



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Méthode d'évaluation du potentiel de gain écologique de sites terrestres

Pogéis

INVENTAIRE COLLABORATIF DES SITES
À POTENTIEL DE GAIN ÉCOLOGIQUE



SOMMAIRE

Introduction	4
1.1. L'émergence de la compensation écologique : principes et cadre juridique	4
1.2. La problématique du choix des sites de compensation	5
1.3. Le projet d'inventaire national de sites à forts potentiels de gain écologique	5
1.4. Problématique de caractérisation du potentiel de gain écologique	6
2. Présentation générale de la méthode	6
2.1. Généralités sur les éléments déterminant le potentiel de gain écologique	6
2.2. Sources de données mobilisables	7
2.3. Critères d'évaluation retenus	8
2.4. Démarche adoptée pour l'élaboration de la méthode	8
3. Modalités d'évaluation du potentiel de gain écologique	9
3.1. Critères liés aux caractéristiques intrinsèques du site	9
3.1.1. <i>Surface totale du site</i>	9
3.1.2. <i>Occupation des sols</i>	11
3.1.3. <i>Pourcentage de surface dégradée</i>	14
3.1.4. <i>Intensité moyenne de la dégradation</i>	15
3.1.5. <i>Pressions « levables » recensées</i>	16
3.2. Critères liés aux caractéristiques du contexte paysager	20
3.2.1. <i>Qualité écologique du contexte paysager en termes d'occupation des sols</i>	20
3.2.2. <i>Connectivité du paysage</i>	22
3.3. Évaluation du potentiel de gain écologique lié à la synthèse de critères relatifs au site et au contexte paysager	24
3.3.1. <i>Potentiel de gain écologique lié à la qualité écologique globale du contexte paysager</i>	25
3.3.2. <i>Potentiel de gain écologique lié à la surface du site relativement à la qualité globale du contexte paysager</i>	25
3.3.3. <i>Potentiel de gain écologique lié à la marge de progrès sur le site compte tenu de l'occupation des sols et des pressions « levables » recensées</i>	26
4. Perspectives d'amélioration et suite du projet	26
5. Conclusion	27
Remerciements chaleureux	27
Références	28
Annexes	31
1. Chargement des packages requis	35
2. Import des données	35

2.1. Données d'occupation des sols OSO (fournies par BOB).....	36
2.2. Réservoirs de biodiversité recensés dans les SRCE.....	38
2.3. Cours d'eau identifiés dans la base de données Topage.....	39
2.4. Pressions sur site renseignées par les apporteurs des sites	41
3. Evaluation du PGE lié aux caractéristiques intrinsèques du site.....	43
3.1. PGE lié à la surface totale du site	43
3.2. PGE lié à l'occupation des sols sur le site	43
3.3. PGE lié au pourcentage de surface dégradée sur le site	47
3.4. PGE lié à l'intensité moyenne de la dégradation sur la portion dégradée du site	48
3.5. PGE lié à la somme des intensités des pressions levables recensées sur le site.....	48
4. Evaluation du PGE lié aux caractéristiques de l'environnement du site (zones tampon de 1000 et 5000 m)	49
4.1. PGE lié à l'occupation du sol dans les zones tampons autour du site (qualité de l'environnement proche et éloigné du site)	49
4.2. PGE lié à la connectivité du site avec son environnement (réservoirs de biodiversité et linéaire de cours d'eau).....	52
• <i>NoteRB</i>	52
• <i>NoteCE</i>	53
• <i>PGE_Connectivite</i>	53
5. Evaluation du PGE lié à la synthèse de plusieurs critères	54
5.1. PGE lié à la qualité globale de l'environnement : occupation du sol et connectivité.....	54
5.2. PGE lié à la taille du site relativement à la qualité de son environnement.....	55
5.3. PGE lié à la marge de progrès sur le site compte-tenu de l'occupation du sol et des pressions levables recensées	55
6. Représentation graphique des résultats de l'évaluation du PGE.....	56
7. Représentation graphique des proportions de chaque classe OSO à l'échelle du site et des zones tampons	61
8. Etude de la distribution des variables associées aux critères d'évaluation du PGE.....	65
Auteurs	71
Citation du document	71
Résumé	71

Introduction

1.1. L'émergence de la compensation écologique : principes et cadre juridique

Afin de parvenir à neutraliser les pertes de biodiversité causées par les activités de développement économique, un nombre croissant de pays à travers le monde adopte des politiques visant l'absence de perte nette de biodiversité, rendant obligatoire la compensation des pertes de biodiversité n'ayant pu être évitées ou suffisamment réduites dans le cadre de projets d'aménagement (Bull & Strange, 2018 ; zu Ermgassen *et al.*, 2019). La compensation écologique est constituée d'actions prises en faveur des composantes de biodiversité affectées, de telle sorte qu'elle génère des gains écologiques à proximité des zones d'incidences du projet. **On entend par « gain écologique » l'amélioration de l'état de conservation d'une espèce ou d'un habitat, ou l'amélioration d'une fonction écologique d'un écosystème** (CGDD, 2021). De tels gains peuvent être obtenus par des opérations de restauration écologique, de réhabilitation ou de création d'habitats, ou par une évolution des pratiques de gestion d'espaces naturels (MEDDE, 2013). Dans ce rapport, nous parlerons d'« actions visant un gain écologique » pour désigner l'ensemble de ces opérations.

