

## Séquence ERC : comment améliorer l'utilisation des méthodes de dimensionnement de la compensation écologique ?

Agnès Mechin et Sylvain Pioch

Volume 19, numéro 3, décembre 2019

Varia

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1071357ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Université du Québec à Montréal  
Éditions en environnement VertigO

ISSN

1492-8442 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Mechin, A. & Pioch, S. (2019). Séquence ERC : comment améliorer l'utilisation des méthodes de dimensionnement de la compensation écologique ? *VertigO*, 19(3).

Résumé de l'article

L'insuffisance des connaissances, d'outils et de méthodologies partagés est identifiée comme l'une des causes de la faiblesse de l'application en France de la séquence « Éviter, Réduire, Compenser » (ERC) les impacts négatifs résiduels significatifs causés par les projets d'aménagement, plans ou programmes, sur la nature. Cela concerne notamment les méthodes pour évaluer l'atteinte de l'objectif d'absence de perte nette (MAPN). Cet article traite de la question de l'opérationnalité du point de vue des utilisateurs des méthodes c'est-à-dire, des acteurs des territoires concernés par la mise en application de la séquence ERC. Nous analysons la dimension opérationnelle de ces méthodes en nous appuyant sur un cadre théorique original défini par l'ergonomie. La définition de l'opérationnalité proposée dans ces travaux est basée sur trois composantes qui sont l'utilité, l'utilisabilité et l'acceptabilité socio-organisationnelle. Nous associons à ces trois composantes quinze critères déterminés à partir de la bibliographie de référence et de nos enquêtes auprès des acteurs de terrain. Le premier résultat de ces travaux est de démontrer qu'environ la moitié des critères déterminant une bonne prise en compte de la dimension opérationnelle des MAPN ne sont pas considérés par les concepteurs. À ce stade, elle peut s'avérer utile pour guider la conception, se doter d'un vocabulaire commun et ne pas négliger des points peu pris en compte ou simplement « oubliés » jusque-là dans la conception des MAPN en France.



---

# Séquence ERC : comment améliorer l'utilisation des méthodes de dimensionnement de la compensation écologique ?

Agnès Mechin et Sylvain Pioch

---

## Introduction

- 1 La réglementation française prévoit dans son code de l'environnement, l'obligation pour un maître d'ouvrage d'éviter, réduire et enfin de compenser les impacts négatifs résiduels significatifs causés par ses projets d'aménagement, plans ou programmes, sur la nature. La loi de Reconquête de la Biodiversité, de la Nature et des Paysages (RBNP) d'août 2016 généralise ce principe, connu sous le nom de séquence ERC, à toutes les actions susceptibles de toucher des espaces, ressources et milieux naturels et marins (Art. L110-1 du code de l'environnement), avec l'objectif d'absence de perte nette de biodiversité. Cet objectif signifie que les impacts résiduels significatifs causés par un aménagement, c'est-à-dire, les impacts qui n'ont pu être ni évités ni réduits, doivent être compensés par des actions de restauration ou d'amélioration de milieux naturels. Cette loi conforte les textes existants auparavant et forme avec eux, le corpus réglementaire environnemental français actuel, fruit d'un renforcement progressif depuis la première loi sur la nature de 1976.
- 2 La séquence ERC n'a commencé à être véritablement appliquée qu'avec l'arrêté ministériel de 2007 fixant les conditions de demandes de dérogation aux destructions d'espèces protégées (Bigard et al., 2017 ; Semal et Guillet, 2017 ; Vaissière, 2014 ; Regnery, 2013). Si la loi française évolue depuis plus de dix ans de façon à consolider petit à petit les objectifs associés à la séquence ERC, la mise en pratique, bien qu'en amélioration, reste en deçà des ambitions officielles (Semal et Guillet, 2017). De nombreuses publications académiques ont régulièrement pointé ce constat

d'insuffisance (Bigard et al., 2017 ; Calvet et al., 2015 ; Jacob et al., 2015, 2016 ; Levrel et al., 2015 ; Quétier et al., 2014). Cette insuffisance, que le rapport parlementaire de Berthelot et al. identifie en 2011, est encore relevée en 2017 par la commission d'enquête du Sénat sur la réalité des mesures de compensation, dont le rapport porte le nom de son président, le sénateur Dantec (Dantec, 2017, p. 30) : « l'application de la séquence ERC à des projets d'infrastructures est longtemps restée, en pratique, largement formelle et parfois théorique ».

- 3 Trois types de causes expliquent la faiblesse de l'application de la séquence ERC en France : (i) un cadre juridique imprécis et manquant d'uniformité (Bigard et al., 2017 ; Dantec, 2017 ; Semal et Guillet, 2017 ; Martin, 2015) ; (ii) un débat de fond sur le principe même de la séquence ERC (Semal et Guillet, 2017 ; Moreno-Mateos et al., 2015) ; et (iii) l'insuffisance des connaissances, des outils et méthodologies partagés par les acteurs concernés par la mise en œuvre de la séquence. Sur ce dernier point, les insuffisances portent aussi bien sur les connaissances scientifiques en biologie de la conservation que les connaissances des agents des services instructeurs de l'État aux parcours de formation très divers (Semal et Guillet, 2017 ; Bigard et al., 2017 ; Jacob et al., 2015). L'insuffisance d'outils et méthodologies concerne à la fois la gouvernance (Regnery et al., 2013), la pérennité des mesures compensatoires ou encore leur suivi par exemple (Quétier et al., 2014). Ce constat est valable également pour les méthodes d'évaluation de l'atteinte de l'absence de perte nette de biodiversité (MAPN). Ces méthodes permettent de déterminer la « dette » compensatoire théorique en fonction des impacts résiduels générés par le projet d'aménagement après évitement et réduction. On parle aussi de méthodes pour évaluer l'équivalence écologique entre les pertes engendrées par les impacts et les hypothétiques gains issus des mesures compensatoires. Elles s'appliquent avant la réalisation du projet d'aménagement, dans les phases de conception et de dépôt des dossiers d'autorisation, et elles ont vocation à être utilisées ou connues par les bureaux d'études, les aménageurs et les services de l'État. Elles reposent sur l'évaluation de l'état écologique des milieux et des enjeux écologiques associés. Elles sont mentionnées dès 2013 par les lignes directrices définies à cet effet par le Commissariat général au développement durable (CGDD), une direction du ministère français en charge de l'écologie, et dont l'objectif est de veiller à l'intégration du développement durable au sein des politiques publiques et des actions de l'ensemble des acteurs socio-économiques (CGDD, 2013, p. 107) (voir figure 1). Dans la fiche n° 15 de ces lignes directrices, il est recommandé aux maîtres d'ouvrages de « disposer pour chaque projet d'une méthode relative à l'évaluation des pertes et gains écologiques, afin de dimensionner des mesures compensatoires équivalentes ». Elles fournissent un certain nombre d'« éléments de cadrage » tout en précisant qu'il ne s'agit pas d'une « démarche type ». Cette recommandation est également faite par certains chercheurs (Vanpeene-Bruhier et al., 2013) tandis que d'autres relèvent les différentes faiblesses sur le plan scientifique des démonstrations de l'équivalence écologique par les bureaux d'études et les aménageurs dans les dossiers d'autorisation (voir tableau 1). Enfin, en 2017, le rapport Dantec publié par le Sénat et mentionné précédemment relève que la France peine à « adopter des méthodologies permettant d'apprécier de façon scientifique l'équivalence entre les atteintes à la biodiversité et les gains rendus possibles par une mesure de compensation » (p. 38) et recommande de « développer au niveau national les éléments d'une méthodologie permettant de disposer d'une approche plus fine du fonctionnement des écosystèmes » (p. 80). Ainsi, alors que la mise en application effective de la séquence ERC en France démarre en 2007, dix ans

plus tard, il n'existe pas en France de méthode d'évaluation répondant aux principes réglementaires, reconnue par l'ensemble des acteurs concernés et validée par l'État.

Figure 1. Parallèle entre l'évolution réglementaire et la parution des principales MAPN / Parallel between the regulatory evolution and the publication of the main MAPN.

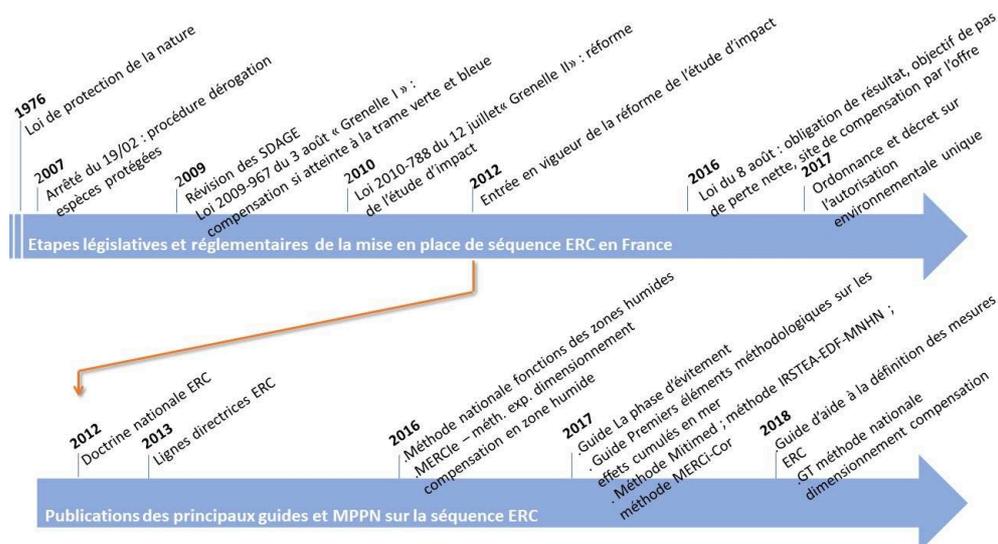


Tableau 1. Inventaire des difficultés liées à la séquence ERC identifiées par les scientifiques / Inventory of difficulties related to the mitigation hierarchy identified by scientists.

Auteurs	Nature des difficultés	Portée
<b>Cadre du dispositif ERC</b>		
Semal et Guillet, 2017 Martin, 2015 Dantec, 2017	Cadre référentiel et juridique flou (plus particulièrement jusqu'à la loi de 2016)	France
Bigard et al., 2017 ; Dantec, 2017 Bull et al., 2016 Jacob et al., 2016 Quétier et al., 2014	Définitions insuffisamment précises, en particulier de la notion d'impact significatif, de l'évitement, de la réduction et de la compensation. Confusion entre évitement, réduction, compensation. Compréhension variable des différents concepts associés au NNL	France et international
Dantec, 2017 ; Semal et Guillet, 2017	Complexité et hétérogénéité du droit de la compensation, insécurité pour les parties prenantes	France
<b>Mise en application de la séquence ERC</b>		
Regnery et al., 2013 ; Vaissière, 2014	Problèmes de gouvernance	France

Bull et al., 2013	Respect des engagements en termes de mesures compensatoires pris par les maîtres d'ouvrages	International
Bull et al., 2013 Dantec, 2017 Quétier et al., 2014	Problème de la pérennité des mesures compensatoires, dispositifs contractuels et modalités foncières pas suffisamment sécurisants	International France
Bull et al., 2013 Bigard et al., 2017 Jacob et al., 2015 Dantec, 2017 Quétier et al., 2014	Mesures des résultats écologiques, suivi de la compensation après sa mise en œuvre	International France
Jacob et al., 2015 ; Semal et Guillet, 2017	Moyens limités pour l'instruction des dossiers : manque de formation des agents, manque d'agents, hétérogénéité des compétences	France
Dantec, 2017	Anticipation de l'évitement et de la réduction insuffisante de la part des maîtres d'ouvrages, prise en compte de la séquence ERC trop tardivement dans le cycle des projets	France
Gonçalves et al., 2015 Regnery et al., 2013 Quétier et al., 2014 Jacob et al., 2015 Dantec, 2017	Problème de la localisation des sites de compensation, manque d'une approche territoriale	International France
Dantec, 2017 Billy et al., 2015	Tensions avec le monde agricole	France
<b>Argumentaire scientifique dans les dossiers des maîtres d'ouvrages</b>		
Bull et al., 2013 Gonçalves et al., 2015 Quétier et Lavorel, 2011 Quétier et al., 2014 ; Vanpeene- Bruhier et al., 2013	Définition du concept de l'équivalence écologique, choix des métriques de la biodiversité	International France
Jacob et al., 2015 Dantec, 2017 Quétier et al., 2014	Absence de méthodes de référence pour évaluer l'équivalence écologique et l'atteinte de la non perte nette, pour mesurer et comparer les pertes et les gains.	France

