

Projet de Fin d'Etudes (PFE) 2020-2021

L'équivalence écologique : État de l'art des méthodes d'évaluation



Tuteur pédagogique : Francis Isselin
Tuteur professionnel : Vivien Sottejeau

Julien Maziere

L'équivalence écologique : État de l'art des méthodes d'évaluation

Tuteur pédagogique : Francis Isselin
Tuteur professionnel : Vivien Sottejeau

Julien Maziere

2020-2021

AVERTISSEMENT

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Etudes en génie de l'aménagement et de l'environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

En tout premier lieu, je tiens à remercier l'ensemble des encadrants, et tout particulièrement Francis Isselin et Vivien Sottejeau, pour l'intérêt porté à mon document. De plus, je remercie infiniment mes collègues du bureau d'études INGEROP C&I, Paul Cassagnes, Mathieu Jauneau, Mathieu Trouvé, Florian Mirolo, Florian Laurence, Franck Sacco, pour leurs écoutes et leurs conseils. Enfin, je remercie tout particulièrement ma famille qui m'aura relu et aidé dans la hiérarchisation de ce travail de projet de fin d'études.

SOMMAIRE

Introduction	1
Matériel et méthode	4
Résultats	5
Différentes approches utilisées par les méthodes de calcul de l'équivalence écologique.....	6
Caractéristiques importantes des méthodes d'évaluation de l'équivalence écologique.....	7
Une différence avec nos voisins allemand	7
Structure des méthodes.....	8
Discussion	10
Références	14

Table des figures et tableaux

<i>Figure 1 : Application du calcul de l'équivalence écologique (Quétier & Lavorel, 2011)</i>	<i>3</i>
<i>Tableau 1 : Méthodes de dimensionnement sélectionnées pour l'étude</i>	<i>5</i>
<i>Tableau 2 : Comparaison des approches (modifié de Truchon et al., 2020)</i>	<i>6</i>
<i>Tableau 3 : Synthèse des méthodes analysées.....</i>	<i>9</i>

Introduction

De par ses activités, et notamment depuis la révolution industrielle et agricole, l'espèce humaine a et continue à modifier les écosystèmes naturels à des rythmes de plus en plus rapides et étendus que dans toute autre période de l'histoire (Hale & Swearer, 2017). Cette altération apporte de nombreuses menaces sur la biodiversité comme la pollution, la surexploitation, l'introduction d'espèces envahissantes ou encore le changement climatique (Butchart et al., 2010). Découlant de toutes ces modifications, la perte d'habitat est la première cause de perte de biodiversité, en particulier par l'accélération de l'urbanisation et du développement des infrastructures (cf. Quétier & Lavorel, 2011). À l'échelle mondiale, chez les mammifères, les oiseaux et les amphibiens, seulement 7% des changements récents de catégorie liste rouge sont allés dans le sens d'une réduction du risque d'extinction (Regnery, 2017). Comme le rappelle le rapport Planète vivante, entre 1970 et 2016 les populations de vertébrés sauvages ont décliné de 68% (Almond et al., 2020).

Face à ce constat, les décideurs et les aménageurs ont dû prendre conscience de la nécessité grandissante et indéniable d'augmenter les mesures afin de lutter contre l'érosion de la biodiversité et plus spécifiquement dans notre cas, d'intégrer pleinement la biodiversité dans la conception des projets d'aménagements. C'est en partant de cette situation que différentes mesures et actions ont été mises en place aussi bien nationalement qu'à plus grande échelle. Ainsi, les premières mesures interviennent en 1969 aux Etats-Unis, avec la « National Environmental Policy Act » dans le but de limiter les impacts sur le milieu naturel dans la construction de grands projets d'aménagement. Au niveau mondial, c'est en 1971, avec la convention Ramsar ayant pour objectif principal de compenser toute perte de ressource en zones humides, que la biodiversité est pour la première fois prise en compte dans les projets. Sur le territoire français, il faut attendre la loi du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature, véritable pilier de la protection de l'Environnement en France, pour introduire la prise en compte de l'Environnement dans les projets d'aménagement. C'est notamment cette loi qui introduit la séquence "Eviter-Réduire-Compenser" ou séquence ERC, instrument réglementaire permettant l'atténuation des impacts de l'aménagement humain sur l'Environnement. Néanmoins, cette loi n'est pas suffisante face aux menaces environnementales qu'impliquent certains projets. C'est avec les Grenelles de 2009 et 2010 et les doctrines nationales de 2011 et 2012 qu'intervient une cohérence entre les procédures et la conception de projets d'aménagement de moindre impact et qu'est donc renforcée la séquence ERC (Bigard et al., 2018). Enfin, en 2016, grâce à la loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages, on parle maintenant de l'absence de perte nette de biodiversité à l'instar des politiques américaines de « No Net Loss » dans les années 1980. Ainsi, grâce au renforcement des différents textes de loi relatifs à la biodiversité cités ci-dessus, la séquence ERC possède aujourd'hui un socle législatif solide, tant au niveau national qu'européen (Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer, 2017). Cette dernière a pour principal objectif d'éviter les atteintes à l'Environnement, de réduire celles qui n'ont

pas pu être suffisamment évitées et de compenser les effets qui n'ont pu être évités ou réduits.