Généralement, la compensation écologique est mise en œuvre dans le cadre d'une démarche plus large : la séquence « Éviter, Réduire, Compenser » (ERC). En France, elle a été introduite dans le Droit par la loi du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature, a été réaffirmée par la loi du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages. Elle figure désormais dans l'article L.110-1 du Code de l'environnement, qui réunit les principes généraux du droit de l'environnement, dont celui d'action préventive et de correction des atteintes à l'environnement : « *Ce principe implique d'éviter les atteintes à la biodiversité et aux services qu'elle fournit ; à défaut, d'en réduire la portée ; enfin, en dernier lieu, de compenser les atteintes qui n'ont pu être évitées ni réduites, en tenant compte des espèces, des habitats naturels et des fonctions écologiques affectées ; Ce principe doit viser un objectif d'absence de perte nette de biodiversité, voire tendre vers un gain de biodiversité* ». La compensation doit donc rester subsidiaire et n'intervenir que si les impacts n'ont pas pu être suffisamment évités ou réduits. Les gains écologiques générés doivent être au moins équivalents aux pertes causées par ces impacts résiduels (CGDD, 2021).

La loi du 8 août 2016 a également précisé dans l'article L.163-1 du Code de l'environnement le cadre réglementaire des mesures de compensation : elles doivent cibler les mêmes composantes de biodiversité que celles impactées par le projet (équivalence écologique), répondre à une obligation de résultats (efficacité), être effectives pendant toute la durée des impacts (temporalité et pérennité), être mises en œuvre en priorité sur le site impacté ou proche de celui-ci (proximité), être proportionnées à la hauteur des enjeux environnementaux et à l'ampleur du projet (proportionnalité). Par déduction de ces principes, les mesures compensatoires doivent générer des gains écologiques qui n'auraient pas été obtenus en l'absence d'obligation de compensation ce qui implique qu'elles sont additionnelles à toute autre mesure prévue dans un autre cadre (additionnalité écologique) et qu'elles ne doivent pas se substituer à des engagements publics ou privés déjà pris en matière de protection ou de restauration de la biodiversité (additionnalité administrative).

1.2. La problématique du choix des sites de compensation

La pertinence écologique d'un site de compensation dépend de son état initial et de la trajectoire écologique sur laquelle il est engagé, avant la mise en œuvre des mesures de compensation (Aubry *et al.*, 2020). Un site écologiquement dégradé et/ou engagé sur une trajectoire écologique défavorable offrira *a priori* plus d'opportunités de gain écologique qu'un site se trouvant déjà dans un bon état (Regnery, 2017 ; Aubry *et al.*, 2020). Dans une étude menée sur 24 projets d'infrastructures en France métropolitaine, Weissgerber *et al.* (2019) constatent cependant que les maîtres d'ouvrage devant satisfaire à des obligations de compensation écologique ont plutôt tendance à sélectionner des sites de compensation dont l'état écologique initial est déjà satisfaisant. Or sur de tels sites, la marge de progrès en termes de gain écologique est forcément limitée. En 2017, le rapport d'une commission d'enquête sénatoriale portant sur la réalité des mesures de compensation faisait également état de ce constat : « *des terres de bonne qualité, parce qu'elles sont situées à proximité des zones impactées par un projet d'infrastructure, sont fréquemment utilisées pour la compensation tandis que dans le même temps, des friches industrielles ou agricoles, situées à quelques kilomètres, demeurent abandonnées* » (Longeot & Dantec, 2017, p. 124).

1.3. Le projet d'inventaire national de sites à forts potentiels de gain écologique

Le choix des sites de compensation, souvent contraint par les opportunités foncières à proximité des sites impactés, semble donc souvent manquer de pertinence d'un point de vue écologique. C'est entre autres pour répondre à cette problématique que l'OFB s'est vu confier par l'article 70 de la loi du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages, la réalisation d'« *un inventaire national afin d'identifier les espaces naturels à fort potentiel de gain écologique appartenant à des personnes morales de droit public et les parcelles en état d'abandon, susceptibles d'être mobilisés pour mettre en œuvre des mesures de compensation.* »

Ici, la notion de **potentiel de gain écologique** (PGE) est centrale. Elle désigne la probabilité de pouvoir générer du gain écologique sur un site, par des actions de génie écologique ou la mise en place de certaines pratiques de gestion. Pour schématiser, un site à fort PGE est un site écologiquement dégradé, où la marge de progrès probable en termes de gain écologique est élevée. À terme, l'un des objectifs de l'inventaire sera d'orienter les maîtres d'ouvrage devant mettre en œuvre des mesures de compensation, vers des sites plus pertinents pour la restauration des écosystèmes compte tenu de leur PGE.