Bull et al., 2013 Maron et al., 2015 Bull et al., 2014a Billy et al., 2015 Quétier et al., 2014	Non prise en compte des références à partir desquels on évalue l'atteinte de l'objectif de non perte nette.  Non prise en compte de la dynamique temporelle des écosystèmes	France
Bull et al., 2013 ; Bigard et al., 2017 ; Quétier et al., 2014	Question des seuils, et des impacts cumulés non ou insuffisamment pris en compte	International France
Regnery et al., 2013	Fonctionnalités écologiques pas assez prises en compte dans les dossiers	France
Quétier et Lavorel, 2011 Quétier et al., 2014 Billy et al., 2015 Bradford, 2017	Problème du décalage temporel entre les pertes et les gains écologiques	International France
Vanpeene-Bruhier et al., 2013	Manque de prise en compte des continuités écologiques	France
Dantec, 2017	Manque de prise en compte des impacts générés par les travaux	France
Bull et al., 2013 Quétier et Lavorel, 2011 Billy et al., 2015 Moreno-Mateos et al., 2012 Bradford, 2017	Incertitude sur les trajectoires écologiques, risque d'échec et efficacité des mesures de restauration	International France
Quétier et al., 2014 Calvet et al., 2015	Manque de retours d'expériences et de connaissances sur la restauration des écosystèmes	France
Regnery et al., 2013 Bigard et al., 2017 Jacob et al., 2016 Dantec, 2017	Focalisation sur les espèces protégées, y compris en milieu marin, biodiversité ordinaire pas assez prise en compte	France

- 4 Pourtant, le besoin de méthode d'évaluation n'est pas né avec la mise en œuvre de la séquence ERC. En effet, avec le développement des politiques de conservation de la biodiversité, particulièrement depuis la conférence de Rio en 1992, les travaux pour mettre en place des indicateurs de la biodiversité adaptés se multiplient sous l'égide des institutions européennes ou françaises (Levrel, 2006). Des méthodologies spécifiques ont alors été développées pour évaluer l'état de conservation des habitats,

l'état écologique des masses d'eau ou encore la production des services écosystémiques. Ces différents exemples montrent la diversité des outils visant à évaluer sous un angle ou un autre, les écosystèmes ou certaines de leurs composantes. Mais, aucun d'entre eux ne répond aux besoins propres à l'évaluation de l'équivalence écologique telle qu'elle est exigée dans les principes de la séquence ERC et de l'objectif d'absence de perte nette de biodiversité comme stipulé dans l'article 69 de la loi française biodiversité du 8 août 2016. En effet, la conception d'une méthode dépend de son objet et de son objectif d'évaluation (Sutula *et al.*, 2006). La multitude des outils existants ne pouvant pas être utilisée directement, il est donc nécessaire de proposer des méthodes spécialement conçues pour la mise en application de la séquence ERC dans ce cadre.

- 5 Dès lors, l'apport des méthodes déjà existantes pour l'évaluation de l'équivalence écologique mises en œuvre dans d'autres pays constitue un retour d'expérience intéressant à étudier. Un certain nombre de méthodes sont bien identifiées, particulièrement pour les zones humides (Bezombes *et al.*, 2017 ; Pioch *et al.*, 2015 ; Barnaud et Coïc, 2011). Cependant, leur application directe en France n'est pas possible d'un point de vue écologique, mais aussi réglementaire (Gaucherand *et al.*, 2015). Un travail d'adaptation et de test est nécessaire (Bezombes *et al.*, 2017 ; Mechin et Pioch, 2016). Si les méthodes existantes constituent un apport indéniable, un travail reste à faire pour proposer des outils adaptés aux besoins français.
- 6 En France, plusieurs initiatives ont commencé à voir le jour à partir de 2012-2013, pour aboutir aux premières propositions méthodologiques expérimentales dès 2016 et 2017. Pour autant, aucune d'entre elles ne fait l'objet d'un consensus national du fait de leur déploiement récent, des limites de leur périmètre d'application ou de leur caractère encore expérimental. Le ministère de la transition écologique et solidaire (MTES) et l'agence française de la biodiversité (AFB) ont d'ailleurs mis en place un groupe de travail visant à proposer un référentiel méthodologique national (2018-2019). Ainsi, une importante dynamique associant scientifiques, acteurs de terrain (aménageurs, bureaux d'études, services instructeurs) et institutions s'est mise en place pour répondre à ce besoin de méthodes biophysiques.
- 7 Cette dynamique est d'autant plus nécessaire que l'objectif d'absence de perte nette de biodiversité (et d'équivalence écologique) est, au-delà des controverses qu'il peut susciter (Moreno-Mateos *et al.*, 2015), particulièrement complexe à évaluer. En effet, dès 2011, Quétier et Lavorel insistaient sur la difficulté d'interpréter de façon univoque l'objectif d'équivalence écologique alors que les réalités écologiques associées sont complexes. La multiplicité des mécanismes et concepts à prendre en compte complexifie l'évaluation écologique des projets d'aménagement. L'exercice est particulièrement difficile et incertain, car comme le soulignent Calvet *et al.* (2015), intégrer le savoir écologique dans les pratiques compensatoires est limité par le manque de connaissances en biologie de la conservation et en restauration écologique, ainsi que par l'inévitable décalage entre récentes avancées scientifiques et déploiement en pratique.
- 8 Face à l'ampleur des questions soulevées par l'évaluation de l'équivalence écologique, le défi à la fois technique et pratique représenté par la proposition de MAPN est de taille. Si les enjeux technico-scientifiques sont relativement bien cernés, comme le démontre l'abondante littérature citée dans le tableau 1, la mise en œuvre de la séquence ERC sur le terrain souffre, outre du manque de méthode détaillé plus haut, d'un manque de moyens, de l'hétérogénéité des compétences des services de l'État (Semal et Guillet,

2017 ; Jacob et al., 2015), et du manque de connaissances des différents acteurs, ou encore du moment de la prise en compte de la séquence ERC trop souvent en fin de cycle des dossiers (Dantec, 2017). Cette seconde catégorie de problèmes liés moins aux aspects techniques qu'à la mise en pratique par les principaux acteurs nous conduit à considérer le volet de l'utilisation des MAPN comme un enjeu à part entière. Nous choisissons de nommer l'enjeu lié à leur utilisation « opérationnalité » des MAPN. C'est en particulier le terme utilisé dans une lettre de mission du MTES et de l'AFB pour décrire une des caractéristiques attendues des références méthodologiques que proposera le groupe de travail. Le Larousse la définit comme caractérisant un objet « prêt à entrer en activité, à fournir le résultat optimal voulu, à réaliser parfaitement une opération ». Ce terme « opérationnalité » fait référence selon nous au fait que les MAPN doivent être adaptées aux opérations que les aménageurs, bureaux d'études et services instructeurs doivent accomplir avec. Ces acteurs sont donc les utilisateurs (potentiels) de ces méthodes. L'objet de cet article est de comprendre comment l'opérationnalité est prise en compte dans la conception des méthodes développées dans le cadre réglementaire français.

- 9 Nous montrerons d'abord que l'enjeu de l'opérationnalité, dans le sens donné par le Larousse ci-dessus, n'est quasiment pas traité dans la littérature scientifique relative aux MAPN. Puis nous proposerons une définition de l'opérationnalité ainsi que des critères permettant de réaliser une analyse théorique de l'opérationnalité des méthodes. Pour ce faire, nous nous baserons sur des concepts développés en ergonomie, « discipline scientifique qui vise la compréhension fondamentale des interactions entre les humains et les autres composantes d'un système, et la profession qui applique principes théoriques, données et méthodes en vue d'optimiser le bien-être des personnes et la performance globale des systèmes » selon une définition de l'International Ergonomics Association proposée en 2000 et traduite et mise en ligne par la Société d'ergonomie de langue française<sup>1</sup>. Nous analyserons ensuite, sur la base des documents qui y sont rattachés, l'opérationnalité théorique des MAPN développées en France par les équipes de recherche. Enfin nous discuterons des hypothèses pouvant expliquer le degré de prise en compte de l'opérationnalité et des pistes de recherche permettant de compléter cette première analyse.

## L'opérationnalité des méthodes pour évaluer l'absence de perte nette : un sujet peu traité par la littérature scientifique

### Cadre d'analyse et méthode

- 10 Sur le plan théorique, les analyses proposées par la sociologie des techniques ou encore l'ergonomie et la psychologie cognitive peuvent nous éclairer dans la compréhension des enjeux liés à l'opérationnalité des MAPN. Sans réaliser une revue bibliographique exhaustive dans chacune de ces disciplines, les travaux des principaux auteurs affirment l'importance de la dimension liée à l'utilisation et l'utilisateur. En effet, Akrich en s'interrogeant sur la description des objets techniques, souligne que « L'objet technique ne peut pas plus être confondu avec un dispositif matériel qu'avec l'ensemble des usages "remplis" par ce dispositif : il se définit très exactement comme le rapport construit entre ces deux termes. » (Akrich, 2013, p. 3) L'auteur montre

également à quel point l'environnement dans lequel l'utilisateur se sert de l'objet est important. Rabardel (1995) dénonce l'approche techno-centrée qui a longtemps prévalu, et qui conduit à considérer l'homme comme un complément nécessaire à l'objet, mais source d'erreur. Il préfère le mot « instrument » au terme d'objet technique. Il le définit comme l'addition d'« un artefact matériel ou symbolique produit par le sujet ou par d'autres » et d'« un ou des schèmes d'utilisation associés résultant d'une construction propre du sujet, autonome ou d'une appropriation de schèmes d'utilisation déjà formés extérieurement à lui » (Rabardel, pp. 117-118). Ainsi selon ces auteurs, un outil ne se réduit pas au dispositif technique proprement dit. Dans le cas des MAPN, le dispositif technique est constitué des données d'entrée, des indicateurs écologiques, et des formules de calcul. Cela correspond à leur dimension technique. L'usage qui en est fait, et par qui elles sont utilisées et dans quel contexte ont tout autant d'importance, autant d'aspects liés à l'utilisation des méthodes et correspondant à leur dimension opérationnelle. Dans cette perspective, nous considérerons dans la suite de notre analyse que les MAPN relèvent de deux dimensions complémentaires – une dimension technique et une dimension opérationnelle, pour étudier plus spécifiquement la seconde.

- 11 Ce premier cadre étant posé, nous avons souhaité regarder si la littérature scientifique internationale sur l'évaluation de l'équivalence écologique ou de l'absence de perte nette traite de la dimension opérationnelle. Nous avons procédé à l'analyse de trente articles scientifiques en langue anglaise publiés entre 2008 et 2018 (au 01/08/2018) traitant du sujet des MAPN, identifiés à l'aide de Web of Science. Ces articles présentent des revues de méthodes existantes, des études de cas dans lesquels elles ont été appliquées, des méthodes nouvelles développées par les auteurs ou encore des analyses des enjeux méthodologiques d'application de l'objectif du Pas de perte nette. Nous avons déterminé pour chacun d'entre eux quel type d'analyse il produisait : une analyse en rapport avec la dimension technique des MAPN ou une analyse en rapport avec la dimension opérationnelle. Nous avons rajouté un troisième type d'analyse (analyse « autre »), certains d'entre eux ayant une portée plus générale sur la séquence ERC et ne pouvant pas être classés parmi l'une ou l'autre de ces deux catégories. Nous avons également regardé si l'opérationnalité était abordée dans le corps de l'article.

## Résultats

- 12 Le tableau 2 et la figure 2 présentent les résultats de l'analyse. Sur les 30 articles, 25 ont pour sujet la dimension technique des méthodes, aucun n'a pour sujet central la dimension opérationnelle. Nous avons malgré tout identifié un intérêt plus ou moins marqué pour cet aspect pratique dans 7 articles. Cet intérêt se manifeste au travers de recommandations pour davantage de simplicité d'utilisation de la méthode étudiée, ou bien de l'association des acteurs au développement. Seulement 3 articles, parmi les 7 identifiés, font preuve d'une attention pour le sujet en définissant l'opérationnalité comme un des objectifs de développement ou en faisant un critère d'analyse des méthodes existantes. Mais aucun de ces 3 articles n'est consacré spécifiquement à la question de l'opérationnalité, tout au plus, s'agit-il d'un point de discussion ou d'un paragraphe. Cette rapide analyse montre le déséquilibre marqué dans la recherche sur les MAPN, entre dimension technique et dimension opérationnelle. Cela va dans le sens du constat général fait par Rabardel (1995) et confirme l'intérêt de notre recherche.

Tableau 2. Liste d'articles traitant ou abordant la question des méthodes d'évaluation du Pas de perte nette entre 2008 et 2018 (01/08) / List of articles dealing with the issue of mitigation assessment method between 2008 and 2018 (01/08).