Pour essayer de préserver au mieux le milieu naturel, la séquence ERC prévoit dans un premier temps d'éviter ces impacts par des solutions techniques ou géographiques. Les mesures d'évitement permettent donc d'éviter les dommages dès la conception du projet. Dès lors que les mesures d'évitement n'ont pas pu être mises en place, que ce soit pour des raisons techniques ou économiques, il convient de réduire au mieux la dégradation restante par des solutions techniques spécifiques à l'ouvrage en lui-même ou lors de la phase chantier. En dernier recours, si les mesures d'évitement ou de réduction ne sont pas possibles, des mesures compensatoires doivent être engagées pour apporter une contrepartie positive au projet. Celles-ci ont pour objectif l'absence de perte nette voire un gain écologique et visent à compenser les impacts résiduels notables sur la biodiversité liées à la mise en place d'un projet d'aménagement (Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer, 2017). En d'autres mots, l'impact positif de la mesure compensatoire sur la biodiversité doit être au moins équivalent à la perte causée par le projet. On doit donc y retrouver une absence de perte nette (« No Net Loss »), notamment en termes de composition spécifique, de structure d'habitat, de fonctions écosystémiques, ou encore de valeurs culturelles, tout en permettant le développement et la croissance économique (Apostolopoulou & Adams, 2017; BBOP (Business and Biodiversity Offsets Programme), 2012; Regnery, 2017).

Les mesures compensatoires, cherches donc à annuler toutes pertes de biodiversité, et si possible, à obtenir un gain sur celles-ci. Elles cherchent donc, dans d'autres termes, une équivalence écologique (*Figure 1*). Celle-ci, reste un concept flou et variable (Quétier et al., 2012), néanmoins, elle peut être définie comme un « ensemble de critères, de méthodes et de processus participatifs visant à évaluer et comparer les pertes écologiques liées à l'impact résiduel significatif d'un projet et les gains écologique lié à la mesure compensatoire, de manière à cibler et dimensionner cette dernière » (BBOP (Business and Biodiversity Offsets Programme), 2012). À noter que cette équivalence peut être évaluée entre les mêmes types de biodiversité, ou des types différents. En France, la pratique de la compensation se fonde le plus souvent sur une équivalence de type espèces-espèces où habitats-habitats (Regnery, 2017).

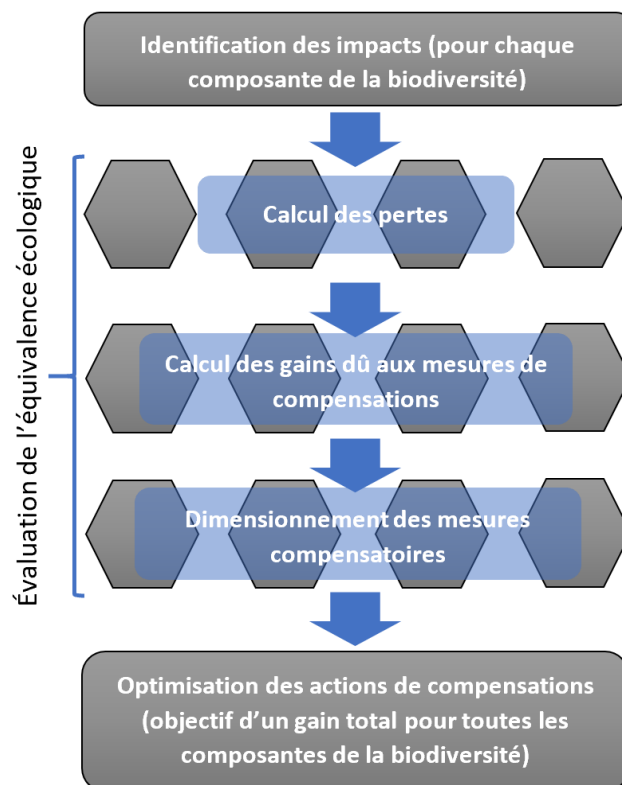


Figure 1 : Application du calcul de l'équivalence écologique (transformé de Quétier & Lavorel, 2011)

Depuis la loi sur la biodiversité de 2016, les aménageurs ont l'obligation d'évaluer l'équivalence entre les pertes écologiques dues à la réalisation du projet d'aménagement et les gains écologiques apportés dans le cadre de la création des mesures compensatoire, dernier maillon de la séquence ERC. Calculer cette équivalence permet ensuite de concevoir et dimensionner les mesures compensatoires que l'on va intégrer dans les projets.

Au vu d'une irrégularité dans les méthodes utilisées par les principaux acteurs mettant en place les mesures compensatoires, et dans une philosophie nationale d'harmonisation de certaines étapes du calcul, en recommandant notamment l'utilisation de catégories d'indicateurs pour décrire les milieux naturels, évaluer les enjeux écologiques, et les pertes et les gains de biodiversité (Truchon et al., 2020), l'objectif de ce rapport est de réaliser une synthèse et une approche comparative des méthodes existantes afin de trouver cadre méthodologique permettant d'évaluer cette équivalence. Il découle de cette problématique plusieurs questions :

- Les méthodes de calculs de l'équivalence écologique suivent toutes la même démarche d'application ?
- Les structures et paramètres sont similaires entre les différentes méthodes de calculs de l'équivalence écologique ?
- Quels types d'indicateurs semblent le mieux adaptés à la mise en place d'une méthode adaptable pour tous types de milieux ?
- Quels paramètres sont importants à prendre en compte pour l'élaboration d'une méthode ?

Pour cela, la première partie de ce travail sera composée d'un état de l'art des méthodes de calcul existantes. Celui-ci sera composé d'un travail d'analyse des différentes approches et caractéristiques des méthodes du dimensionnement. De plus, au vu de son avancée dans le domaine, et du fait de son biotope assez proche du notre, je proposerai un comparatif avec les travaux réalisés en Allemagne. Puis enfin, dans la même partie, une synthèse de la structure des méthodes de calcul de l'équivalence écologique sera présentée. Dans un second temps, à la vue des informations obtenues lors de la précédente partie, une discussion sur les différents critères pouvant être applicable aux méthodes d'inventaires du bureau d'études INGEROP C&I sera réalisée. Ces critères doivent permettre de produire une méthode aisément compréhensible par les maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre, pragmatique et souple dans sa mise en place.