En 2019, l'OFB a donc lancé le **projet POGES** (Potentiel de Gain Écologique : l'Inventaire des Sites), en concertation avec l'ensemble des acteurs concernés, réunis au sein d'un groupe de travail national. A la suite des premiers travaux du groupe, il a été décidé de ne pas dédier l'inventaire uniquement à la compensation écologique. L'inventaire recensera donc des sites à fort PGE mobilisables pour des actions de gain écologique pouvant s'inscrire ou non dans le cadre de mesures compensatoires. Par ailleurs, l'inventaire est conduit avec des moyens limités, ne permettant pas à l'OFB de conduire des études de terrain pour évaluer le PGE de chaque site identifié. Cette contrainte a été structurante et a conduit au choix de réaliser un inventaire collaboratif, au moyen d'une application en ligne sur laquelle les sites seront versés directement par leur propriétaire ou gestionnaire, de façon volontaire. Pour chaque site, l'application produira une fiche de synthèse renseignant un ensemble d'informations permettant d'éclairer les utilisateurs sur l'intérêt des sites pour la mise en œuvre d'actions visant un gain écologique. Cette fiche contiendra entre autres une évaluation du PGE du site (Annexe 1).

1.4. Problématique de caractérisation du potentiel de gain écologique

Pour produire cet inventaire, l'une des questions centrales est de savoir comment caractériser le PGE des sites recensés. À ce jour, il n'existe aucune méthode d'évaluation du PGE standardisée à l'échelle nationale, et une rapide étude bibliographique des quelques méthodes existantes a montré qu'aucune ne répondait aux besoins et contraintes de POGEIS. Il est donc nécessaire d'en concevoir une nouvelle, intégrant les contraintes de moyens énoncées précédemment. Au stade de repérage de sites dans l'inventaire, une expertise de terrain peut être trop précoce par rapport à la réalisation effective de la future opération de restauration écologique et ne se justifie donc pas. Par conséquent, pour caractériser les sites versés à l'inventaire et en déduire leur PGE, nous nous basons uniquement sur les données disponibles dans les bases de données nationales sur la biodiversité, ainsi que sur un nombre restreint d'informations complémentaires renseignées par les propriétaires ou gestionnaires des sites.

Notons qu'à ce stade du projet POGEIS, l'objectif est de concevoir une méthode d'évaluation du PGE applicable à des sites terrestres situés en France métropolitaine. L'adaptation de la méthode à l'Outre-mer et au milieu marin est prévue à terme, mais n'est pas incluse dans cette première version de la méthode.

Dans la suite de ce rapport, nous présentons le principe général de la méthode. Nous détaillons pour chacun des critères retenus, les modalités de calcul, les modalités d'évaluation du PGE retenues et les éléments de discussion.

2. Présentation générale de la méthode

2.1. Généralités sur les éléments déterminant le potentiel de gain écologique

Le PGE d'un site est fortement lié à son état écologique initial. D'après Delzons *et al.* (2021), l'état écologique d'un site dépend « *des facteurs écologiques stationnels, de la diversité biologique, de la relation avec d'autres milieux, du contexte naturel et des connexions éventuelles avec celui-ci, de l'aménagement et de la gestion pratiqués sur le site* » ; il s'agit d'une notion « *avant tout descriptive, relativement subjective* ».

Pour évaluer le PGE d'un site, il faut donc non seulement s'intéresser aux caractéristiques intrinsèques de ce site, mais également aux caractéristiques du contexte paysager dans lequel il s'insère (Regnery, 2017 ; Aubry *et al.*, 2020). Ce dernier point est essentiel car beaucoup de processus écologiques fonctionnent à l'échelle du paysage (Dunning *et al.*, 1992). D'après Regnery (2017), le contexte paysager conditionne l'amplitude des gains écologiques potentiels sur un site car beaucoup d'espèces vivent au sein de métapopulations ou de métacommunautés. À l'échelle du paysage, « la disponibilité, l'organisation, la taille ou encore la qualité des habitats influencent les processus de colonisation et d'extinction, et conditionnent l'amplitude des gains écologiques » pouvant être obtenus sur un site (Regnery, 2017). Le PGE d'un site pourrait donc être amplifié si ce dernier s'insère dans un contexte paysager favorable pour la biodiversité. L'étude du contexte paysager est d'autant plus importante pour les sites de petite taille. D'après Aubry *et al.* (2020), « un SNC¹ de faible surface mais inséré au sein d'une vaste unité paysagère fonctionnelle pourra présenter un

¹ Site naturel de compensation

potentiel écologique plus important qu'un SNC de taille plus conséquente mais complètement isolé ».

À l'échelle des sites, Aubry *et al.* (2020) soulignent l'importance de recenser les sources de pressions d'origine naturelle ou anthropique pouvant s'exercer sur les sites et compromettre l'obtention de gains écologiques.

Par conséquent, l'évaluation du PGE d'un site doit estimer à quel point les caractéristiques de ce site et du contexte paysager dans lequel il s'insère sont propices à l'obtention de gains écologiques. À partir des données que nous pouvons mobiliser à l'échelle nationale, nous chercherons à prendre en compte du mieux possible l'ensemble de ces éléments dans la conception de notre méthode d'évaluation du PGE.

2.2. Sources de données mobilisables

Pour que notre méthode puisse être automatisée et appliquée à l'ensemble des sites versés à l'inventaire, quelle que soit leur localisation en France métropolitaine, elle doit reposer sur **des données publiques nationales, standardisées et disponibles de façon homogène sur l'ensemble du territoire**. La sélection de critères d'évaluation du PGE a été contrainte par la disponibilité de ce type de données.