Auteur principal et année de publication	Titre de l'article	Revue	Opérationnalité	Type d'analyse
<b>Présentent, analysent des méthodes existantes, étudient des cas d'application</b>				
1	Desvousges <i>et al.</i> , 2018	Habitat and Resource Equivalency Analysis: A Critical Assessment.	Ecological Economics	Autre
2	Bezombes <i>et al.</i> , 2017	Ecological equivalence assessment methods: what possible trade-offs between operationality, scientific basis, and comprehensiveness ?	Environmental Management	Définit des critères d'opérationnalité et analyse les méthodes selon ces critères (et d'autres)
3	Bull <i>et al.</i> , 2014b	Comparing biodiversity offset calculation methods with a case study in Uzbekistan.	Biological Conservation	Technique
4	Levrel <i>et al.</i> , 2012	Compensatory mitigation in marine ecosystems: Which indicators for assessing the "no net loss" goal of ecosystem services and ecological functions?	Marine Policy	Technique
<b>Proposent une nouvelle méthode</b>				
5	Carreras Gamarra <i>et al.</i> , 2018	Accounting for no net loss: A critical assessment of biodiversity offsetting metrics and methods.	Journal of Environmental Management	Technique
6	Yu <i>et al.</i> , 2017	Towards a biodiversity offsetting approach for coastal land reclamation: Coastal management implications.	Biological Conservation	Technique

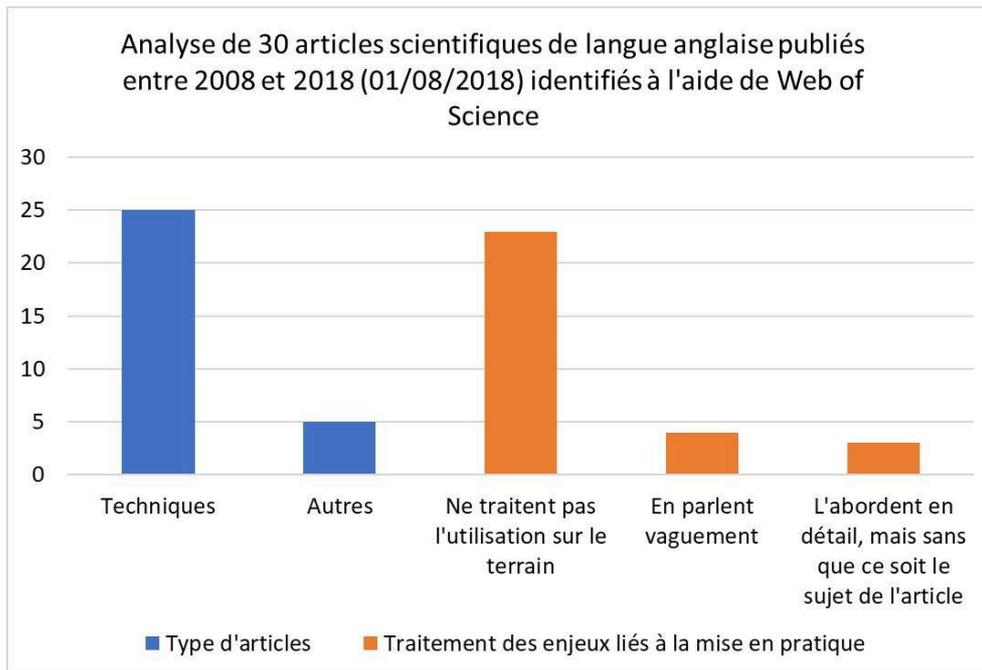
7	Sahley et al., 2017	Quantifying impact reduction due to avoidance, minimization and restoration for a natural gas pipeline in the Peruvian Andes.	Environmental Impact Assessment Review		Technique
8	Bezombes et al., 2018	A set of organized indicators to conciliate scientific knowledge, offset policies requirements and operational constraints in the context of biodiversity offsets.	Ecological Indicators	Se donne des critères d'opérationnalité guidant le choix des indicateurs pour la méthode	Technique
9	Maseyk et al., 2016	A disaggregated biodiversity offset accounting model to improve estimation of ecological equivalency and no net loss.	Biological Conservation	Exprime une exigence de simplicité et de facilité d'accès de la méthode développée pour des acteurs de terrain	Technique
10	Bas et al., 2016	Improving marine biodiversity offsetting: a proposed methodology for better assessing losses and gains.	Journal of Environmental Management		Technique
11	Miller et al., 2015	The development of the Australian environmental offsets policy: from theory to practice.	Environmental Conservation	Souligne que le développement de la MAPN a été réalisé avec les acteurs et aborde la question de la facilité d'usage et des limites éventuelles	Technique
12	Bidaud et al., 2015	Voluntary biodiversity offset strategies in Madagascar.	Ecosystem Services		Technique
13	Cochrane et al., 2015	Modeling with uncertain science: estimating mitigation credits from abating lead poisoning in Golden Eagles.	Ecological Applications		Technique

14	Laitila et al., 2014	A method for calculating minimum biodiversity offset multipliers accounting for time discounting, additionality and permanence.	Methods in Ecology and Evolution		Technique
15	Overton et al., 2013	Net Present Biodiversity Value and the Design of Biodiversity Offsets.	AMBIO		Technique
16	Dalang et Hersperger, 2010	How much compensation do we need? Replacement ratio estimates for Swiss dry grassland biotopes.	Biological Conservation		Technique
17	Moilanen et al., 2009	How Much Compensation is Enough? A Framework for Incorporating Uncertainty and Time Discounting When Calculating Offset Ratios for Impacted Habitat.	Restoration Ecology		Technique
18	Gonçalves et al., 2015	Biodiversity offsets: from current challenges to harmonized metrics.	Current Opinion in Environmental Sustainability		Technique
19	Rowe et al., 2009	A Rapid Method to Score Stream Reaches Based on the Overall Performance of Their Main Ecological Functions.	Environmental Management	Exprime l'objectif d'une méthode prête à appliquer. Méthode testée par les praticiens	Technique
<b>Font des recommandations générales</b>					
20	Bradford, 2017	Accounting for Uncertainty and Time Lags in Equivalency Calculations for Offsetting in Aquatic Resources Management Programs.	Environmental Management		Technique
21	Bull et al., 2016	Seeking convergence on the key concepts in 'no net loss' policy.	Journal of Applied Ecology		Technique

22	Maron et al., 2015	Locking in loss: Baselines of decline in Australian biodiversity offset policies.	Biological Conservation		Technique
23	Moreno-Mateos et al., 2015	The true loss caused by biodiversity offsets.	Biological Conservation		Autre
24	Mann, 2015	Strategies for sustainable policy design : Constructive assessment of biodiversity offsets and banking.	Ecosystem Services	Aborde la difficulté à proposer des méthodes conjuguant simplicité et pris en compte de la complexité écologique	Autre
25	Bull et al., 2014a	Importance of Baseline Specification in Evaluating Conservation Interventions and Achieving No Net Loss of Biodiversity.	Conservation Biology		Technique
26	Habib et al., 2013	Economic and Ecological Outcomes of Flexible Biodiversity Offset Systems	Conservation Biology		Technique
27	Bull et al., 2013	Biodiversity offsets in theory and practice.	Oryx		Technique
28	Quétier et Lavorel, 2011	Assessing ecological equivalence in biodiversity offset schemes : Key issues and solutions.	Biological Conservation		Technique
<b>Autres</b>					
29	Koh et al., 2017	Safeguards for enhancing ecological compensation in Sweden.	Land Use Policy	Rend compte d'une étude de cas dans lequel la MAPN a été jugée comme peu compréhensible et manquant de transparence.	Autre

30	Carver et Sullivan, 2017	How economic contexts shape calculations of "yield" in biodiversity offsetting.	Conservation Biology		Autre
----	--------------------------	---	----------------------	--	-------

Figure 2. Articles scientifiques abordant ou traitant la question des MAPN publiés entre 2008 et 2018 (01-08) / Scientific papers addressing the issue of the MAPN published between 2008 and 2018 (01-08).



## Proposition d'un cadre d'analyse pour l'opérationnalité

### Cadre théorique

- 13 Pour définir l'opérationnalité et se donner des critères, nous choisissons de nous appuyer sur le cadre théorique fourni par l'ergonomie et de mobiliser les approches complémentaires de ses deux grands courants (Darses et Montmollin, 2012).
- 14 Un courant de l'ergonomie (« human factors ») s'intéresse en particulier aux interfaces hommes-machines avec le but d'« assurer la compatibilité entre les caractéristiques des utilisateurs et les caractéristiques des produits et systèmes techniques en vue de faciliter leur usage, à la fois sous l'angle de leur intégration technique et sociale et sous l'angle de leur appropriation » (Barcenilla et Bastien, 2009, p. 312). Les ergonomes appartenant à ce courant ont développé des concepts qui nous ont semblé pertinents pour mieux comprendre ce que recouvre la notion d'opérationnalité. Il s'agit de l'utilisabilité, l'utilité et l'acceptabilité, permettant de caractériser des outils utilisés par un opérateur. La notion d'utilisabilité est centrale. Elle fait son apparition en 1979 (Geisen et Bergstrom, 2017 ; Shackel, 2009) et a fait l'objet de multiples travaux et développements. Barcenilla et Bastien (2009, p. 313)

traduisent ainsi la définition donnée par Shackel en 1991 : « capacité, en termes fonctionnels humains, à permettre une utilisation facile et effective par une catégorie donnée d'utilisateurs, avec une formation et un support adapté, pour accomplir une catégorie donnée de tâches, à l'intérieur d'une catégorie spécifique de contextes ». Bien qu'étant le sujet principal de ses travaux, Nielsen (1993) explique que l'utilisabilité ne constitue qu'une partie seulement d'une question plus large qui est l'acceptabilité globale d'un système par ses utilisateurs et les acteurs avec lesquels il interagit. Un système, comme une MAPN par exemple, serait acceptable par ses utilisateurs s'il l'est sur le plan pratique d'une part et sur le plan social d'autre part. Il décompose l'acceptabilité pratique en l'utilité de l'objet ou du système (le fait que les fonctions du système permettent théoriquement de réaliser les opérations attendues) et l'utilisabilité, telle qu'elle vient d'être définie, ainsi qu'en d'autres critères tels que le coût, la compatibilité, la fiabilité etc. Nielsen et Shackel proposent plusieurs critères d'utilisabilité, initialement pensés pour la conception des systèmes informatisés, mais aisément transposables dans notre contexte d'étude. Enfin, l'acceptabilité sur le plan social dont parle Nielsen, ou encore acceptabilité socio-organisationnelle n'est pas définie très clairement en ergonomie. (Terrade et al., 2009). Elle fait référence selon Dubois et Bobillier-Chaumon (2009), aux normes sociales, à l'influence sociale, à l'image de soi, mais aussi au contexte organisationnel dans lequel se trouve l'utilisateur, particulièrement s'il est dans un contexte professionnel.

- 15 L'autre courant de l'ergonomie (dit « de l'activité ») est centré sur l'analyse des activités des opérateurs (Darses et Montmollin, 2012), les opérateurs étant dans notre cas les utilisateurs potentiels des MAPN, c'est-à-dire les aménageurs, les bureaux d'études et les services de l'État chargés d'instruire les dossiers d'autorisation de projets. Ce courant ne produit pas des résultats à portée généraliste comme l'ergonomie « human factors », mais permet de mieux cerner la situation de travail et son contexte organisationnel. Sur le plan méthodologique, elle recourt à l'observation des opérateurs en situation d'activité ou quand cela n'est pas possible, à des entretiens avec les opérateurs au cours desquels ils décrivent leur activité.

## Méthode

- 16 Nous avons transposé les concepts d'utilité, d'utilisabilité et d'acceptabilité socio-organisationnelle au cas des MAPN en appliquant les définitions qui en sont faites et les critères qui leur sont associés dans la littérature. Cela semblant pertinent sur le plan théorique, nous avons croisé cette première approche avec les méthodes de l'ergonomie de l'activité afin de vérifier et compléter la liste de critères établis à partir de la bibliographie. Nous avons en particulier profité de l'organisation d'atelier de formation à certaines MAPN : les méthodes MERCIe et MERCI-Cor développées par notre équipe préalablement au travail de recherche dont il est question dans cet article, pour observer les utilisateurs en situation d'appliquer ces méthodes. Par ailleurs, nous avons réalisé une série d'entretiens auprès de ces différents acteurs (bureaux d'études, responsables environnement chez des aménageurs et agents des services de l'État instruisant ou expertisant les dossiers d'autorisation), répartis dans quatre régions françaises différentes (Occitanie, Grand-Est, Nouvelle Aquitaine et Guadeloupe). Trente personnes ont été interrogées de façon semi-directive sur leur manière de mettre en œuvre la séquence ERC en s'appuyant sur l'exemple d'un projet ou d'un dossier récent qu'ils avaient eu à traiter. L'objectif de ces entretiens était de mieux cerner leurs

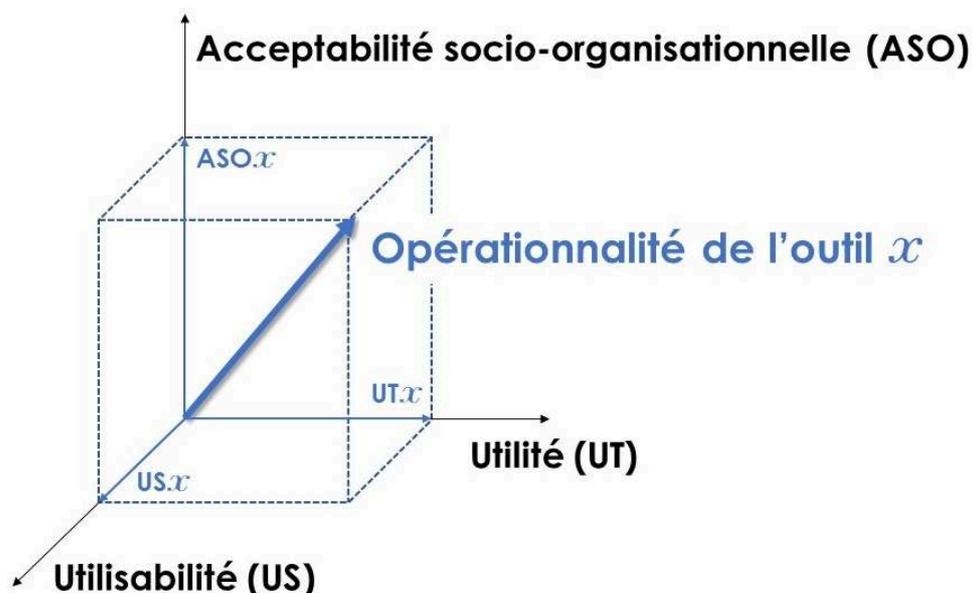
situations de travail, leurs moyens et leurs contraintes ainsi que l'utilisation ou non de MAPN. Ces entretiens ont eu lieu de février 2018 à février 2019. La finalité des entretiens et des observations en atelier était de confirmer la pertinence des critères transposés depuis la littérature en ergonomie et de formuler éventuellement des critères supplémentaires spécifiques au contexte de recherche.