Matériel et méthode

Après avoir dans un premier temps cadré le sujet avec d'une part, mon tuteur pédagogique, et d'autre part mon tuteur professionnel, et dans l'optique d'une meilleure compréhension de celui-ci, il était important de définir les termes clefs, à savoir : « Équivalence écologique », « Mesure compensatoire », ainsi que « Dimensionnement écologique ».

Ensuite, après avoir défini les termes clefs du sujet, l'objectif était de rechercher des articles scientifiques traitants de la question de l'équivalence écologique, ainsi que des méthodes d'évaluation de celle-ci. Pour cela j'ai pu utiliser différents termes, qu'ils soient anglophones ou francophones. Pour ce qui est des termes anglophones, certains ont été utilisés pour des recherches en lien avec la compensation écologique, les plus utilisés ont été : « Biodiversity offsets », « Mitigation hierarchy », ainsi que « Ecological compensation ». D'autres, utiles pour la recherche d'articles scientifiques en lien avec l'équivalence écologique et le dimensionnement écologique, pour les plus utilisés : « Habitat equivalency analysis », « Ecological equivalence », « Environmental impact assessment », ou encore « Compensation ratio ». Ces termes m'ont permis de trouver quelques articles scientifiques intéressants, notamment d'auteurs américains et français. Pour les termes francophones utilisés, ceux d'« Équivalence écologique », « Mesure compensatoire », ainsi que « Dimensionnement écologique » ont été suffisants pour trouver une source importante de textes scientifiques traitants de ce sujet. Ceux-ci ont été rentrés dans différents moteurs de recherche, comme ScienceDirect, JSTOR, ISTE, le portail Univ-Tours, et principalement Google Scholar.

Dans un même temps, et après avoir bien cerné le sujet, j'ai contacté deux des trois auteurs du texte « Dimensionnement de la compensation *ex ante* des atteintes à la biodiversité - État de l'art des approches, méthodes disponibles et pratiques en vigueur », Véronique de Billy et Brian Padilla, afin d'obtenir de plus amples informations sur l'arrivée au premier trimestre 2021 d'une approche standardisée du dimensionnement de la compensation écologique.

Puis, dans un troisième temps, après avoir obtenu de nombreuses informations sur la thématique de l'équivalence écologique, j'ai cherché à sélectionner des méthodes de calcul de celle-ci afin de réaliser l'état de l'art. Il était pour cela important de connaître les différents types de méthodes existant, celles utilisées le plus régulièrement en France, mais aussi à l'étranger, ainsi que de rechercher la présence ou non d'état de l'art dans la littérature scientifique. Les méthodes françaises et/ou des pays avec des enjeux et une réglementation similaire ont été privilégiées. Les méthodes américaines, même si très nombreuses, possèdent des enjeux souvent bien différents des nôtres, ce qui rend leurs adaptabilités très complexes. À partir de ces recherches, j'ai décidé de prendre exclusivement en compte les méthodes de calcul spécifiques aux milieux terrestres, ainsi que plus globalement, celles mises en place pour tous les milieux ; celles étudiant notamment les milieux marins ont alors été écartées. De plus, j'ai fait le choix d'exclure les méthodes les plus anciennes afin de prendre en compte seulement les plus récentes qui, parfois par le fruit de comparaison d'autres méthodes, retirent certains critères non essentiels et pouvant être redondants. Les méthodes retenues suivant les critères précédemment cités, ainsi que quelques-uns de leurs paramètres sont cités dans le *Tableau 1* ci-dessous.

Tableau 1 : Méthodes de dimensionnement sélectionnées pour l'étude

Méthode	Type de milieu analysé	Type d'évaluation	Source
ECOVAL	Tous milieux (généraliste)	Qualitative	Bezombes, 2017
MERCle	Zones humides (spécialiste)*	Quantitative	Mechin & Pioch, 2016
Miroir	Tous milieux (généraliste)	Semi-quantitative	Quétier et al., 2015
Okokonto method	Tous milieux (généraliste)	Semi-quantitative	Darbi & Tausch, 2010

* : La méthode MERCle, principalement développée pour les milieux humides, peut être utilisée pour les milieux terrestres, à conditions d'enlever l'évaluation des indicateurs hydrologiques, et d'ajouter possiblement d'autres indicateurs.

Enfin, la dernière étape a été la recommandation pour la création d'une méthode de calcul de l'équivalence écologique. Pour cela, en plus de m'appuyer sur cet état de l'art, je me suis aidé de mes expériences personnelles et professionnelles, comme lors de mes différentes expériences, notamment celle de chargé d'études écologue au bureau d'études INGEROP C&I.

Résultats

Dans le monde, environ 150 méthodes ont été recensées pour évaluer les impacts et dimensionner une compensation (Mechin & Pioch, 2016a). Néanmoins, les mesures de compensation ne sont dimensionnées que dans 49% des cas (Truchon et al., 2020). Sur le territoire français de nombreuses méthodes existent, environ 25 avec 3 approches différentes.

Différentes approches utilisées par les méthodes de calcul de l'équivalence écologique

À ce jour, et avant l'arrivée d'une approche standardisée au premier trimestre 2021 (Abba, 2020; Truchon et al., 2020), trois approches différentes existent et sont plus ou moins utilisées par les aménageurs (Tableau 2 page 6). Il s'agit de la plus utilisée à la moins utilisée, de l'approche par :

- équivalence par pondération (51% des cas) ;
- ratio minimal (49% des cas) ;
- équivalence entre écarts d'états des milieux (0% des cas).