L'essentiel des données mobilisées par notre méthode provient de l'INPN (Inventaire national du patrimoine naturel), qui rassemble de nombreuses données de référence sur la biodiversité française. Pour les mobiliser, nous collaborons avec l'unité d'appui et de recherche PatriNat², qui travaille sur le développement d'un service numérique permettant d'accéder à une synthèse des données de l'INPN à l'échelle d'une zone d'intérêt donnée : la Boîte à Outils Biodiversité (BOB). Son fonctionnement est le suivant : l'utilisateur renseigne le périmètre géographique du site qui l'intéresse (sous la forme d'une couche géographique au format shapefile), puis la boîte à outils extrait dans l'INPN un ensemble de données disponibles à l'échelle du site, ainsi qu'à l'échelle des zones tampons de 1000 et 5000 m autour du périmètre du site. Ces données sont ensuite synthétisées aux trois échelles d'étude sous forme de tableurs et de couches géographiques, puis renvoyées à l'utilisateur. A ce stade, la boîte à outils BOB extrait de l'INPN : les zonages d'inventaire et de protection (espaces protégés, ZNIEFF et zones Natura 2000), les réservoirs de biodiversité et corridors écologiques (données récupérées dans les SRCE³ régionaux) et l'occupation des sols (nomenclatures OSO⁴ et CLC⁵). À terme, il est prévu d'intégrer la boîte à outils BOB dans l'application de l'inventaire, pour permettre un accès rapide et direct aux données requises pour évaluer de façon automatisée le PGE des sites recensés.

En complément des données mobilisées par la boîte à outils BOB, notre méthode exploite certaines données issues de la base de données Topage. Il s'agit du référentiel hydrographique national le plus complet et précis existant à ce jour, renseignant notamment la localisation des cours d'eau et plans d'eau en France métropolitaine. Enfin, certaines données requises ne se trouvent pas dans les bases de données nationales. En particulier, nous souhaitons connaître les pressions s'exerçant sur les sites versés à l'inventaire et pouvant compromettre leur PGE. Aucune cartographie nationale des pressions suffisamment précise n'existant à ce jour, ces données seront renseignées de façon manuelle par les propriétaires ou gestionnaires

² Centre d'expertise et de données sur le patrimoine naturel, sous tutelle de l'Office français de la biodiversité (OFB), du Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN) et du Centre national de la recherche scientifique (CNRS).

³ Schéma régional de cohérence écologique

⁴ Données produites par le CES « Occupation des Sols » du pôle THEIA à l'échelle de la France métropolitaine

⁵ Données issue de la base de données CORINE Land Cover produite dans le cadre du programme européen Copernicus, piloté par l'Agence européenne pour l'environnement

des sites à partir d'une typologie des pressions que nous avons établie (cf. partie 3.1.5).

2.3. Critères d'évaluation retenus

Considérant les données mobilisables listées précédemment, une liste de critères d'évaluation du PGE a été établie. Ces critères sont regroupés en deux catégories. La première catégorie concerne les **caractéristiques intrinsèques du site** : surface totale, occupation des sols, pourcentage de surface dégradée, intensité moyenne de la dégradation et sources de pressions considérées comme levables⁶ recensées. La seconde catégorie concerne les **caractéristiques du contexte paysager dans lequel s'insère le site** : qualité écologique du contexte paysager en termes d'occupation des sols et connectivité du paysage. Pour chaque site, les caractéristiques du contexte paysager sont étudiées à l'échelle des zones tampons de 1000 et 5000 m autour du périmètre du site. Notons que le choix de ces deux échelles d'étude est contraint par le fonctionnement de la boîte à outils BOB. La façon dont nous exploitons les données à notre disposition pour évaluer chacun de ces critères est détaillée dans la partie 3.

Chacun des critères ci-dessus est associé à une ou plusieurs variable(s) numérique(s). Pour chaque site, la méthode produit ensuite une **évaluation qualitative du PGE** (nul ou très faible⁷, faible, moyen ou fort), **critère par critère** : PGE lié à la surface totale du site, PGE lié à l'occupation des sols, etc. Compte tenu des limites de l'exercice, et des données disponibles, nous avons choisi de ne pas produire une évaluation du PGE sous la forme d'une évaluation finale unique. En revanche, pour fournir une appréciation plus globale du PGE de chaque site, notre méthode synthétise les évaluations de différents critères que nous avons jugés intéressants de croiser. Pour chaque site trois synthèses sont proposées : le PGE lié à la qualité écologique globale du contexte paysager en termes d'occupation des sols et de connectivité, le PGE lié à la taille du site relativement à la qualité écologique du contexte paysager, et le PGE lié à la marge de progrès probable sur le site compte tenu de l'occupation des sols et des pressions « levables ».

2.4. Démarche adoptée pour l'élaboration de la méthode

Dans un premier temps, une réflexion a été menée sur les critères d'évaluation du PGE pertinents et disponibles. Une méthode devait ensuite être conçue pour évaluer qualitativement le PGE lié à chaque critère. Autrement dit, nous devons discrétiser chaque critère, en fixant des bornes permettant de découper sa distribution en quatre classes, correspondant chacune à un niveau possible de PGE (nul, faible, moyen ou fort). La discrétisation de chaque critère doit permettre de conserver son information tout en la simplifiant. Pour ajuster au mieux les bornes de discrétisation, nous avons constitué un échantillon de sites afin de tester notre méthode et avoir une idée de la distribution des critères.