- 17 Nous avons en parallèle réalisé une rapide étude bibliographique au sujet des outils d'aide à la décision (OAD), développés dans des contextes similaires. En effet, les OAD en agriculture, comme en planification territoriale, en gestion de ressources naturelles ou les indicateurs de biodiversité ou de développement durable sont aussi conçus par des scientifiques. Ils reposent sur des connaissances scientifiques, particulièrement des sciences du vivant et de l'aménagement du territoire, et sont appliqués dans des situations complexes. En outre, le constat de la prépondérance de la dimension technique sur la dimension opérationnelle dans la littérature scientifique peut également être fait pour ces OAD. En effet, Pelzer (2017) souligne que la plupart des chercheurs travaillant sur les outils d'aide à la planification se préoccupent surtout des aspects instrumentaux au détriment de l'utilité de ces outils, malgré l'intérêt grandissant pour cet aspect. Prost et al. (2011) ont montré au travers d'une revue de littérature sur la conception de modèles servant de base aux outils d'aide à la décision en agronomie, que les chercheurs affichent rarement de l'intérêt pour l'usage attendu du modèle. Des constats similaires sont également posés pour des indicateurs de biodiversité (Raubaud, 2016 ; Failing et Gregory, 2003), ou de développement durable (Rametsteiner et al., 2011). À ce constat, s'ajoute l'observation de la faible utilisation de ces outils sur le terrain (Pelzer, 2017 ; Rose et al., 2017, 2016 ; van Delden et al., 2011 ; McIntosh et al., 2011 ; Prost et al., 2011 ; Uran et Janssen, 2003). Plusieurs publications abordent ou détaillent les causes de la non-utilisation de ces outils. Afin de vérifier la pertinence de nos critères et pour certains d'entre eux, leur validité hors de la question des MAPN, nous établissons une correspondance entre nos critères d'opérationnalité et les causes de non utilisation des OAD.

## Résultats : définition et critères d'opérationnalité

- 18 Nous proposons de définir l'opérationnalité des MAPN comme la résultante de trois composantes que sont l'utilité, l'utilisabilité et l'acceptabilité socio-organisationnelle (voir figure 3). Ainsi, une méthode opérationnelle est une méthode qui permet à l'utilisateur de réaliser l'opération attendue (utilité), facilement et de façon efficiente (utilisabilité), tout en étant adaptée au contexte dans lequel l'utilisateur exerce son activité (acceptabilité socio-organisationnelle).

Figure 3. Les trois composantes de l'opérationnalité des MAPN / The three components of the operonality of the MAPN.



- 19 La notion d'utilité implique de bien cerner quelles sont les opérations réalisées par l'utilisateur et ce qu'il attend du système pour leur accomplissement. Dans notre cas d'étude, les différents acteurs de la séquence ERC n'effectuent pas exactement les mêmes opérations vis-à-vis de l'exigence d'absence de perte nette. De manière générale et à titre d'exemple, un agent des services instructeurs vérifie que les mesures compensatoires présentées dans le dossier respectent cette exigence alors qu'un bureau d'études conçoit les mesures compensatoires dans le respect de cette exigence. Cela nous incite à penser que cette composante est particulièrement pertinente s'agissant des MAPN pour définir l'opérationnalité. Nos observations de terrain et les entretiens nous ont conduits à confirmer l'intérêt présenté par la notion d'acceptabilité socio-organisationnelle. En effet, la méthode développée par un bureau d'étude peut être adoptée par d'autres bureaux d'études, ou être imposée par l'aménageur à son prestataire au motif que l'État l'aurait « validée ». Il s'agit là de facteurs extérieurs à l'outil lui-même, propres à son contexte d'utilisation, qui rentrent en compte dans son adoption ou non par les utilisateurs.
- 20 Nous associons au total 15 critères d'opérationnalité, répartis entre chaque composante. Le tableau 3 récapitule ces critères, les définit et précise leur origine : la bibliographie ou notre propre analyse issue des ateliers et entretiens. Certains critères ont une portée généraliste, d'autres sont propres à la séquence ERC et précisément aux MAPN.

Tableau 3. Proposition de critères d'opérationnalité pour les MAPN / Proposal for operonality criteria for the MAPN.

Composante de l'opérationnalité	Définition	Critères	Références	Définition	Portée d'application

Utilité	Aptitude d'un bien à satisfaire un besoin ou à créer les conditions favorables à cette satisfaction (Larousse)	Périmètre fonctionnel correspondant aux tâches attendues	Nielsen, 1993	Les fonctions du système permettent théoriquement de réaliser les tâches attendues.	Généraliste
Utilisabilité	<i>Capacité, en termes fonctionnels humains, à permettre une utilisation facile et effective par une catégorie donnée d'utilisateurs, avec une formation et un support adapté, pour accomplir une catégorie donnée de tâches, à l'intérieur d'une catégorie spécifique de contextes</i> (Shackel, 1991 traduit par Barcenilla et Bastien, 2009)	Facilité d'apprentissage	Nielsen, 1993 ; Shackel, 2009	L'apprentissage de la méthode ne requiert pas un niveau de compétence que les utilisateurs n'auraient pas, ni un temps de formation trop long (par exemple : une journée maximum)	Généraliste
		L'efficacité	Nielsen, 1993 ; Shackel, 2009	Le temps mis par les utilisateurs expérimentés de la méthode pour obtenir les résultats d'évaluation de l'atteinte de l'objectif de pas de perte nette de biodiversité est minimum, ou jugé satisfaisant par les utilisateurs.	Généraliste
		Facilité de mémorisation	Nielsen, 1993	Pour les utilisateurs ne se servant pas de la méthode au quotidien, il n'est pas nécessaire de retourner à chaque utilisation vers le guide pratique de la méthode.	Généraliste

		Erreurs d'utilisation	Nielsen, 1993	Il n'y a pas d'ambiguïté sur l'interprétation et l'application des indicateurs écologiques, coefficients et formules composant la méthode.	Généraliste
		Satisfaction subjective	Nielsen, 1993 ; Shackel, 2009	L'utilisateur se dit satisfait de l'utilisation de la méthode, elle correspond à ces attentes, elle n'engendre pas d'inconfort, de frustration, d'effort personnel, de fatigue.	Généraliste
		Flexibilité	Shackel, 2009	La méthode peut s'adapter à un certain taux de variation des tâches et de l'environnement par rapport à ce qui est prévu d'une part, et à une certaine diversité des contextes écologiques des projets d'autre part.	Généraliste
		Disponibilité des données	Bezombes et al., 2017	La méthode fonctionne avec des données existantes et facilement accessibles, ou ne nécessitant pas de procédures de collecte coûteuse.	Généraliste

Acceptabilité socio-organisationnelle	Fait référence aux normes sociales, à l'influence sociale, à l'image de soi, mais aussi au contexte organisationnel dans lequel se trouve l'utilisateur, particulièrement s'il est dans un contexte professionnel (Dubois et Bobillier-Chaumon, 2009)	Fondements scientifiques	Bezombes et al., 2017 ; Truchon et al., 2018	L'approche générale, les indicateurs écologiques, coefficients et formule de calculs reposent sur des résultats scientifiques. La méthode a été publiée dans une revue internationale à comité de lecture.	Généraliste
		Reconnaissance institutionnelle	Hypothèse	La méthode fait l'objet de la validation d'une institution de type AFB ou CNPN, ou est recommandée par les services de l'État.	Propre aux MAPN
		Conformité réglementaire	Truchon et al., 2018	La méthode est cohérente avec les principes réglementaires français.	Propre aux MAPN
		Acceptation des résultats du dimensionnement	Hypothèse	Le dimensionnement proposé par la méthode est suffisamment élevé pour satisfaire aux objectifs de réduction des impacts affichés par la séquence ERC, mais pas trop élevé pour rester applicable.	Propre aux MAPN

		Coût	Nielsen, 1993	Le coût doit être adapté au projet et à son contexte. Est-ce que la méthode nécessite des équipements spéciaux, des temps de présence minimum sur le terrain ; l'achat de données, etc. ?	Généraliste
		Représentation de la séquence ERC	Hypothèse	La représentation et l'interprétation de la réglementation française véhiculée par la méthode correspondent à celle de l'utilisateur.	Propre aux MAPN
		Transparence, compréhension des résultats produits par la méthode	Hypothèse	Les résultats issus de la méthode sont compréhensibles par les décideurs (aménagement, services de l'État)	Propre aux MAPN

- 21 Le tableau 4 établit un parallèle entre les causes de non utilisation des OAD environnementaux et agricole et nos critères d'opérationnalité. Tous nos critères de portée généraliste peuvent être rattachés aux causes de non-utilisation identifiées dans la littérature, excepté le critère de satisfaction subjective, ce qui conforte à nos yeux la pertinence de nos critères. En outre, cela établit un lien direct entre la non utilisation de ces outils produits par la recherche et leur manque d'opérationnalité, et renforce l'intérêt de notre sujet de recherche.

Tableau 4. Parallèle entre causes de non-utilisation d'outils d'aide à la décision recensés dans la bibliographie sur les OAD agronomiques, environnementaux et de planification et critères d'opérationnalité / Association of operationality criteria with reasons of non-use of agronomic, environmental and planning decision support tools identified in the bibliography.

Causes de non utilisation	Référence bibliographique	Type d'outil d'aide à la décision	Critère d'opérationnalité
---------------------------	---------------------------	-----------------------------------	---------------------------

Système trop détaillé, trop précis	Uran et Janssen, 2003 te Brömmelstroet, 2017	Environmental Planification	Facilité d'apprentissage, efficacité
Prend trop de temps à utiliser	Uran et Janssen, 2003	Environmental	Efficacité
Coûte trop cher		Environmental	Coût
Système trop compliqué, pas assez compréhensible	Uran et Janssen, 2003 te Brömmelstroet, 2017 Vonk et al., 2005 Prost et al., 2011	Environmental Planification Agronomique	Facilité d'apprentissage, facilité de mémorisation
Trop rigide	te Brömmelstroet, 2017	Planification	Flexibilité
Trop lent	te Brömmelstroet, 2017	Planification	Efficacité
Trop d'incertitude dans les résultats produits	Uran et Janssen, 2003	Environmental	Satisfaction subjective
Résultats ou fonctionnement pas appropriés à la prise de décision ou aux besoins des utilisateurs	Uran et Janssen, 2003 Vonk et al., 2005 Geertman 2006 te Brömmelstroet, 2017 Prost et al., 2011	Environmental Planification Agronomique	Utilité
Indisponibilité des données d'entrée	Prost et al., 2011	Agronomique	Disponibilité des données
Complexité des interfaces, design inapproprié	Uran et Janssen, 2003 Vonk et al., 2005 Prost et al., 2011	Environmental Planification Agronomique	Facilité d'apprentissage, facilité de mémorisation, satisfaction subjective
Manque de confiance sur les résultats produits	Prost et al., 2011	Agronomique	Fondements scientifiques

Pas assez transparent	te Brömmelstroet, 2017	Planification	Transparence
Accompagnement, soutien, attitude de l'environnement de travail, de l'encadrement	Vonk et al., 2005	Planification	Critères d'acceptabilité socio-organisationnelle

## Analyse théorique de l'opérationnalité des méthodes développées en France

### Matériel et méthodes

- 22 Le cadre d'analyse de l'opérationnalité défini et proposé ci-avant nous permet de procéder à une analyse de l'opérationnalité des méthodes françaises, qualifiée de théorique car réalisée à partir des documents accompagnant les méthodes. Nous distinguons deux catégories de MAPN en France : les méthodes des bureaux d'études développées au cas par cas et présentées dans les dossiers d'autorisation des projets d'une part, et les méthodes développées par des équipes de recherche ou d'experts en lien avec des institutions ou des acteurs de terrain dans le cadre de la dynamique évoquée en introduction d'autre part. Parmi les méthodes des bureaux d'études, certaines sont connues et utilisées très régulièrement (méthode ECO-MED établie par le bureau d'études éponyme ou encore la méthode miroir développée par le bureau d'études Biotope), voire recommandées par certains services instructeurs. Nous avons jugé préférable de les exclure du champ de notre analyse pour la raison qu'elles sont développées par un bureau d'études, pour sa propre utilisation. Ainsi, on peut considérer qu'utilisateur et concepteur sont confondus et nous faisons l'hypothèse qu'elles sont, par définition, opérationnelles. Nous avons identifié 6 méthodes développées par des équipes de recherche (voir tableau 5).
- 23 Nous avons ajouté à ces deux catégories de MAPN une méthode développée sous le pilotage du CGDD par une équipe d'experts pour la compensation des dommages accidentels de faible gravité (Gaubert et al., 2017). Cette méthode sort du champ de la séquence ERC, mais les concepts et connaissances scientifiques sur lesquels elle repose sont les mêmes que pour les MAPN, son dispositif de conception est similaire à celui des six autres méthodes, et les utilisateurs ne font pas partie de l'équipe de développement. Nous avons également ajouté le travail en cours du groupe de travail national MTES-AFB. Il s'agit de la formulation des caractéristiques attendues de la méthode, ainsi que les paramètres d'analyse de l'opérationnalité des méthodes existantes. Toutes ces méthodes ne sont pas au même stade de développement : certaines sont encore en construction tandis que d'autres ont été validées et publiées.