L'approche par ratio minimal est différente des deux autres puisqu'elle ne vérifie pas l'équivalence écologique. Néanmoins, sa rapidité d'utilisation lui permet d'être utilisée dans pratiquement une étude sur deux. On y retrouve des méthodes développées dans les Schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (Sdage), comme notamment celui de Corse ou de Seine-Normandie. Utilisée dans 51% des études analysées par Truchon et al., 2020, l'approche par équivalence par pondération est un compromis entre robustesse scientifique et utilisabilité. Conseillé pour une large gamme d'enjeux (faible à fort), cette approche est notamment utilisée dans la méthode Miroir développée par le bureau d'études Biotope. Enfin, l'approche la plus complète est celle par équivalence entre écarts d'états des milieux ; estimant perte et gains par un état des lieux, prenant en compte les trajectoires ainsi que les caractéristiques fonctionnelles. Néanmoins, la complexité encore présente actuellement, d'estimer les valeurs après impact et compensation, rend cette approche encore aujourd'hui difficilement exécutable par les aménageurs. Elle est néanmoins utilisée dans la méthode d'évaluation rapide de la compensation des impacts écologiques (MERCle), développé lors de la thèse d'Agnès Mechin.

Tableau 2 : Comparaison des approches (modifié de Truchon et al., 2020)

Nom	Pourcentage d'utilisation	Avantages	Inconvénients	Commentaires
Ratio minimal	49%	Rapide	Ne vérifie pas l'équivalence	Utilisé dans les projets Loi sur l'eau
Équivalence par pondération	51%	Robustesse scientifique Utilisabilité Estime perte et gains par un état des lieux	Ne prend pas en compte les trajectoires ainsi que les caractéristiques fonctionnelles	Conseillé pour projet avec enjeu allant de faible à fort
Équivalence entre écarts d'états des milieux	0%	Estime perte et gains par un état des lieux Prend en compte les trajectoires ainsi	Estimation des valeurs après impacts et compensation complexe	Conseillé pour projet avec enjeu fort à majeur

Nom	Pourcentage d'utilisation	Avantages	Inconvénients	Commentaires
		que les caractéristiques fonctionnelles	Lourd à mettre en œuvre	

Caractéristiques importantes des méthodes d'évaluation de l'équivalence écologique

Tout d'abord, afin de bien comprendre le fonctionnement des méthodes d'évaluations il est important de savoir différencier les méthodes dites généralistes, des méthodes dites spécialistes. Ces dernières s'intéressent à un seul type de milieu, comme la méthode nationale fonctions zones humides (MNFZH), développé par l'AFB et le MNHN, qui s'applique spécifiquement aux zones humides, ou encore la méthode Merci-cor, développé conjointement par le Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive (CEFE) et Marex, qui va elle se centrer sur les milieux marins. De l'autre côté, les méthodes dites généralistes s'appliquent donc à tout type de milieux, comme la méthode d'évaluation de l'équivalence écologiques (ECOVAL), créé lors d'une thèse de Lucie Bezombes.

Deuxièmement, les méthodes peuvent être qualitatives, quantitatives, ou semi-quantitatives. Les méthodes quantitatives font résulter un seul score d'état du milieu (scoring), comme la méthode Merci-cor ou MERCIe, alors que les méthodes qualitatives travaillent indicateur par indicateur, comme la méthode d'évaluation de l'équivalence écologiques (ECOVAL) ou la méthode nationale fonctions zones humides (MNFZH). Les méthodes dites de semi-quantitatives vont donc autant traiter des aspects qualitatifs (quelles espèces, quels habitats, quelles fonctions ?) que quantitatifs (combien est « perdu » ou « gagné » ?). On y retrouve la méthode allemande Ôkokonto, ainsi que la méthode Miroir de Biotope. Cette dernière propose de mettre en miroir les « pertes » et les « gains », évalués en termes de surface qualifiée, pour chacune des espèces impactées, et nommés « unités de compensation » (Quétier et al., 2015). Ces derniers sont donc qualifiés par type de milieu et par espèce, et permettent le dimensionnement de la compensation dans le respect du principe d'équivalence qualitative (par espèce et par milieu) et quantitative (par milieu) (Quétier et al., 2015).

Quelles soit qualitative, quantitative, ou semi-quantitative, toutes en commun le fait de mieux caractériser les « pertes » liées aux impacts et d'anticiper quels « gains » peuvent être espérés de différentes actions de compensation (Quétier et al., 2012).

Une différence avec nos voisins allemand

Les approches peuvent être différentes selon les pays, notamment de par l'histoire et la réglementation de ceux-ci. L'exemple le plus souvent pris dans le domaine de la compensation reste celui de nos voisins d'outre-Rhin. Même si l'Allemagne et la France ont tous les deux promulgué en 1976 leurs premières lois relatives à la protection de la nature, qui ont initié la mise en œuvre de la séquence Éviter-Réduire-Compenser (Bas et al., 2020). Et si l'organisation

de la compensation écologique entre ces deux nations tend à suivre la même dynamique, la définition et les modalités de mise en œuvre de la compensation ne sont pas similaires (Bas et al., 2020; Quétier et al., 2012). Effectivement, les organisations planifiées et mutualisées de la compensation apparaissent en 1998 en Allemagne, soit plus de 10 ans avant la France. Chez nous, il faut attendre 2016 pour évoluer vers une compensation mutualisée (sites naturels de compensation institutionnalisés dans la loi biodiversité) et planifiée (émergence très récente de stratégies foncières anticipées à l'échelle régionale ou locale) (Bas et al., 2020). Cette avance a permis à l'Allemagne de développer des méthodes de calcul de l'équivalence bien avant la France, comme la méthode Ôkokonto, très largement utilisé outre-Rhin. Celle-ci, à l'image des autres méthodes du pays, cherche à calculer l'équivalence entre des composantes de biodiversité différentes (Darbi & Tausch, 2010) car des notions d'esthétique paysagère, d'eau et de sol entrent également en jeu (Bas et al., 2020). Même si l'Allemagne ne possède pas une méthode harmonisée dans tout le pays, le fait d'évoluer avec un cadre méthodologique propre à chaque territoire administratif allemand (Land), la différencie du millefeuille français, ou chaque bureau d'études ou presque possède ou cherche à développer sa propre méthode.

