insulaires ultramarins - Principes et méthode (décembre 2019)
- 35 - Bresle - Oir - Scorff - Nivelle. Trois décennies d'observations et de recherche sur les poissons migrateurs (juin 2020)
- 36 - Dimensionnement de la compensation ex ante des atteintes à la biodiversité - État de l'art des approches, méthodes disponibles et pratiques en vigueur (juin 2020)



Dépôt légal à parution

ISBN web : 978-2-38170-052-6

ISBN print : 978-2-38170-053-3

Gratuit

Achévé d'imprimer en France par Cloître en juin 2020

Imprimé sur du papier issu de sources responsables

Face à l'érosion alarmante de la biodiversité, la séquence éviter, réduire, compenser (ERC) constitue la déclinaison technique des engagements pris par la France en matière de préservation de l'environnement. Elle a été renforcée par la loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages (RBNP) de 2016 visant « l'absence de perte nette voire un gain de biodiversité ».

Comment veiller à l'objectif d'absence de perte nette de biodiversité ? Qu'est-ce que la compensation des atteintes à la biodiversité ? Comment dimensionner ces mesures ? Quelles sont les différentes approches actuellement disponibles et les méthodes utilisées lors de la conception des projets d'aménagement du territoire ? Quels sont les points de vigilance à retenir ?

Cet ouvrage de la collection *Comprendre pour agir* présente un état de l'art des différentes approches disponibles de dimensionnement de la compensation, analyse les méthodes qui en découlent, dresse un bilan des pratiques en vigueur et propose des pistes de réflexion en matière de dimensionnement à venir des mesures de compensation.

Il s'adresse en priorité aux agents de l'Office français de la biodiversité en charge de l'appui technique à l'instruction des projets d'aménagement du territoire et aux services instructeurs de l'État (directions départementales des territoires et directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement), mais aussi aux maîtres d'ouvrage porteurs de projets d'aménagement en France, et aux bureaux d'étude amenés à réaliser un dossier d'évaluation environnementale (procédures d'autorisation environnementale, procédure de dérogation espèces protégées, loi sur l'eau, installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE) ou d'évaluation des incidences Natura 2000).



Hélène TRUCHON est chargée de mission « Suivi et capitalisation des mesures de compensation » dans le service Prévention, appui et prospective de la direction Police et permis de chasser de l'Office français de la biodiversité (OFB).

Véronique de BILLY, auparavant cheffe de projet « Appui technique, éviter, réduire, compenser » dans le département Appui technique de la direction Police de l'Agence française pour la biodiversité (AFB), est maintenant coordinatrice thématique « Énergies renouvelables » dans la direction de l'Appui aux stratégies pour la biodiversité de l'Office français de la biodiversité (OFB).

Lucie BEZOMBES, auparavant chargée de recherche compensation écologique à l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE), est maintenant experte indépendante en gestion de la biodiversité.

Brian PADILLA est chef de projet Recherche & Développement de la séquence éviter, réduire, compenser à l'Unité mixte de recherche Patrimoine naturel (UMS Patrinat).