Tableau 5. Les méthodes françaises d'évaluation des mesures compensatoires (MAPN) / The French mitigation assessment methods.

Type de milieu	Méthode	Institutions de rattachement des auteurs	Année de parution	Supports associés	Stade	Type d'évaluation de l'équivalence écologique
Milieu marin	Mitimed	CEFE-Créocéan	2017	Thèse	Publiée – utilisée sur un projet	Quantitative
Milieu marin –récif corallien	Merci-Cor	CEFE-Marex	2017	Guide (50 p.) + ateliers de formation	Expérimentale	Quantitative
Zones humides	MERCie	CEFE – AFB (ex-Onema)	2016	Rapport (85 p.) + ateliers	Expérimentale	Quantitative
Zones humides continentales	Méthode nationale fonctions ZH (MNFZH)	AFB – MNHN	2016	Guide (190 p.) + tableur + formation	Publiée – recommandée par certains services instructeurs	Qualitative
Zones humides continentales	Méthode nationale d'aide au dim. ZH	AFB – MNHN	-	-	En cours	Quantitative
Tous milieux	Méthode d'évaluation de l'équivalence écologique	IRSTEA – EDF – MNHN	2017	Thèse + article scientifique	Publiée – testée sur des projets EDF – en cours d'amélioration	Qualitative
Tous milieux	Méthodes des bureaux d'études (BE)	Bureaux d'études naturalistes	-		Utilisées au cas par cas dans les dossiers d'autorisation	Quantitatives et qualitatives
Tous milieux	Méthode MEB dommages écologiques de moindre gravité	CGDD, Cerema, Biotope	2017	Guide (85 p.)	Présentée au CNPN	Quantitative

- 24 Ces méthodes sont accompagnées de documents écrits qui exposent et argumentent leur fonctionnement et relatent, de façon plus ou moins détaillée, le processus de développement. Ces documents peuvent être des thèses, des guides d'utilisation, des rapports rendant compte de leur conception, et des articles scientifiques. Pour le groupe de travail national MTES-AFB, il s'agit de la lettre de mission émise par le MTES aux membres du groupe ainsi que la présentation de l'analyse des méthodes existantes produite par l'AFB, lors de la première réunion du groupe. Nous avons recherché dans tous ces documents à déterminer comment était prise en compte l'opérationnalité. Tout d'abord, est-ce que l'opérationnalité est mentionnée comme objectif de développement ? Ensuite, nous avons tenté d'identifier d'éventuelles définitions et critères d'opérationnalité. En leur absence, nous avons cherché à comprendre au travers des explications éventuellement fournies, ce que signifiait le terme opérationnalité pour les concepteurs. Cela nous a permis de reconstituer une liste de critères d'opérationnalité vue par les concepteurs de MAPN (voir tableau 6).
- 25 Nous avons également voulu déterminer (quand l'opérationnalité est affichée comme un objectif) si les concepteurs mentionnent des références bibliographiques sur lesquelles ils se seraient appuyés pour atteindre cet objectif, et s'ils ont procédé à des tests visant spécifiquement à évaluer le degré d'opérationnalité de leur méthode, en vue de procéder à d'éventuels ajustements.
- 26 Enfin, nous avons reclassé les critères énoncés par les concepteurs (tableau 3) selon notre proposition de grille de critères dans le tableau 7 pour pouvoir rapprocher la vision de l'opérationnalité par les concepteurs de celle développée dans notre cadre d'analyse. Cette reclassification est réalisée à partir des explications et commentaires des critères dans les documents associés aux méthodes. Cela a nécessité, pour certains critères des concepteurs, de les interpréter, car leur formulation ne coïncidait pas avec les définitions des critères retenus dans notre approche. C'est le cas en particulier pour les critères Erreurs d'utilisation et Flexibilité. Le critère Public visé issu du groupe de travail MTES-AFB n'a pas été reclassé, en l'absence d'explications claires sur sa signification.

## Résultats

- 27 Les résultats de cette analyse documentaire sont détaillés dans le tableau 6. Ils montrent que les concepteurs affichent tous pour objectif de proposer un outil qualifié d'« opérationnel ». L'objectif est toujours formulé et parfois détaillé. Il est dans certains cas accompagné d'explications ou de critères explicites d'opérationnalité, qui ne sont pas, pour la plupart d'entre eux (sauf le critère de rapidité et de coût pour deux méthodes) justifiés par des références bibliographiques. Sur l'ensemble de ces documents, on identifie 6 critères pour que la méthode proposée soit considérée comme opérationnelle :
- Les données d'entrée nécessaires sont facilement disponibles
  - La méthode est adaptée au niveau de compétence de ses utilisateurs
  - Son utilisation est rapide
  - Elle est fondée sur le plan scientifique
  - Elle est adaptée à la variété des cas qui peuvent exister sur le terrain
  - Elle est peu coûteuse à mettre en œuvre

- 28 Un septième critère relatif à l'absence d'Erreurs d'utilisation pourrait être ajouté. Cependant, il repose sur une interprétation des propositions des concepteurs qui peut être jugée trop hypothétique (voir tableau 7). Aussi, il est préférable de ne pas l'inclure dans la liste des 6 critères qui vient d'être établie.
- 29 Notre analyse montre aussi qu'aucun des documents ne rend compte de tests spécialement dédiés à l'opérationnalité, sauf pour le critère de rapidité de la MNFZH (Méthode Nationale d'identification des Fonctions des Zones Humides).
- 30 Cela nous conduit à faire l'hypothèse que les concepteurs ont choisi et appliqué ces critères de façon plus ou moins intuitive, pour reprendre à notre compte le constat fait par Hak et al. (2012) dans un autre contexte, celui de l'évaluation de la qualité des indicateurs de développement durable. En ce qui concerne les méthodes MERCIe et MERCI-Cor, dont nous avons conduit le développement, nous pouvons confirmer cette hypothèse. Nous nous sommes seulement appuyés sur des collaborations avec les acteurs de terrain et sur notre propre expérience. Pour la méthode développée par Bezombes et al., les concepteurs ont recherché dans la littérature des références pour traiter l'objectif d'opérationnalité qu'ils s'étaient donné, mais ils n'en ont trouvé qu'une seule (voir tableau 5) et ont donc aussi travaillé en se fiant à leur intuition (Bezombes, Com. Pers.). Nous pouvons supposer qu'il en est de même pour la plupart des autres équipes de conception.

Tableau 6. Les critères d'opérationnalité énoncés par les concepteurs dans la littérature associée aux MAPN françaises / Operationality criterias stated by the designers in the literature associated with the French MAPN.

Méthode	Formulation de l'objectif d'opérationnalité	Existence de critères d'opérationnalité	Origine des critères d'opérationnalité	Tests	Source documentaire
Mitimed	Formulation explicite mais pas détaillée : « Approche opérationnelle », « méthode opérationnelle »	Non	Pas de critère	Tests sur 2 projets réels par les concepteurs de la méthode	Bas et al., 2016
Merci-Cor	Formulation explicite, mais pas détaillée : « approche très opérationnelle »	Renvoie au rapport MERCIe : même démarche de conception.	Pas de critère	Test sur un projet fictif	Pinault et al., 2017

MERCIE	Formulation explicite mais pas détaillée : « Approche opérationnelle »	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Ressources documentaires disponibles</li> <li>. Niveau de compétence</li> <li>. Temps pour l'application de la méthode</li> </ul>	Pas mentionnée	Tests sur 5 projets réels, par les concepteurs, avec des utilisateurs.	Mechin et Pioch, 2016
Méthode nationale fonctions ZH (MNFZH)	Formulation explicite, détaillée au travers des critères listés ci-contre : « une méthode conçue pour être opérationnelle » « La méthode doit être pragmatique, opérationnelle et adaptée à des situations variées » (p. 13)	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Adaptée à des situations variées</li> <li>. Rapidité de mise en œuvre</li> <li>. Objectivité et reproductibilité</li> <li>. Indépendance maximale à la phénologie et aux variations saisonnières</li> <li>. Non recours à des spécialistes ou experts</li> <li>. Disponibilité des informations sur tout le territoire métropolitain</li> </ul>	Pas mentionnée sauf référence bibliographique pour le critère Rapidité	Tests sur 227 sites par 22 personnes. Protocole des tests des critères d'opérationnalité : . Mesure du temps pour le critère Rapidité	Gayet et al., 2016 a,b

<p>Méthode d'évaluation de l'équivalence écologique</p>	<p>Formulation explicite et détaillée :</p> <p>Le cadre méthodologique devra être « opérationnel (Laycock et al., 2013) afin de pouvoir être utilisé par les acteurs impliqués dans la compensation dans un temps et un coût raisonnables en cohérence avec leurs compétences techniques » (p. 31)</p> <p>« Globalement, l'approche suivie dans ces travaux de thèse avait pour but d'aboutir à un cadre méthodologique à la fois opérationnel (utilisable facilement par les acteurs de la compensation tant d'un point de vue technique financier et temporel) et [...] » (Bezombes, 2017)</p>	<p>. Faibles temps et coût d'implémentation</p> <p>. Utilisable par des non-spécialistes dans un contexte réel</p> <p>. Sélection des indicateurs par l'utilisateur ou prédéfinis (a)</p> <p>. Disponibilité des données (b)</p> <p>. Rapidité d'implémentation (c)</p> <p>. Échangeabilité (du type d'écosystème entre la zone aménagée et la zone de compensation] (d)</p> <p><i>Les critères (a), (b), (c), et (d) ont été définis dans le cadre de l'analyse des MAPN existantes au niveau international</i></p>	<p>Laycock et al., 2013 pour le faible temps et le faible coût d'implémentation</p>	<p>Tests sur 2 projets réels par les concepteurs</p>	<p>Bezombes et al., 2018</p> <p>Bezombes et al., 2017</p> <p>Bezombes, 2017</p>
---	--	--	---	--	---

<p>Méthode MEB dommages écologiques de moindre gravité</p>	<p>Formulation explicite et détaillée des caractéristiques attendues de la méthode :</p> <p>« La méthode qui sera mobilisée est qualifiée de "simple" c'est-à-dire qu'elle doit être, selon le sens littéral, intuitive, facile à comprendre et à mettre en œuvre. La compréhension est facilitée par l'emploi de termes accessibles à tous. » (p. 61)</p> <p>La méthode « doit être "simple, rapide, robuste et répliquable" (p. 9)</p>	<p>Simple : intuitive, facile à comprendre et à mettre en œuvre</p> <p>Rapide</p> <p>Robuste</p> <p>Répliquable (applicable à tous types de milieux, de territoires, de dommages écologiques)</p>	<p>Pas mentionnée</p>	<p>Pas de mention de test sur des cas réels.</p> <p>Applications sur des cas fictifs.</p>	<p>Gaubert et <i>al.</i>, 2017</p>
--	--	---	-----------------------	---	------------------------------------

GT national CGDD-AFB	Formulation explicite et détaillée des caractéristiques attendues de la méthode : "opérationnelle, pragmatique, transparente, compréhensible, contrôlable et évolutive"	. Indicateurs utilisés pour le calcul (nombre) . Données milieux nécessaires . Public visé . Modalités de choix des indicateurs (imposé ou au choix) . Modalités de choix des valeurs associés aux indicateurs <i>Les critères ont été définis dans le cadre de l'analyse des MAPN existantes en France et au niveau international</i>	Pas mentionnée		Monnoyer-Smith et Aubel, 2018 ; Truchon et al., 2018
-------------------------	--	---	----------------	--	--

- 31 Le tableau 7 établit une correspondance entre les critères d'opérationnalité énoncés par les concepteurs de MAPN et la liste de critères découlant du cadre d'analyse développé dans notre recherche.
- 32 Il en ressort que le critère qui est le mieux identifié est le critère d'Efficiencia, assimilé pour les concepteurs de MAPN à l'exigence de rapidité d'utilisation d'une méthode. La Facilité d'apprentissage, les Erreurs d'utilisation, la Flexibilité et la Disponibilité des données sont également des critères bien pris en compte par les concepteurs, bien que partiellement. En effet, pour le critère Facilité d'apprentissage, les concepteurs ne le voient que sous l'angle du niveau de compétence des utilisateurs et ne mentionnent pas par exemple, la durée des formations. Or ce paramètre a également son importance quand les utilisateurs ont des emplois du temps très contraints pour lesquels il n'est pas évident de dégager du temps pour de la formation. De même, le critère Erreurs d'utilisation n'est pris en compte qu'au travers des modalités de choix des indicateurs et de leurs valeurs. Les erreurs peuvent aussi provenir de termes aux définitions ambiguës, d'instructions d'utilisation pas assez détaillées, etc.
- 33 Nous constatons que tous ces critères correspondent à des critères d'utilisabilité. Cela indique que la représentation de l'opérationnalité chez les concepteurs est proche de ce concept. Cependant, il reste deux critères d'utilisabilité, la Facilité de mémorisation et la Satisfaction de l'utilisateur qui sont totalement ignorés. Nous n'avons pas d'autre hypothèse pour l'expliquer qu'un simple « oubli » lors de la construction des méthodes de la part des concepteurs, démontrant de ce fait l'intérêt de notre approche.