Malgré l'échec en 2013 d'une tentative d'harmonisation par décret (Bundeskompensationsverordnung – BKompV) des modalités de mise en œuvre de la compensation à l'échelle fédérale dans le cadre de la loi sur la protection de la nature (Bas et al., 2020; Wende et al., 2018) qui prévoyait notamment d'harmoniser le contenu des compensations et la méthodologie d'évaluation des biotopes en éco-points à l'échelle fédérale (Wende et al., 2018), l'expérience allemande, en avance de plus de 10 ans sur nous, doit nous permettre de prendre la bonne direction (Bas et al., 2020; Quétier et al., 2012).

Structure des méthodes

Comme vu précédemment, chaque méthode, qu'elle soit française ou non est différente en termes d'approche, de milieu étudié, ou encore en types d'évaluation. Mais elles peuvent aussi diverger sur le nombre d'indicateurs ou de périmètres d'analyse.

Pour exemple, la méthode d'Évaluation Rapide de la Compensation des Impacts écologiques (MERCle), ainsi que la méthode d'évaluation de l'équivalence écologiques (ECOVAL) proposent une mise en place sur deux périmètres d'étude ; l'emprise directe du projet d'une part, ainsi que d'autre part, d'un périmètre élargi, de type bassin versant pour la méthode MERCle par exemple. De leur côté, les méthodes Miroir et Ôkokonto, s'intéressent plus particulièrement au seul périmètre de la zone impacté directement par le projet.

En matière d'indicateurs, on peut passer de 21 pour la méthode MERCle à 107 pour la méthode ECOVAL. À noter que pour cette dernière, plusieurs d'entre eux peuvent être supprimé suivant le contexte de l'étude. Effectivement, étant applicable sur tous types de milieux, si l'étude ne voit pas la présence de milieux caractéristiques des zones humides, les critères en lien avec cette thématique seront supprimés, puisque inutiles ; on y retrouve notamment un critère de « Fonctionnalité des zones humides. En analysant plus précisément

les critères utilisés dans cette méthode, on se rend compte qu'ils rentrent dans huit fonctions différentes : Connectivité, patrimonialité, représentativité, pression, diversité, fonctionnalité, responsabilité, structure (Bezombes, 2017). Ceux-ci sont répartis dans trois niveaux d'études, un niveau général, un niveau habitat et un niveau espèce (Bezombes, 2017).

La méthode MERCIe quant à elle, est composée de 21 indicateurs regroupés en trois familles/fonctions : Localisation et paysage, hydrologie, structure des communautés et habitats. Spécialisée dans les milieux humides, cette méthode peut être néanmoins adaptée aux milieux terrestres (Mechin, 2018; Mechin & Pioch, 2016b). En effet, cette transformation peut être réalisée à condition d'enlever l'évaluation des indicateurs hydrologiques, et d'ajouter possiblement d'autres indicateurs en lien avec la qualité des sols par exemple ; c'est d'ailleurs un des objectifs d'amélioration de la méthode de la part de ses concepteurs (Mechin, 2018; Mechin & Pioch, 2016b). Néanmoins, cette transformation pourrait faire baisser la robustesse de la méthode puisqu'elle réduirait le nombre d'indicateurs évaluant l'état du milieu (Mechin, 2018).

Les méthodes semi-quantitatives Ôkokonto et Miroir, n'abordant pas le dimensionnement de la même manière, et ne disposent donc pas d'autant d'indicateurs. Elles se basent plutôt sur une multiplication de facteurs, et la recherche d'une « note » par surface d'habitat. Ôkokonto va tendre à implémenter par mètre carré d'habitat, un nombre d'éco-points variant de 1 à 64. Pour cela, la méthode va se baser sur trois critères : le degré de naturalité, le caractère distinctif à l'échelle locale, ainsi que le rôle de l'habitat pour les espèces patrimoniales et en voies de disparitions. Ces critères se concentrent sur les biotopes, avec l'hypothèse que les espèces peuvent être protégées par la protection de leur habitat (Bezombes, 2017; Darbi & Tausch, 2010). De son côté, la méthode Miroir fonctionne en deux parties. Dans une première phase, on va calculer un différentiel de qualité de l'habitat pour une espèce menacée avant et après impact. Celui-ci sera multiplié à la surface de l'habitat détruit, ce qui donnera un nombre d'unités de compensation (UC) à acquérir (Quétier et al., 2015). Dans la deuxième phase, on va calculer le nombre d'espèces, que l'on va ensuite pondérer avec leur statut de conservation. Cette valeur sera multipliée avec la surface d'habitat détruit, ce qui donnera un nombre d'unités de compensation (UC) à acquérir (Quétier et al., 2015).