Notre échantillon est composé de 837 sites, répartis sur l'ensemble du territoire métropolitain. 309 de ces sites nous ont été fournis par le CEN⁸ d'Occitanie, 87 par le CEN de l'Isère, 30 par le CEN des Hauts-de-France, un par le CEN des Pays de la Loire, 200 par la communauté d'agglomération du Grand Angoulême, 143 par l'Établissement Public Foncier

⁶ Nous qualifions ici de « levables » les pressions pouvant *a priori* être levées

⁷ Par simplification, nous avons adopté dans l'ensemble du rapport 4 catégories de potentiel de gain écologique : nul, faible, moyen et fort. Dans la réalité, un potentiel de gain écologique nul est extrêmement rare et il conviendrait de désigner la catégorie par le terme « très faible ».

⁸ Conservatoire d'espaces naturels

de Grand Est, 54 par l'Agence des espaces verts d'Ile-de-France et 14 par la CDC⁹ Biodiversité. Pour chaque lot de sites, nous avons reçu une couche géographique contenant la localisation des sites sous forme de polygones. Après avoir mis en forme ces couches (tri des sites, correction des erreurs de géométrie, attribution d'un identifiant unique à chaque site), nous les avons transmises à l'équipe en charge de la boîte à outils BOB au sein de PatriNat pour récupérer les données de l'INPN synthétisées par site. Par ailleurs, nous avons pu obtenir la liste des sources de pressions s'exerçant sur 30 sites parmi les 837 de l'échantillon, lors d'entretiens téléphoniques organisés avec les propriétaires ou gestionnaires de ces sites (pour 20 sites) ou lors d'une session de terrain organisée dans le département de l'Isère (pour 10 sites).

Pour automatiser l'application de notre méthode aux sites de l'échantillon, un script R a été rédigé (Annexe 7). Nous avons ensuite étudié la distribution des critères d'évaluation du PGE calculés sur l'échantillon, afin d'ajuster au mieux les bornes de discrétisation de chaque critère.

Compte tenu de la taille importante de notre échantillon et de la diversité des sites qui le composent, tant en termes de surface que d'occupation des sols et de contexte écologique, nous émettons l'hypothèse que les distributions observées sur notre échantillon sont représentatives de ce que l'on pourrait obtenir sur l'ensemble du territoire métropolitain.

Tout au long du travail, les modalités d'évaluation du PGE ont fait l'objet de discussions et d'arbitrages au sein du groupe de travail du projet POGEIS.

3. Modalités d'évaluation du potentiel de gain écologique

Dans cette partie, Pour chacun des critères retenus dans notre méthode pour évaluer le PGE, nous argumentons le choix du critère, présentons la façon dont il est calculé, le choix des bornes fixées pour le discrétiser et proposer une évaluation qualitative du PGE par critère, et apportons des éléments de discussion. Comme expliqué dans la partie 2.4, nous nous appuyons en partie sur les résultats obtenus à l'issue du test de la méthode sur notre échantillon de sites pour ajuster les bornes de discrétisation de chaque critère. Nous avons représenté par des histogrammes et diagrammes en barres la distribution des critères d'évaluation du PGE calculés sur l'échantillon. À titre indicatif, un tableau résumant les paramètres statistiques de ces distributions se trouve en Annexe 4.

3.1. Critères liés aux caractéristiques intrinsèques du site

3.1.1. Surface totale du site

Description du critère et mode de calcul

La surface totale du site est une première donnée essentielle pour évaluer le PGE, car elle conditionne en grande partie la capacité du site à accueillir un écosystème riche et fonctionnel (Bezombes et Regnery, 2020 ; Aubry *et al.*, 2020). Les écosystèmes de grande taille

⁹ Caisse des dépôts et consignations

seraient également moins vulnérables face aux perturbations environnementales, donc plus stables (Greig *et al.*, 2021). Par ailleurs, il a été montré que les actions de génie écologique avaient plus de chances d’aboutir rapidement à des écosystèmes fonctionnels et résilients sur des sites de plus grande taille (Moreno-Mateos *et al.*, 2012). C’est pourquoi la méthode que nous proposons fait l’hypothèse que le PGE d’un site est positivement corrélé à sa surface. Ici, nous notons **SurfTot** la surface totale du site et **PGE(SurfTot)** le PGE associé. Pour chaque site, la valeur de *SurfTot* est calculée par la boîte à outils BOB, à partir de la couche géographique qui contient le polygone délimitant le périmètre du site.

Discrétisation et évaluation qualitative du PGE lié à ce critère

Sur notre échantillon, l’étendue de la variable *SurfTot* est très large, allant de 0,02 ha à 5651,75 ha (Annexe 4). Toutefois, la distribution de *SurfTot* présente une très forte asymétrie, avec une grande majorité de sites ayant de faibles surfaces (Fig. 1A et 1B). Nous avons choisi de fixer arbitrairement à 1 ha et 10 ha les bornes de discrétisation du critère *SurfTot* (Tableau 1). Lorsque les sites ont une superficie inférieure à 1 ha, on considère que le potentiel de gain écologique lié à la surface est faible. A l’inverse, lorsque la superficie est supérieure à 10 ha, on considère que le potentiel de gain écologique lié à la surface est fort. Notons que *SurfTot* est le seul critère ne pouvant être associé à un PGE nul dans notre méthode, car il ne peut être égal à zéro.