- 34 Les autres critères exprimés par les concepteurs de MAPN françaises se rapportent à l'acceptabilité socio-organisationnelle, qui reste cependant faiblement représentée au travers de trois critères seulement sur sept. Le critère Fondements scientifiques n'est formulé que dans deux cas, au travers des mots tels que « robuste », « objectivité et reproductibilité ». Pour les cinq autres méthodes, nous supposons qu'il est considéré comme implicitement satisfait dans la mesure où la conception des MAPN est confiée à des scientifiques.
- 35 L'utilité n'est également pas abordée. Nous pouvons l'expliquer par le fait que le développement des MAPN est en lien avec une demande clairement exprimée par les institutions et que ce critère est considéré implicitement comme satisfait, sans tenir compte de la nuance induite par une attention plus précise accordée aux opérations réalisées par les acteurs.
- 36 Enfin, certains mots aux significations proches correspondent à des critères différents, traduisant le manque de références communes. Ainsi, « répliquable » pour certains concepteurs correspondra au critère de Flexibilité, car la méthode doit être utilisable dans des cas différents, et « reproductible » traduira l'objectif de Fondements scientifiques, la méthode devant produire des résultats identiques si des utilisateurs différents l'appliquent sur un même cas.

Tableau 7. Reclassification des critères énoncés par les concepteurs de MAPN selon notre proposition de critères d'opérationnalité / Reclassification of the criteria identified by the MAPN designers according to our proposal for operability criteria.

	Critère proposé	Critère des concepteurs de MAPN en France
Utilité	Périmètre fonctionnel correspondant aux tâches attendues	
Utilisabilité	Facilité d'apprentissage	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Niveau de compétence</li> <li>. Non recours à des spécialistes ou experts</li> <li>. Utilisable par des non-spécialistes dans un contexte réel</li> <li>. Simple - intuitive, facile à comprendre</li> </ul>
	L'efficience	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Temps pour l'application de la méthode</li> <li>. Rapidité de mise en œuvre</li> <li>. Faible temps</li> <li>. Rapide</li> <li>. Indicateurs utilisés pour le calcul (nombre)</li> <li>. Rapidité d'implémentation</li> <li>. Simple - facile à mettre en œuvre</li> </ul>

	Facilité de mémorisation	
	Erreurs d'utilisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Modalités de choix des indicateurs</li> <li>. Modalités de choix des valeurs associés aux indicateurs</li> <li>. Sélection des indicateurs</li> </ul>
	Satisfaction	
	Flexibilité	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Réplicable</li> <li>. Adaptée à des situations variées</li> <li>. Indépendance maximale à la phénologie et aux variations saisonnières</li> </ul>
	Disponibilité des données	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Ressources documentaires disponibles</li> <li>. Données milieux nécessaires</li> <li>. Disponibilité des informations sur tout le territoire métropolitain</li> <li>. Disponibilité des données</li> </ul>
Acceptabilité socio-organisationnelle	Fondements scientifiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Objectivité et reproductibilité</li> <li>. Robuste</li> </ul>
	Reconnaissance institutionnelle	
	Conformité réglementaire	Echangeabilité
	Acceptation des résultats du dimensionnement	
	Coût	Faible coût d'implémentation
	Représentation de la séquence ERC	
	Transparence, compréhension des résultats produits par la méthode	

## Discussion

- 37 Les résultats de cette analyse nous conduisent à conclure que l'objectif d'opérationnalité des MPAN est traité de façon intuitive et partielle. Nous formulons plusieurs hypothèses pour expliquer la prise en compte partielle de l'opérationnalité. Cela peut être lié à un problème des compétences mobilisées dans les équipes de conception des MAPN en France. Les concepteurs ont des profils d'écologues : les connaissances issues de l'ergonomie ne font généralement pas partie de leur bagage, et

l'opérationnalité est envisagée de façon intuitive. En outre, ils ont majoritairement des parcours de chercheurs.

- 38 Cela nous amène à notre deuxième hypothèse : la difficulté du dialogue et des échanges à l'interface entre recherche et action, sujet largement abordé dans les publications scientifiques (Cook et al., 2013 ; Coreau et al., 2013 ; Granjou et al., 2013 ; Weichselgartner et Kaspersen, 2010 ; Holmes et Clark, 2008). Les sphères de la recherche et de l'action évoluent dans des contextes différents et font face à des contraintes également différentes. De ce fait, il n'est pas évident pour des chercheurs d'avoir une vision exhaustive des besoins opérationnels des utilisateurs des MAPN. Cette possibilité d'une vision plus ou moins erronée des utilisateurs par les concepteurs n'est pas propre au cas des MAPN. De nombreuses publications recommandent ainsi d'associer les utilisateurs à la conception des OAD qui leur sont destinés (Pelzer, 2017 ; Cerf et al., 2012 ; Prost et al., 2011 ; Barcenilla et Bastien, 2009 ; Uran et Janssen, 2003 ; Gould, 1988). Ces recommandations s'inscrivent dans le courant du « design centré utilisateur » qui s'est massivement développé depuis ces trente dernières années, en particulier dans le domaine des technologies de l'information et de la communication, et qui a contribué à améliorer l'opérationnalité des systèmes ainsi conçus (Gulliksen et al., 2003). Enfin, le manque de moyens peut aussi être une explication dans la mesure où cela peut restreindre les équipes de conception : le budget n'est pas suffisant pour y intégrer des experts de l'opérationnalité. De plus, conduire des tests avec les utilisateurs implique de leur part de mobiliser du temps : autant de temps que ne pourra pas facturer un bureau d'études, ou du retard pris dans le traitement des dossiers pour les agents des services instructeurs en sous-effectif (Semal et Guillet, 2017). Pourtant, ce temps mobilisé sur ce type de test ne saurait être assimilé à du temps « perdu » dans la mesure où il apporterait une vraie plus-value aux outils en vue d'une meilleure et réelle utilisation. Ainsi, convaincre les commanditaires des projets de développement de MAPN de prévoir les moyens nécessaires paraît constituer un levier intéressant en vue d'améliorer leur opérationnalité.
- 39 L'analyse proposée dans cet article est innovante dans le domaine des MAPN et exploratoire à ce stade. Pour la compléter, nous pensons qu'il serait utile : (i) de réaliser des entretiens avec les concepteurs de ces méthodes sur leur processus de conception, (ii) de procéder à des tests de l'opérationnalité des méthodes avec les utilisateurs en situation. Sur ce deuxième point, cela implique de poursuivre le travail sur la grille de critères pour y associer des métriques, des valeurs cibles et des protocoles de tests. Ainsi, l'utilité d'une MAPN peut être différente selon les acteurs. La méthode peut devoir être adaptée en fonction du type de tâche réalisée par les différentes catégories d'acteurs. De même, quel est le niveau de compétence requis ? Il est a priori différent selon qu'on est un expert naturaliste en bureau d'étude, un spécialiste au sein des services de l'État, ou un aménageur. Il peut également varier entre aménageurs selon que l'on cible un responsable environnement avec un profil d'écologue ou un responsable technique de projet chargé de la maîtrise d'œuvre. Par ailleurs, la flexibilité suppose une bonne connaissance de toute la variabilité possible en termes de tâches, de types de projet, de types d'écosystèmes, etc. Chacun des critères soulève des questions concrètes en termes d'application. Pour y répondre, il serait utile de déterminer une typologie des usages, des utilisateurs et des contextes d'utilisation, à partir de l'analyse des pratiques des acteurs de terrain. Ces travaux complémentaires permettraient de faire des propositions concrètes pour améliorer l'opérationnalité des

MAPN existantes ou en cours de développement et faciliter leur adoption par les acteurs de la séquence ERC.

- 40 Nous pensons cependant que notre proposition de critères d'opérationnalité revêt un premier intérêt dans la mesure où à ce stade, elle peut guider la conception, donner un cadre de référence et attirer l'attention sur des points jusque-là négligés. Elle a permis d'identifier sept critères non pris en compte par les concepteurs de MAPN en France. En outre, nous pensons que cette démarche peut être étendue en dehors du contexte de la séquence ERC, dans le champ des outils de gestion en écologie de façon générale. En effet, nous proposons un certain nombre de critères de portée généraliste, ainsi qu'une démarche de travail pour déterminer les critères spécifiques au contexte d'application, qui font l'objet d'ores et déjà, d'un transfert d'application vers un projet de recherche français sur l'évitement des collisions routières avec les Lynx (Projet Eviter, réduire et compenser le risque de mortalité du Lynx par collision avec les véhicules de transport<sup>2</sup>, porté par le programme Infrastructures de transports terrestres, écosystèmes et paysages, le Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive et le Cerema)

## Conclusion

- 41 Les méthodes d'évaluation de l'atteinte de l'objectif d'absence de perte nette sont conçues avec l'objectif exprimé par les concepteurs d'être opérationnelles pour les acteurs de la séquence ERC, tout en étant fondées sur le plan scientifique. Ce dernier aspect est implicitement compris comme s'appliquant à la dimension technique des méthodes alors que leur dimension opérationnelle est abordée par les concepteurs de façon plus intuitive. Nous proposons une définition de l'opérationnalité basée sur les travaux en ergonomie et à laquelle nous associons quinze critères.
- 42 Pour aller plus loin dans l'amélioration de l'opérationnalité des méthodes, il serait nécessaire d'associer des métriques et des valeurs cibles aux critères ainsi que des protocoles de tests à conduire auprès des futurs utilisateurs. Cela doit aussi s'accompagner à notre avis, d'une réflexion sur les processus de conception, associant davantage les acteurs de la séquence ERC. Il s'agit ainsi de s'inscrire dans une démarche de conception communément associée au concept d'utilisabilité, le « design centré utilisateur » (Gulliksen et *al.*, 2003).
- 43 Si l'opérationnalité des MAPN telle que nous l'entendons dans cet article est un facteur d'amélioration de l'application de la séquence ERC, il est bien évidemment loin d'être le seul. L'abondance des travaux de recherche en lien avec la séquence ERC montre la diversité des leviers d'actions, tout comme la complexité du problème. Cependant, en contribuant à donner aux acteurs des territoires les moyens d'agir avec des outils opérationnels, notre réflexion nous semble faire œuvre utile.

## Remerciements

- 44 Ce travail est réalisé dans le cadre d'une thèse CIFRE (Convention Industrielle de Formation par la Recherche) accueillie par ECO-MED et avec le soutien financier de la DREAL (Direction régionale de l'environnement, l'aménagement et du logement) Grand-Est, du programme IFRECOR (Initiative française pour les REcifs CORaliens) du ministère de la Transition écologique et solidaire, de Vinci Autoroutes, de Nîmes

Métropole et de Terega. Les auteurs remercient les DREAL Grand-Est et Occitanie, les DDT-M (Direction départementale du territoire et de la mer) du Gard et des Ardennes, les DEAL (Direction de l'environnement, l'aménagement et du logement) de Guadeloupe et de la Réunion, Marex, la Communauté régionale ERC d'Occitanie, le Cerema ainsi que Frédérique Millard (MTES) et Véronique de Billy (AFB) du groupe de travail national sur les méthodes de dimensionnement. Les auteurs remercient également le dispositif IDEAS (Initiative for the Design in Agrifood Systems) de l'INRA (Institut national de recherche agronomique) et particulièrement Marianne Cerf. Enfin, les auteurs remercient les évaluateurs anonymes de l'article pour leurs commentaires encourageants et constructifs qui ont permis sa profonde amélioration.