Tableau 3 : Synthèse des méthodes analysées

Méthode	Points forts	Limites	Type d'évaluation	Nombre d'indicateurs	Fonctions analysées	Périmètre d'étude
ECOVAL	Faibles temps et coût d'implémentation Possibilité de choisir les indicateurs voulus Adaptable à tout type de milieux	Beaucoup d'indicateurs	Qualitative	107 (plusieurs optionnels)	8	2

Méthode	Points forts	Limites	Type d'évaluation	Nombre d'indicateurs	Fonctions analysées	Périmètre d'étude
	Utilisabilité par les non spécialistes					
MERCle	Temps pour l'application de la méthode Méthode bien détaillée Utilisabilité par les non spécialistes	Moins robuste pour milieux terrestres Possibilité de sous-estimation sur le terrain	Quantitative	21 (27 à l'origine de la thèse)	3	2
Miroir	Permet de trouver la solution de compensation la plus adaptée aux réalités du territoire Traitement rigoureux, transparent, et participatif des impacts d'un aménagement sur la biodiversité Adaptable à tout type de milieux	Ne met pas toutes les espèces au même niveau Nécessite la présence d'une espèce avec un fort enjeu Moins complet que d'autres méthodes	Semi-quantitative	3	1	1
Okokonto method	Rapide à mettre en place Adaptable à tout type de milieux	Ne prend en compte que l'habitat	Semi-quantitative	3	1	1

Discussion

Les objectifs de ce rapport étaient de réaliser une synthèse ainsi qu'une approche comparative des méthodes existantes afin de trouver cadre méthodologique permettant d'évaluer l'équivalence écologique. J'ai pu voir durant la réalisation de ce projet de fin d'études l'importance de l'harmonisation et du choix des approches au vue de leurs objectifs variés. Les méthodes proposent des structures et des paramètres diversifiés qu'ils semblent importants de bien connaître et interprété afin d'évaluer de la manière la plus pertinente possible l'ensemble des « pertes » liées aux impacts et d'anticiper quels « gains » peuvent être espérés des différentes actions de compensation. De plus, l'avance que possède l'Allemagne dans le domaine du dimensionnement écologique doit nous permettre de faire les bons choix à l'heure d'une harmonisation nationale. Leurs méthodes de travail peuvent être suivies, en

s'appuyant notamment sur la méthode Ôkokonto. Enfin, le choix des paramètres paraît essentiel lors de la création de la méthode, travailler aux mauvaises échelles, ou avec les mauvais indicateurs ne sera que contreproductif. Au vu de l'analyse réalisée précédemment, le choix des composantes de biodiversité à mesurer dans le cadre de la compensation, dans l'optique d'atteindre le « zéro perte nette » (No net Loss, NNL) de biodiversité, paraît primordial car il reflète un choix de prioriser la préservation de ses composantes par rapport à d'autres (Bezombes, 2017).

Pour cela, il paraît important d'associer deux types d'indicateurs, des indicateurs directs (comme le nombre d'espèces par exemple), ainsi que des indicateurs indirects (comme la surface d'habitat, ou le nombre de micro-habitats d'arbres). Cette association semble essentielle et complémentaire afin d'estimer les pertes et les gains écologiques ; celle-ci est d'ailleurs utilisée dans les quatre méthodes étudiées précédemment. Les indicateurs directs vont permettre d'apporter la preuve de la présence de certaines espèces, composantes ou fonctions écologiques (Regnery, 2017). Néanmoins, ils peuvent être insuffisant afin d'estimer les trajectoires écologiques d'un milieu et éprouvent certaines limites pour prédire et piloter l'état de la biodiversité sur des sites de compensation (Regnery, 2017). Les indicateurs indirects quant à eux, peuvent alors les compléter en identifiant les caractéristiques biologiques ou physiques qui sous-tendent la biodiversité, en renseignant notamment les pressions qui pèsent sur les écosystèmes, et/ou fournissant des paramètres biophysiques qui peuvent être incorporés dans des modèles prédictifs de pertes et gains écologiques (Regnery, 2017).

Il semble aussi important de ne pas oublier dans la méthode d'intégrer des indicateurs prenant en compte les espèces dites « communes ». Premièrement puisqu'une part non négligeable des atteintes aux listes rouges durant ces vingt dernières années concerne les espèces classées en préoccupation mineure (LC) et quasi-menacée (NT) : représente notamment 64% chez les oiseaux (Hoffmann et al., 2010). Et même si elles sont prises en compte dans 50% des méthodes analysées, elles ne sont pas forcément mises au même niveau lors de l'analyse comme dans la méthode Miroir. Et deuxièmement, puisque par leur abondance et/ou leur distribution, ces espèces constituent généralement une part importante des cortèges d'espèces et contribuent à la structuration et au fonctionnement des écosystèmes (Regnery, 2017). Un bouleversement démographique chez les espèces dites « communes » peut potentiellement avoir des répercussions importantes sur l'état global de la biodiversité du milieu étudié.

La méthode devra aussi répondre à un certain nombre de points clefs souvent associés aux méthodes d'évaluations rapides. Ceux-ci, en plus d'avoir été ressortis des différentes méthodes étudiées, ont été listés par Fennessy et al. (2007). Celle-ci devra :

- être adaptées au contexte réglementaire ;
- être rapides à mettre en place et rapide dans le traitement des données ;
- inclure une visite de terrain (pas forcément dans notre cas) ;

- générer des résultats reproductibles par chaque utilisateur.

La biodiversité ne peut se résumer à un indicateur unique (Quétier et al., 2012), il paraît essentiel au vu de ce travail de segmenter la biodiversité en plusieurs enjeux, et de travailler ainsi enjeu par enjeu tout en trouvant des indicateurs pouvant caractériser chacun des enjeux. Cette évaluation des pertes, des gains et de leur équivalence doit aussi suivre un minimum une approche scientifique et technique (Valentin, 2020) pour éviter que chacun ne se l'approprie en fonction de sa culture ou sensibilité et qu'il préfère alors préserver un taxon plutôt qu'un autre.

Lors de ma réflexion, après avoir lu et analysé un bon nombre de textes scientifiques, ainsi qu'avec mon expérience de terrain, il me semble intéressant à l'image de la méthode Ôkokonto, d'appréhender en premier lieu les habitats (essences végétales et structure du sol). Ceux-ci semblent être le reflet de la biodiversité présente en son sein. Effectivement, c'est plutôt l'habitat qui semble détermine la présence ou non d'une espèce animale. Comprendre et caractériser l'habitat reviendrait donc à appréhender le plus justement possible la dynamique écologique du site.