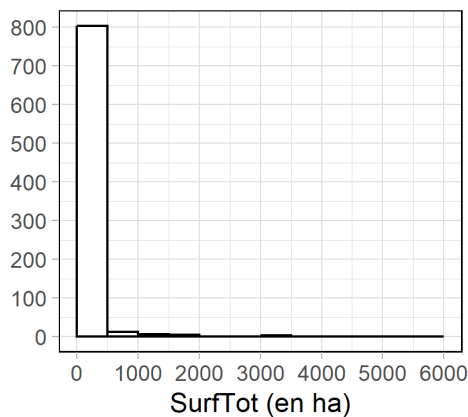


Fig 1A : Nombre de sites de l'échantillon dans les différentes classes de surface

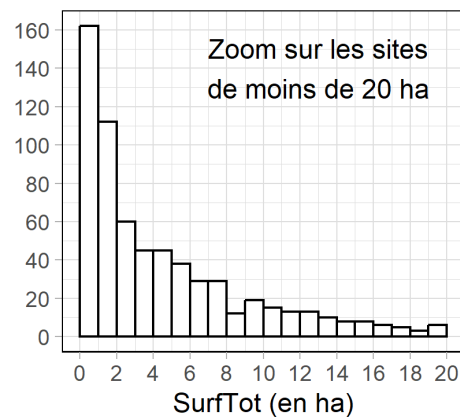


Fig 1B : Détail du nombre de sites de l'échantillon dans les classes de surface de moins de 20 ha

SurfTot (en ha)	PGE(SurfTot)
]0 ; 1[Faible
[1 ; 10[Moyen
[10 ; + ∞[Fort

Tableau 1 : Intervalles de discrétisation de la variable *SurfTot* permettant l'évaluation qualitative de PGE(*SurfTot*).

Discussion

Le critère de surface est déterminant pour évaluer le PGE d’un site, mais particulièrement délicat à appréhender. En effet, la surface minimale pertinente pour un projet de restauration écologique dépend des espèces ciblées, de la taille de leur domaine vital et de leur capacité de dispersion. Idéalement, les sites choisis pour mettre en œuvre des mesures de gain

écologique devraient être suffisamment grands pour permettre aux espèces ciblées d'accomplir l'ensemble de leur cycle de vie. A défaut ils devraient être insérés dans un contexte paysager favorable offrant des habitats complémentaires, dans un périmètre accessible aux espèces ciblées compte tenu de leur capacité de dispersion (Aubry et al., 2020).

Dans le cadre de notre méthode, le critère de surface est compliqué à appréhender car nous souhaitons évaluer le PGE toutes composantes de biodiversité confondues. En effet, rappelons que l'inventaire de sites à fort PGE n'intervient qu'en phase de pré-repérage de sites mobilisables pour de potentielles futures actions de restauration écologique, dont nous ne pouvons préfigurer ni la nature, ni les objectifs. Entre autres, nous ne pouvons pas anticiper les espèces qui pourront être ciblées par ces futurs projets. Si certaines recommandations existent concernant la taille minimale des sites de compensation - les services environnementaux américains du Wisconsin et de Georgia conseillent par exemple une surface minimale comprise entre 10 et 40 ha (USACE, 2011 ; USACE & WDNR, 2013) – il est en réalité difficile, sinon impossible, de définir une surface minimale universelle. Les bornes fixées ici pour évaluer qualitativement le PGE lié à la surface totale de chaque site sont donc arbitraires et largement discutables. L'évaluation que nous fournissons de ce critère est donc à considérer avec précaution. Il reviendra ensuite aux maîtres d'ouvrage la responsabilité d'évaluer plus précisément la surface nécessaire à la mise en œuvre de leurs mesures de restauration écologique, compte tenu des objectifs de gain écologique qu'ils souhaitent atteindre.

Les bornes de 1 et 10 ha que nous avons fixées nous semblent toutefois intéressantes pour effectuer un premier tri des sites versés à l'inventaire. En effet, nous avons vu que la majorité des mesures de compensation mises en œuvre en France à ce jour l'ont été sur des sites de très faible surface, souvent inférieurs à 1 ha. Il nous semble donc qu'orienter les maîtres d'ouvrage préférentiellement vers des sites de compensation ayant une surface supérieure à 1 voire 10 ha constituerait déjà un progrès notable.

3.1.2. Occupation des sols

Description du critère et mode de calcul

En France, plus de la moitié des sites de compensation recensés sur la base de données GéoMCE¹⁰ ont une surface inférieure à 1 ha (Aubry et al., 2020). Cette relativement faible surface exige que la résolution spatiale utilisée pour décrire les sites soit suffisamment fine (<1 ha), ce qui à ce jour n'est le cas d'aucune base de données nationale renseignant l'état écologique des habitats naturels de France métropolitaine. À titre d'exemple, les données issues des rapportages de la Directive Habitat-Faune-Flore disponibles sur l'INPN ne renseignent l'état de conservation des habitats naturels d'intérêt communautaire qu'à l'échelle des régions biogéographiques françaises¹¹. Par conséquent, nous avons choisi d'estimer l'état écologique des sites versés à l'inventaire à partir des données d'occupation des sols fournies par la boîte à outils BOB.