---

## BIBLIOGRAPHIE

- Akrich, M., 2013, La description des objets techniques, dans : Callon M., B. Latour Eds, Sociologie de la traduction : Textes fondateurs, Presses des Mines, Paris, pp. 159-178, [en ligne] URL : <http://books.openedition.org/pressesmines/1197>, consulté le 2 avril 2019
- Barcenilla, J. et J. M. C. Bastien, 2009, L'acceptabilité des nouvelles technologies : quelles relations avec l'ergonomie, l'utilisabilité et l'expérience utilisateur ?, *Trav. Hum.*, 72, pp. 311-331
- Barnaud, G. et B. Coïc, 2011, Mesures compensatoires et correctives liées à la destruction de zones humides, ONEMA, Paris, 104 p.
- Bas, A., C. Jacob, J. Hay, S. Pioch et S. Thorin, 2016, Improving marine biodiversity offsetting : a proposed methodology for better assessing losses and gains, *J. Environ. Manage.*, 175, pp. 46-59
- Berthelot, C., S. Demilly, G. Gaillard, S. Grouard, P. Lang et M. Saddier, 2011, Rapport d'information relatif aux enjeux et aux outils d'une politique intégrée de conservation et de reconquête de la biodiversité, Assemblée Nationale, Paris, 172 p.
- Bezombes, L., S. Gaucherand, C. Kerbirou, M.-E. Reinert et T. Spiegelberger, 2017, Ecological equivalence assessment methods : what possible trade-offs between operationality, scientific basis, and comprehensiveness ?, *Environ. Manage.*, 60, pp. 216-230
- Bezombes, L., T. Spiegelberger, V. Gouraud et C. Kerbirou, 2018, A set of organized indicators to conciliate scientific knowledge, offset policies requirements and operational constraints in the context of biodiversity offsets, *Ecol. Indic.*, 93, pp. 1244-1252
- 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, Communauté Université Grenoble Alpes, Grenoble, 365 p.
- Bidaud, C., M. Hrabanski et P. Meral, 2015, Voluntary biodiversity offset strategies in Madagascar, *Ecosyst. Serv.*, 15, pp. 181-189.
- Bigard, C., S. Pioch et J. D. Thompson, 2017, The inclusion of biodiversity in environmental impact assessment : Policy-related progress limited by gaps and semantic confusion, *J. Environ. Manage.*, 200, pp. 35-45

- Billy, V. de, J. Tournebize, G. Barnaud, M. Benoît, F. Birgand, J. Garnier, B. Lesaffre, C. Leveque, G. de Marsily, S. Muller, A. Musy et D. Zimmer 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), *Nat. Sci. Sociétés*, 23, pp. 27-41
- Bradford, M. J., 2017, Accounting for uncertainty and time lags in equivalency calculations for offsetting in aquatic resources management, *Environ. Manage.*, 60, pp. 588-597
- Brömmelstroet (te), M., 2017, PSS are more user-friendly, but are they also increasingly useful ?, *Transp. Res. Part Policy Pract.*, 104, pp. 96-107
- Bull, J. W., K. B. Suttle, A. Gordon, N. J. Singh et E. J. Milner-Gulland, 2013, Biodiversity offsets in theory and practice, *Oryx*, 47, pp. 369-380
- Bull, J. W., A. Gordon, E. A. Law, K. B. Suttle et E. J. Milner-Gulland, 2014a, Importance of Baseline Specification in Evaluating Conservation Interventions and Achieving No Net Loss of Biodiversity, *Conserv. Biol.*, 28, pp. 799-809
- Bull, J. W., E. J. Milner-Gulland, K. B. Suttle et N. J. Singh, 2014b, Comparing biodiversity offset calculation methods with a case study in Uzbekistan, *Biol. Conserv.*, 178, pp. 2-10
- Bull, J. W., A. Gordon, J. E. M. Watson et M. Maron, 2016, Seeking convergence on the key concepts in 'no net loss' policy, *J. Appl. Ecol.*, 53, pp. 1686-1693
- Calvet, C., C. Napoléone et J.-M. Salles, 2015, The Biodiversity Offsetting Dilemma : Between Economic Rationales and Ecological Dynamics, *Sustainability*, 7, pp. 7357-7378
- Carreras Gamarra, M. J., J. P. Lassoie et J. Milder, 2018, Accounting for no net loss : A critical assessment of biodiversity offsetting metrics and methods, *J. Environ. Manage.*, 220, pp. 36-43
- Carver, L. et S. Sullivan, 2017, How economic contexts shape calculations of "yield" in biodiversity offsetting, *Conserv. Biol.*, n/a-n/a.
- Cerf, M., M.-H. Jeuffroy, L. Prost et J.-M. Meynard, 2012, Participatory design of agricultural decision support tools : taking account of the use situations, *Agron. Sustain. Dev.*, 32, pp. 899-910
- Cochrane, J. F., E. Lonsdorf, T. D. Allison et C. A. Sanders-Reed, 2015, Modeling with uncertain science : estimating mitigation credits from abating lead poisoning in Golden Eagles, *Ecol. Appl.*, 25, pp. 1518-1533
- Commissariat général au développement durable (CGDD), 2013, Lignes directrices nationales sur la séquence éviter, réduire, et compenser les impacts sur les milieux naturels. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, Paris, 232 p.
- Cook, C. N., M. B. Mascia, M. W. Schwartz, H. P. Possingham et R. A. Fuller, 2013, Achieving Conservation Science that Bridges the Knowledge-Action Boundary, *Conserv. Biol.*, 27, pp. 669-678
- Coreau, A., C. Nowak et L. Mermet, 2013, L'expertise pour les politiques nationales de biodiversité en France : quelles stratégies face aux mutations en cours ?, *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 13 Numéro 2 | septembre 2013, consulté le 30 septembre 2015, URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/14221> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.14221>
- Dalang, T. et A. M. Hersperger, 2010, How much compensation do we need ? Replacement ratio estimates for Swiss dry grassland biotopes, *Biol. Conserv.*, 143, pp. 1876-1884
- Dantec, R., 2017, Rapport sur la 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, Tome 1. Sénat, Paris, 226 p.
- Darses, F. et M. de Montmollin, 2012, *L'ergonomie*, La Découverte, Paris, 118 p.
- Delden (van), H., R. Seppelt, R. White, A. J. Jakeman, 2011, A methodology for the design and development of integrated models for policy support, *Environ. Model. Softw.*, 26, pp. 266-279
- Desvousges, W. H., N. Gard, H. J. Michael et A. D. Chance, 2018, Habitat and Resource Equivalency Analysis : A Critical Assessment, *Ecol. Econ.*, 143, pp. 74-89
- Dubois, M. et M.-É. Bobillier-Chaumon, 2009, L'acceptabilité des technologies : bilans et nouvelles perspectives, *Trav. Hum.*, 72, pp. 305-310
- Failing, L. et R. Gregory, 2003, Ten common mistakes in designing biodiversity indicators for forest policy, *J. Environ. Manage.*, 68, pp. 121-132
- Gaubert, H., S. Hubert et F. Quétier, 2017, Méthode d'évaluation biophysique des dommages écologiques, Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer, Commissariat général au développement durable, Paris, 81 p.
- Gaucherand, S., E. Schwoertzig, J.-C. Clément, B. Johnson et F. Quétier, 2015, The cultural dimensions of freshwater wetland assessments : lessons learned from the application of US rapid assessment methods in France, *Environ. Manage.*, 56, pp. 245-259
- Gayet, G., F. Baptist, L. Baraille, P. Caessteker, J.-C. Clément, J. Gaillard, S. Gaucherand, F. Isselin-Nondedeu, C. Poinot, F. Quétier, J. Touroult et G. Barnaud, 2016a, Guide de la méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides, Onema, Paris, 190 p.
- Gayet, G., F. Baptist, L. Baraille, P. Caessteker, J.-C. Clément, J. Gaillard, S. Gaucherand, F. Isselin-Nondedeu, C. Poinot, F. Quétier, J. Touroult et G. Barnaud, 2016b, Guide de la méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides, Onema, MNHN, Paris, 310 p.
- Geertman, S., 2006, Potentials for Planning Support, A Planning-Conceptual Approach, *Environ. Plan. B Plan. Des.*, 33, pp. 863-880
- Geisen, E. et J. R. Bergstrom, 2017, *Usability Testing for Survey Research*. Morgan Kaufmann, Cambridge (US), 252 p.
- Gonçalves, B., A. Marques, A. M. V. D. M. Soares et H. M. Pereira, 2015, Biodiversity offsets : from current challenges to harmonized metrics, *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, 14, pp. 61-67
- Gould, J. D., 1988, How to design usable systems, *handbook of Human-Computer Interaction*, Amsterdam, pp. 757-789
- Granjou, C., I. Mauz et M. Daccache, 2013, Les conditions de l'articulation entre recherche et expertise, *Rev. Anthropol. Connaiss.*, vol. 7, no 1, pp. 67-86
- Gulliksen, J., B. Göransson, I. Boivie, S. Blomkvist, J. Persson et Å. Cajander, 2003, Key Principles for User-Centred Systems Design, *Behav. IT*, 22, pp. 397-409
- Habib, T. J., D. R. Farr, R. R. Schneider et S. Boutin, 2013, Economic and Ecological Outcomes of Flexible Biodiversity Offset Systems, *Conserv. Biol.*, 27, pp. 1313-1323
- Hak, T., J. Kovanda et J. Weinzettel, 2012, A method to assess the relevance of sustainability indicators : Application to the indicator set of the Czech Republic's Sustainable Development Strategy, *Ecol. Indic.*, 17, pp. 46-57
- Holmes, J. et R. Clark, 2008, Enhancing the use of science in environmental policy-making and regulation, *Environ. Sci. Policy*, 11, pp. 702-711

- Jacob, C., F. Quétier, J. Aronson, S. Pioch et H. Levrel, 2015, Vers une politique française de compensation des impacts sur la biodiversité plus efficace : défis et perspectives, *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 14 Numéro 3 | Décembre 2014, Consulté le 17 avril 2015, URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/15385> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.15385>
- Jacob, C, S. Pioch et S. Thorin, 2016, The effectiveness of mitigation hierarchy in environmental impact studies on marine ecosystems : a case study in France, *Environ. Impact Assess. Rev.*, pp. 83-98
- Koh, N. S., T. Hahn et C. Ituarte-Lima, 2017, Safeguards for enhancing ecological compensation in Sweden, *Land Use Policy*, 64, pp. 186-199.
- Laitila, J., A. Moilanen et F. M. Pouzols, 2014, A method for calculating minimum biodiversity offset multipliers accounting for time discounting, additionality and permanence, *Methods Ecol. Evol.*, 5, pp. 1247-1254
- Levrel, H., 2006, Biodiversité et développement durable : quels indicateurs ? *Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales*, Paris, 407 p.
- Levrel, H., S. Pioch et R. Spieler, 2012, Compensatory mitigation in marine ecosystems : Which indicators for assessing the “no net loss” goal of ecosystem services and ecological functions ?, *Mar. Policy*, 36, pp. 1202-1210
- Levrel, H., N. Frascaria-Lacoste, J. Hay, G. Martin et S. Pioch, 2015, Restaurer la nature pour atténuer les impacts du développement. Analyse des mesures compensatoires pour la biodiversité, *Quae*. Paris, 314 p.
- Mann, C., 2015, Strategies for sustainable policy design : Constructive assessment of biodiversity offsets and banking, *Ecosyst. Serv.*, 16, pp. 266-274
- Maron, M., J. W. Bull, M. C. Evans et A. Gordon, 2015, Locking in loss : Baselines of decline in Australian biodiversity offset policies, *Biol. Conserv.*, 192, pp. 504-512
- Martin, G., 2015, Fonctions du droit et mesures compensatoires françaises, dans : Levrel H., N. Frascaria-Lacoste, J. Hay, G. Martin, S. Pioch Eds, *Restaurer la nature pour atténuer les impacts du développement : Analyse des mesures compensatoires pour la biodiversité*, Synthèses, Paris, pp. 16-24
- Maseyk, F., L. Barea, R. Stephens, H. Possingham, G. Dutson et M. Maron, 2016, A disaggregated biodiversity offset accounting model to improve estimation of ecological equivalency and no net loss, *Biol. Conserv.*, 204, pp. 322-332
- McIntosh, B. S., J. C. Ascough, M. Twery, J. Chew, A. Elmahdi, D. Haase, J.J. Harou, D. Hepting, S. Cuddy, A. J. Jakeman, S. Chen, A. Kassahun, S. Lautenbach, K. Matthews, W. Merritt, N. W. T. Quinn, I. Rodriguez-Roda, S. Sieber, M. Stavenga, A. Sulis, J. Ticehurst, M. Volk, M. Wrobel, H. van Delden, S. El-Sawah, A. Rizzoli et A. Voinov, 2011, Environmental decision support systems (EDSS) development - Challenges and best practices, *Environ. Model. Softw.*, 26, pp. 1389-1402
- Mechin, A. et S. Pioch, 2016, Une méthode expérimentale pour évaluer rapidement la compensation en zone humide. La méthode MERCIe : principes et applications. *Onema*, Paris, 85 p.
- Miller, K. L., J. A. Trezise, S. Kraus, K. Dripps, M. C. Evans, P. Gibbons, H. P. Possingham et M. Maron, 2015, The development of the Australian environmental offsets policy : from theory to practice, *Environ. Conserv.*, 42, pp. 306-314