Plusieurs indicateurs pourraient être utiles pour évaluer un habitat naturel. On peut notamment penser à la structure de la végétation constituant l'habitat, le milieu abiotique, les espèces invasives, ainsi que les espèces caractéristiques du milieu. De plus, il paraît important d'intégrer un indicateur prenant en compte les perturbations anthropiques (fréquentations pédestres et mécaniques, perturbation chimiques, activités de loisirs, feux, etc.). L'évaluation de la qualité d'un site pouvant diminuer en fonction des sources de perturbation ou de la vulnérabilité des sites à des aménagements futurs.

Pour évaluer au niveau espèce, on pourrait notamment utiliser les connexions entre les habitats présents sur le site, que ce soit de manière qualitative ou quantitative. Attention toutefois avec cet indicateur, qui n'aura pas le même impact pour une espèce très mobile et une espèce peu mobile, qui pour cette dernière, sera moins impacté par un effet de fragmentation (Quétier et al., 2012).

Enfin, après le choix des indicateurs, une étape de pondération est indispensable afin de calculer le mieux possible le dimensionnement des mesures compensatoires (Mechin & Pioch, 2016b). Pour ce faire, il faut prendre en compte d'une part, le délai d'efficacité de la compensation et d'autre part, l'incertitude de l'évolution du milieu. Pour exemple, dans la méthode MERCIe, la valeur de ce coefficient peut varier entre 1 (la mesure fonctionne parfaitement) à 3 (la mesure ne fonctionne pas) ; un coefficient de 3 étant bien entendu non conforme à l'objectif voulu. Ce coefficient est réellement important, puisqu'il va permettre de conclure sur une surface à compenser. Il sera aussi essentiel de justifier ce coefficient afin de le rendre compréhensible et donc justifiable par les porteurs de projet ; pas forcément le cas pour toutes les méthodes actuellement utilisées.

Il est à noter que le choix des indicateurs, leur pondération, ainsi qu'un retour d'expérience seront des facteurs déterminants pour la réussite d'une méthode (Quétier et al., 2012).

Il reste indispensable de garder en tête qu'il faudra toujours favoriser les deux premières étapes de la séquence ERC, à savoir l'évitement et la réduction à la compensation. Premièrement, le coût de mise en place des mesures compensatoires demande de plus en plus d'argent (Valentin, 2020). D'autre part, comme on a pu le voir à travers ce projet de fin d'études, caractériser l'ensemble des pertes, et donc la biodiversité dans son ensemble semble très complexe. Sans être pessimiste, il semble d'ailleurs aujourd'hui pratiquement impossible de créer une méthode totalement efficace. La recherche d'indicateurs, est-ce réellement la bonne piste ? Est-ce réellement possible de quantifier le vivant ? Beaucoup de questions sans réponses, et une absence de techniques et de concepts suffisamment élaborés pour prétendre une compréhension globale des conséquences d'un projet sur la biodiversité et ses dynamiques (Valentin, 2020). Comme la dit Vincent Vignon, directeur associé de l'Office de Génie Écologique lors de la webconférence « Quels défis pour les chantiers de génie écologique et de renaturation ? » du 10 décembre 2020 : « Nous sommes des médecins qui regardons notre malade ».

Ce travail n'aurait pas été avare d'un peu plus de temps afin d'étoffer son contenu. La prise en compte d'autres variables propres aux indicateurs aurait pu être ainsi réalisée lors d'une analyse plus poussée (indicateur simple, composé, méthode et période de récolte des données, etc.). La littérature sur un sujet aussi passionnant que celui-ci est importante, et demande beaucoup de temps pour être assimilée. Comprendre les différentes notions gravitant autour de la séquence Eviter-Réduire-Compenser, analyser les méthodes de calcul de l'équivalence écologique, leurs mises en place ainsi que d'identifier les paramètres les plus importants à prendre en compte pour analyser de façon idoine un milieu naturel est un véritable challenge.

Références

- Abba, B. (2020). *Quels défis pour les chantiers de génie écologique et de renaturation ?* Actu-environnement. <https://www.actu-environnement.com/ae/news/defis-genie-ecologique-renaturation-webconference-UPGE-36700.php4>
- Almond, R. E. A., Grooten, M., & Peterson, T. (2020). *Living Planet Report 2020-Bending the curve of biodiversity loss*. World Wildlife Fund.
- Apostolopoulou, E., & Adams, W. M. (2017). Biodiversity offsetting and conservation : Reframing nature to save it. *Oryx*, 51(1), 23-31.
- Bas, A., Imbert, I., Clermont, S., Reinert, M.-E., Calvet, C., & Vaissière, A.-C. (2020). Approches anticipées et planifiées de la compensation écologique en Allemagne : Vers un retour d'expérience pour la France? *Sciences Eaux Territoires*, 1, 44-49.
- BBOP (Business and Biodiversity Offsets Programme). (2012). *Standard on Biodiversity Offsets*. 29.
- Bezombes, L. (2017). *Développement d'un cadre méthodologique pour l'évaluation de l'équivalence écologique : Application dans le contexte de la séquence" Éviter, Réduire, Compenser" en France* [PhD Thesis]. Grenoble Alpes.
- Bigard, C., Regnery, B., Pioch, S., & Thompson, J. D. (2018). De la théorie à la pratique de la séquence Éviter-Réduire-Compenser (ERC) : Éviter ou légitimer la perte de biodiversité? *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie*, 9(1).
- Butchart, S. H., Walpole, M., Collen, B., Van Strien, A., Scharlemann, J. P., Almond, R. E., Baillie, J. E., Bomhard, B., Brown, C., & Bruno, J. (2010). Global biodiversity : Indicators of recent declines. *Science*, 328(5982), 1164-1168.
- Darbi, M., & Tausch, C. (2010). Loss-gain calculations in German impact mitigation regulation. *Occasional paper contributed to BBOP. Consulted on-line at http://www.forest-trends.org/publication_details.php*.