Pour chaque site, deux nomenclatures sont disponibles : OSO et CLC (Tableau 2). La résolution des données CLC ne permettant pas de détecter les unités homogènes d'occupation des sols inférieures à 25 ha, elle n'est pas suffisante dans le cadre de POGES. Ce sont donc les données OSO qui ont été retenues, car elles possèdent une meilleure résolution spatiale et sont mises à jour plus fréquemment.

¹⁰ Outil de géolocalisation des mesures de compensation écologique, élaboré par le ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires avec la contribution de l'OFB.

¹¹ En France, on dénombre quatre régions biogéographiques terrestres (atlantique, alpine, continentale et méditerranéenne) et deux régions marines (marine atlantique et marine méditerranéenne).

Nomenclature	OSO	CLC
Description	Données produites par le Centre d'expertise scientifique « Occupation des Sols » (OSO) du pôle THEIA	Données issues de la base CORINE Land Cover produite dans le cadre du programme européen Copernicus
Couverture géographique	France métropolitaine uniquement	39 États européens dont la France métropolitaine et d'outre-mer
Fréquence de mise à jour	Tous les ans	Tous les 5 à 10 ans
Méthode de production	Photointerprétation d'images satellitaires	Photointerprétation d'images satellitaires
Unité minimale de collecte*	0,1 ha	25 ha
Nombre de classes	17 classes	44 classes

Tableau 2 : analyse comparée des données d'occupation des sols disponibles

Les données de synthèse fournies par la boîte à outils BOB renseignent la surface occupée par chaque classe OSO sur chaque site.

Pour en déduire une approximation de l'état écologique des sites, nous avons regroupé les 17 classes OSO en quatre catégories, selon leur degré de naturalité supposé (Tableau 3). Nous nous basons ici sur la définition de naturalité proposée par Regnery (2017) : « Le concept de naturalité est traduit du mot anglais "wilderness", qui désigne le caractère sauvage, intact et/ou fragile de la nature. La naturalité peut se représenter comme un degré de non-anthropisation, qui va du sol très artificialisé (sans végétation) à l'écosystème primaire n'ayant jamais été exploité par l'homme ». Pour cette première version, nous avons ensuite attribué à chaque catégorie une note arbitraire comprise entre 0 et 10, reflétant la marge de progrès probable en termes de naturalité. La note de 0 a été attribuée aux surfaces sur lesquelles la marge de progrès en termes de naturalité est *a priori* considérée comme trop faible pour être notable dans le cadre de notre travail (pelouses, surfaces minérales, plages, dunes, glaciers et surfaces enneigées) et la note de 10 a été attribuée aux surfaces artificialisées, où la marge de progrès est *a priori* la plus élevée. Pour les autres classes, nous avons attribué des notes intermédiaires (4 et 7) selon le degré d'anthropisation estimé au regard des usages généralement constatés dans ces espaces. Ces choix ont fait l'objet de discussions avec les membres du groupe de travail POGES et sont susceptibles d'évoluer dans des versions ultérieures de la méthode.

Classe OSO	Note
Urbain dense	10
Urbain diffus	10
Zones industrielles et commerciales	10
Routes	10
Culture été	7
Culture hiver	7
Vergers	7
Vignes	7
Prairies	4
Forêt feuillus	4
Forêt conifères	4
Landes ligneuses	4
Eau	4
Pelouses	0
Surfaces minérales	0
Plages et dunes	0
Glaciers ou neige	0

Tableau 3 : Notation des différentes classes OSO selon leur degré d'anthropisation supposé

Nous avons ensuite conçu un indicateur noté **OccSol**, afin d'attribuer une note globale à l'occupation des sols sur chaque site. Le PGE associé est noté **PGE(OccSol)**. Nous avons rapporté OccSol à la surface totale du site :

$$OccSol = \sum_i \frac{SurfOSO_{i,site} * NoteOSO_{i,site}}{SurfTot}$$

De cette façon, OccSol correspond à la note moyenne des classes OSO présentes sur le site, pondérée par la surface occupée par chacune d'entre elles. Autrement dit, OccSol reflète la marge de progrès moyenne, en termes de naturalité, sur l'occupation des sols du site. OccSol est une variable continue comprise dans l'intervalle [0 ; 10] et PGE(OccSol) est a priori d'autant plus fort que OccSol se rapproche de 10.

Discrétisation et évaluation qualitative du PGE lié à ce critère

Pour discrétiser le critère OccSol sans perdre l'information qu'il renseigne sur l'occupation des sols, les bornes de discrétisation ont été fixées en cohérence avec le système de notation des classes OSO que nous avons établi (Tableau 4). Dans le cas d'un site entièrement couvert de pelouses, surfaces minérales, plages, dunes, glaciers et/ou surfaces enneigées, OccSol vaut 0 et nous considérons que PGE(OccSol) est a priori nul. Dans le cas d'un site entièrement couvert de prairies, forêts, landes ligneuses et/ou surfaces d'eau, OccSol vaut 4 et nous considérons que PGE(OccSol) est a priori moyen. Comme expliqué précédemment, le degré de naturalité de ces surfaces peut en réalité être très variable d'un site à un autre. C'est pourquoi nous avons choisi de leur associer un PGE moyen, au lieu de trancher d'office entre faible ou fort. Finalement, dans le cas d'un site entièrement cultivé ou artificialisé, OccSol vaut respectivement 7 et 10 et nous considérons dans les deux cas que PGE(OccSol) est a priori fort.