- Moilanen, A., A. J. A. Van Teeffelen, Y. Ben-Haim et S. Ferrier, 2009, How Much Compensation is Enough ? A Framework for Incorporating Uncertainty and Time Discounting When Calculating Offset Ratios for Impacted Habitat, *Restor. Ecol.*, 17, pp. 470-478
- Monnoyer-Smith, L. et C. Aubel, 2018, Lettre de mission 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. », CGDD, AFB, Paris.
- Moreno-Mateos, D., M. E. Power, F. A. Comín et R. Yockteng, 2012, Structural and Functional Loss in Restored Wetland Ecosystems, *PLOS Biol.*, 10, e1001247
- Moreno-Mateos, D., V. Maris, A. Béchet et M. Curran, 2015, The true loss caused by biodiversity offsets, *Biol. Conserv.*, 192, pp. 552-559
- Nielsen, J., 1993, Usability Engineering - 1st Edition, AP Professional, San Diego, 362 p., consulté le 17 janvier 2018, [en ligne] URL : <https://www.elsevier.com/books/usability-engineering/nielsen/978-0-08-052029-2>
- Overton, J. M., R. T. T. Stephens et S. Ferrier, 2013, Net Present Biodiversity Value and the Design of Biodiversity Offsets, *AMBIO*, 42, pp. 100-110
- Pelzer, P., 2017, Usefulness of planning support systems : A conceptual framework and an empirical illustration, *Transp. Res. Part Policy Pract.*, 104, pp. 84-95
- Pinault, M., S. Pioch et N. Pascal, 2017, Guide pour la mise en œuvre des mesures compensatoires et la méthode de dimensionnement MERCI-Cor. IFRECOR, Paris, 76 p.
- Pioch, S., G. Barnaud et B. Coïc, 2015, Méthodes de dimensionnement des mesures compensatoires pour les zones humides, dans : Levrel H., N. Frascaria-Lacoste, J. Hay, G. Martin, S. Pioch Eds, Restaurer la nature pour atténuer les impacts du développement : Analyse des mesures compensatoires pour la biodiversité, Synthèses, Paris, pp. 220-223
- Prost, L., M. Cerf et M.-H. Jeuffroy, 2011, Lack of consideration for end-users during the design of agronomic models, A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 32., consulté le 27 juillet 2017, [en ligne] URL : [https://www.researchgate.net/publication/257805337\\_Lack\\_of\\_consideration\\_for\\_end-users\\_during\\_the\\_design\\_of\\_agronomic\\_models\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/257805337_Lack_of_consideration_for_end-users_during_the_design_of_agronomic_models_A_review)
- Quétier, F. et S. Lavorel, 2011, Assessing ecological equivalence in biodiversity offset schemes : Key issues and solutions, *Biol. Conserv.*, 144, pp. 2991-2999
- Quétier, F., B. Regnery et H. Levrel, 2014, No net loss of biodiversity or paper offsets ? A critical review of the French no net loss policy, *Environ. Sci. Policy*, pp. 120-131
- Rabardel, P., 1995, Les hommes et les technologies. Approche cognitive des instruments contemporains, Armand Colin, Paris, 238 p.
- Rabaud, S., 2016, Les indicateurs de biodiversité entre connaissances et actions : impasses, détours ou raccourcis pour les stratégies environnementales ?, AgroParisTech, Paris, 421 p.
- Rametsteiner, E., H. Pülzl, J. Alkan-Olsson et P. Frederiksen, 2011, Sustainability indicator development—Science or political negotiation ?, *Ecol. Indic.*, 11, pp. 61-70
- Regnery, B., 2013, Les mesures compensatoires pour la biodiversité, conception et perspectives d'application. Université Pierre et Marie Curie, Paris, 244 p.
- Regnery, B., F. Quétier, N. Cozannet, S. Gaucherand, A. Laroche, M. Burylo, D. Couvet et C. Kerbirou, 2013, Mesures compensatoires pour la biodiversité : comment améliorer les dossiers environnementaux et la gouvernance ?, *Sciences, Eaux & Territoires* [en ligne], 12, pp. 1-8,

consulté le 29 février 2016, URL : <http://set-revue.fr/mesures-compensatoires-pour-la-biodiversite-comment-ameliorer-les-dossiers-environnementaux-et-la>

Rose, D. C., W. J. Sutherland, C. Parker, M. Lobley, M. Winter, C. Morris, S. Twining, C. Ffoulkes, T. Amano et L. V. Dicks, 2016, Decision support tools for agriculture : Towards effective design and delivery, *Agric. Syst.*, 149, pp. 165-174.

Rose D. C., P. Addison, M. Ausden, L. Bennun, C. Mills, S. O'Donnell, C. G. Parker, M. Ryan, L. Weatherdon, K. Despot-Belmonte, W. J. Sutherland et R. J. Robertson, 2017, Decision support tools in conservation : a workshop to improve user-centred design, *Res. Ideas Outcomes*, 3, consulté le 25 juillet 2018, [en ligne] URL : [https://www.researchgate.net/publication/319966183\\_Decision\\_support\\_tools\\_in\\_conservation\\_a\\_workshop\\_to\\_improve\\_user-centred\\_design](https://www.researchgate.net/publication/319966183_Decision_support_tools_in_conservation_a_workshop_to_improve_user-centred_design)

Rowe, D. K., S. Parkyn, J. Quinn, K. Collier, C. Hatton, M. K. Joy, J. Maxted et S. Moore, 2009, A Rapid Method to Score Stream Reaches Based on the Overall Performance of Their Main Ecological Functions, *Environ. Manage.*, 43, pp. 1287-1300

Sahley, C. T., B. Vildoso, C. Casaretto, P. Taborga, K. Ledesma, R. Linares-Palomino, G. Mamani, F. Dallmeier et A. Alonso, 2017, Quantifying impact reduction due to avoidance, minimization and restoration for a natural gas pipeline in the Peruvian Andes, *Environ. Impact Assess. Rev.*, 66, pp. 53-65

Semal, L. et F. Guillet, 2017, Chapitre 6. Compenser les pertes de biodiversité, dans : Compagnon D., E. Rodary Eds, *Les politiques de biodiversité*, Presses de Sciences Po (P.F.N.S.P.) [en ligne], pp. 149-169 Consulté le 23 janvier 2018 URL : [https://www.cairn.info/article.php?ID\\_ARTICLE=SCPO\\_COMPA\\_2017\\_01\\_0149](https://www.cairn.info/article.php?ID_ARTICLE=SCPO_COMPA_2017_01_0149)

Shackel, B., 1991, Ergonomics in design and usability, 20 p., In *People and computers : designing for usability*, Harrison & A. Monk, Cambridge, pp. 44-64

Shackel, B., 2009, Usability - Context, framework, definition, design and evaluation, *Interact. Comput.*, 21, pp. 339-346

Sutula, M. A., E. D. Stein, J. N. Collins, A. E. Fetscher et R. Clark, 2006, A Practical Guide for the Development of a Wetland Assessment Method : The California Experience, *JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc.*, 42, pp. 157-175

Terrade, F., H. Pasquier, J. Reerink-Boulanger, G. Guingouain et A. Somat, 2009, L'acceptabilité sociale : la prise en compte des déterminants sociaux dans l'analyse de l'acceptabilité des systèmes technologiques, *Trav. Hum.*, 72, pp. 383-395.

Truchon, H., V. de Billy et N. Poulet, 2018, Élaboration d'une méthodologie générique et harmonisée pour dimensionner la compensation ex-ante des atteintes à la biodiversité. Avantages et limites des approches et méthodes existantes, AFB, Cerema, MTES.

Uran, O. et R. Janssen, 2003, Why are spatial decision support systems not used ? Some experiences from the Netherlands, *Comput. Environ. Urban Syst.*, 27, pp. 511-526

Vaissière, A.-C., 2014, Le recours au principe de compensation écologique dans les politiques publiques en faveur de la biodiversité : enjeux organisationnels et institutionnels : cas des écosystèmes aquatiques marins et continentaux, Université de Bretagne Occidentale, Brest, 249 p.

Vanpeene-Bruhier, S., P.- A. Pissard et M. Kopf, 2013, Prise en compte de la biodiversité dans les projets d'aménagement : comment améliorer la commande des études environnementales ?,

Dév. Durable Territ. Économie Géographie Polit. Droit Sociol. [en ligne], consulté le 21 avril 2016, URL : <https://developpementdurable.revues.org/9701>

Vonk, G., S. Geertman et P. Schot, 2005, Bottlenecks Blocking Widespread Usage of Planning Support Systems, *Environ. Plan. Econ. Space*, 37, pp. 909-924

Weichselgartner, J. et R. Kasperson, 2010, Barriers in the science-policy-practice interface : Toward a knowledge-action-system in global environmental change research, *Glob. Environ. Change*, 20, pp. 266-277

Yu, S., B. Cui, P. Gibbons, J. Yan, X. Ma, T. Xie, G. Song, Y. Zou et X. Shao, 2017, Towards a biodiversity offsetting approach for coastal land reclamation : Coastal management implications, *Biol. Conserv.*, 214, pp. 35-45

## NOTES

1. [ En ligne ] URL : <https://ergonomie-self.org/>
2. [ En ligne ] URL : <http://www.ittecop.fr/recherches-2017/projets-de-recherche/erc-lynx.html>

---

## RÉSUMÉS

L'insuffisance des connaissances, d'outils et de méthodologies partagés est identifiée comme l'une des causes de la faiblesse de l'application en France de la séquence « Eviter, Réduire, Compenser » (ERC) les impacts négatifs résiduels significatifs causés par les projets d'aménagement, plans ou programmes, sur la nature. Cela concerne notamment les méthodes pour évaluer l'atteinte de l'objectif d'absence de perte nette (MAPN). Cet article traite de la question de l'opérationnalité du point de vue des utilisateurs des méthodes c'est-à-dire, des acteurs des territoires concernés par la mise en application de la séquence ERC. Nous analysons la dimension opérationnelle de ces méthodes en nous appuyant sur un cadre théorique original défini par l'ergonomie. La définition de l'opérationnalité proposée dans ces travaux est basée sur trois composantes qui sont l'utilité, l'utilisabilité et l'acceptabilité socio-organisationnelle. Nous associons à ces trois composantes quinze critères déterminés à partir de la bibliographie de référence et de nos enquêtes auprès des acteurs de terrain. Le premier résultat de ces travaux est de démontrer qu'environ la moitié des critères déterminant une bonne prise en compte de la dimension opérationnelle des MAPN ne sont pas considérés par les concepteurs. À ce stade, elle peut s'avérer utile pour guider la conception, se doter d'un vocabulaire commun et ne pas négliger des points peu pris en compte ou simplement « oubliés » jusque-là dans la conception des MAPN en France.

Insufficient knowledge, tools and shared methodologies are identified as one of the causes of the weakness of the application in France of the mitigation hierarchy. This includes methods to evaluate the achievement of the No Net Loss Goal (MNNL). This article focuses on the issue of operability from the point of view of the users of the methods (land developers, consultancy and regulators). We analyze the operational dimension of these methods by relying on the theoretical framework defined by ergonomics. We propose a definition of operability based on three components that are utility, usability and social acceptability. We associate with these

three components fifteen criteria chosen from the bibliography and our observations of the stakeholders. The first result of this work shows that about half of the criteria determining a good consideration of the operational dimension of the MAPN are not considered by the designers. At this stage, it can be useful to guide the design, to have a common vocabulary and not to neglect points not taken into account or "forgotten" until then for the MAPN in France.

## INDEX

**Keywords** : No net loss, mitigation assessment method, usability, ergonomics, criteria

**Mots-clés** : Séquence ERC, méthode d'équivalence écologique, opérationnalité, utilisabilité, ergonomie, critère

## AUTEURS

### AGNÈS MECHIN

Doctorante en géographie, CEFÉ, Univ. Paul Valéry Montpellier 3, Univ. Montpellier, EPHE, CNRS, IRD, Route de Mende, 34 199 Montpellier Cedex 5, France, ECO-MED, 113 avenue Raymond Recouly, 34070 Montpellier, France, courriel : [agnes.mechin@univ-montp3.fr](mailto:agnes.mechin@univ-montp3.fr)

### SYLVAIN PIOCH

Maître de conférences en géographie et aménagement, CEFÉ, Univ. Paul Valéry Montpellier 3, Univ. Montpellier, EPHE, CNRS, IRD, Route de Mende, 34 199 Montpellier Cedex 5, France, courriel : [sylvain.pioch@univ-montp3.fr](mailto:sylvain.pioch@univ-montp3.fr)