- Fennessy, M. S., Jacobs, A. D., & Kentula, M. E. (2007). An evaluation of rapid methods for assessing the ecological condition of wetlands. *Wetlands*, 27(3), 543-560.
- Hale, R., & Swearer, S. E. (2017). When good animals love bad restored habitats : How maladaptive habitat selection can constrain restoration. *Journal of Applied Ecology*, 54(5), 1478-1486.
- Hoffmann, M., Hilton-Taylor, C., Angulo, A., Böhm, M., Brooks, T. M., Butchart, S. H., Carpenter, K. E., Chanson, J., Collen, B., & Cox, N. A. (2010). The impact of conservation on the status of the world's vertebrates. *science*, 1194442.
- Mechin, A. (2018). *Les méthodes d'évaluation des pertes et des gains écologiques : Revue des méthodes françaises*. <https://www.pnr-seine-normande.com/upload/medias/2018-10-11pnrboucles-seine-normande.pdf>
- Mechin, A., & Pioch, S. (2016a). *MERCIE : Une nouvelle méthode pour évaluer la compensation écologique d'un projet*. Actu-Environnement; Actu-environnement. <https://www.actu-environnement.com/blogs/agnes-mechin-sylvain-pioch/5/agnes-mechin-sylvain-pioch-mercie-methode-evaluer-compensation-ecologique-projet-6.html>
- Mechin, A., & Pioch, S. (2016b). Une méthode expérimentale pour évaluer rapidement la compensation en zone humide. *La méthode MERCIe: principes et applications*. Onema, Paris.
- Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer. (2017). *Théma—La séquence éviter réduire et compenser.pdf*. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Th%C3%A9ma%20-%20La%20s%C3%A9quence%20%C3%A9viter%20r%C3%A9duire%20et%20compenser.pdf>
- Quétier, F., & Lavorel, S. (2011). Assessing ecological equivalence in biodiversity offset schemes : Key issues and solutions. *Biological Conservation - BIOL CONSERV*, 144. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.09.002>

- Quétier, F., Moura, C., Menut, T., Boulnois, R., & Rufray, X. (2015). La compensation écologique fonctionnelle : Innover pour mieux traiter les impacts résiduels des projets d'aménagements sur la biodiversité. *Sciences Eaux Territoires, Numéro 17(2)*, 24-29.
- Quétier, F., Quenouille, B., Schwoertzig, E., Gaucherand, S., Lavorel, S., & Thievent, P. (2012). *Les enjeux de l'équivalence écologique pour la conception et le dimensionnement de mesures compensatoires d'impacts sur la biodiversité et les milieux naturels*.
- Regnery, B. (2017). *La Compensation écologique. Concepts et limites pour conserver la biodiversité*.
- Truchon, H., de Billy, V., Padilla, B., & Bezombes, L. (2020). *Dimensionnement de la compensation ex ante des atteintes à la biodiversité—État de l'art des approches, méthodes disponibles et pratiques en vigueur*.
- Valentin, P. (2020). *Quels défis pour les chantiers de génie écologique et de renaturation ?* Actu-environnement. <https://www.actu-environnement.com/ae/news/defis-genie-ecologique-renaturation-webconference-UPGE-36700.php4>
- Wende, W., Tucker, G.-M., Quétier, F., Rayment, M., & Darbi, M. (2018). *Biodiversity offsets : European perspectives on no net loss of biodiversity and ecosystem services*. Springer.

Directeur de recherche :
Isselin Francis
Tuteur professionnel :
Sottejeau Vivien

MAZIERE Julien
PFE/DAE5
DAE ADAGE
2020-2021

L'équivalence écologique : État de l'art des méthodes d'évaluation

Résumé : Dans le monde, entre 1970 et 2016 les populations de vertébrés sauvages ont décliné de 68%. Depuis plus de vingt ans, la France met en œuvre des politiques publiques de conservation d'espèces, de gestion ou de restauration d'écosystèmes dégradés, et hiérarchise les projets d'aménagements en trois grandes étapes ; **Eviter-Réduire-Compenser**. De cette hiérarchisation découle une nécessité de concevoir et **dimensionner** les mesures compensatoires que l'on va ensuite intégrer dans les projets afin de freiner l'érosion de la biodiversité. Pour cela, les porteurs de projets ont besoin d'une **méthode de calcul** aisément compréhensible, pragmatique et souple dans sa mise en place. C'est dans ce cadre que s'inscrit ce projet de fin d'études, visant après un état de l'art des méthodes existantes, à réunir des recommandations pour la réalisation d'une méthode de calcul de l'**équivalence écologique**. Pour ce travail, quatre méthodes ont été choisies et analysées sous trois critères différents : l'approche, les caractéristiques, et les paramètres. De ce travail ressort finalement l'indispensabilité de choisir la bonne approche ainsi que les bonnes caractéristiques propres à la méthode afin de mieux caractériser les « pertes » liées aux impacts et d'anticiper quels « gains » peuvent être espérés de différentes actions de compensation. De plus, au vu de l'expérience allemande, en avance de plus de 10 ans sur nous, celle-ci doit nous permettre de prendre la bonne direction. Enfin, le choix des paramètres est indispensable lors de la création de la méthode, travailler aux mauvaises échelles, ou avec les mauvais **indicateurs** ne sera que contreproductif dans un souci de « zéro perte nette » (No net Loss, NNL) de biodiversité.

Mots Clés : Eviter-Réduire-Compenser, Dimensionner, Méthode de calcul, Equivalence écologique, Indicateurs.