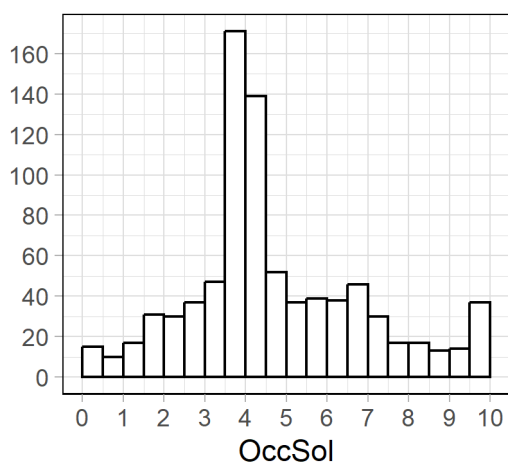


Figure 2 : Nombre de sites de l'échantillon dans les différentes classes de note d'Occupation du

sol (OccSol). Les résultats obtenus sur l'échantillon de sites peuvent ici être observés à titre indicatif (Fig. 2). Ils montrent qu'au sein de notre échantillon, nous avons une grande diversité de sites en termes d'occupation des sols. Les valeurs prises par OccSol vont de 0 à 10 et sa distribution est relativement symétrique malgré un pic marqué entre 3,5 et 4,5. Ce dernier est dû au fait que sur notre échantillon, les classes OSO auxquelles nous avons attribué une note de 4 sont sur-représentées en termes de surface (Annexe 5). L'observation de ces résultats est donc intéressante pour confirmer la diversité des sites constituant notre échantillon en termes d'occupation des sols.

sol (OccSol)

OccSol	PGE(OccSol)
0	Nul
]0 ; 4[Faible
[4 ; 7[Moyen
[7 ; 10]	Fort

Tableau 4. Intervalles de discrétisation de la variable OccSol permettant l'évaluation qualitative de PGE(OccSol).

Discussion

À partir des données à notre disposition, nous ne sommes pas en mesure d'évaluer précisément l'état écologique des sites versés à l'inventaire. Ici, les seules données que nous pouvons exploiter pour avoir une idée approximative de l'état écologique des sites sont les données d'occupation des sols OSO. Nous avons toutefois préféré parler de degré de naturalité plutôt que d'état écologique, car il faudrait avoir recours à une expertise beaucoup plus poussée pour évaluer rigoureusement l'état écologique des sites. D'après Maciejewski et al. (2017), l'état de conservation¹² d'un habitat traduit "l'état de ses éléments, de leurs interactions entre eux et avec l'environnement. Évaluer l'état de conservation d'un habitat nécessite donc d'évaluer la structure, la composition et les fonctions [...]. L'état de conservation devient favorable lorsque ces éléments concourent à un fonctionnement de l'habitat permettant sa pérennité dans le temps et sa stabilité ou son expansion dans l'espace".

Pour évaluer l'occupation des sols de chaque site, nous avons attribué par défaut une marge de progrès probable en termes de naturalité à chacune des classes de la nomenclature OSO. Les regroupements effectués (Tableau II) reposent sur des hypothèses fortes et discutables, car tous les types d'occupation des sols peuvent en réalité être plus ou moins anthropisés d'un site à un autre. Le test de notre méthode sur l'échantillon de sites a notamment montré que ce système de notation des classes OSO présentait des limites pour évaluer le pourcentage de surface dégradée sur un site. Selon cette méthode, toute surface dont l'occupation des sols correspond à une marge de progrès supérieure à zéro est considérée comme présentant un certain niveau de dégradation écologique. Ainsi les surfaces dont l'occupation des sols appartient aux modalités "forêts", "prairies", "landes ligneuses" ou "surfaces en eau" se retrouvent parmi les surfaces dégradées ce qui peut surprendre. Notre hypothèse est que ce type de surface possède *a priori* une marge de progrès non nulle en termes de naturalité, tout en admettant que leur niveau de dégradation soit en réalité très variable d'un site à l'autre. Pour chacune de ces classes d'occupation du sol, nous pouvons trouver des situations écologiquement très satisfaisantes (et donc avec un PGE nul), et des situations très dégradées du point de vue de leur naturalité (et donc avec un fort PGE). Les données dont nous disposons à ce stade ne nous permettant pas d'être plus précis, nous avons choisi une note modérée qui masque une forte hétérogénéité de situation. . Nous recommandons une expertise de terrain systématique pour les sites présentant une forte proportion de ces types d'occupation. Par ailleurs, il est important de souligner le risque d'erreur inhérent aux données d'occupation des sols OSO. En effet, ces dernières sont obtenues par photointerprétation automatique d'images satellitaires, sans vérification de terrain. Des erreurs de photointerprétation sont possibles et pourraient donc conduire à des erreurs d'appréciation du PGE lié à l'occupation des sols. Ces erreurs sont d'autant plus fréquentes que la surface du site est faible, et certains types d'habitats sont plus mal identifiés que d'autres (prairies humides, pelouses,...)

3.1.3. Pourcentage de surface dégradée

Description du critère et mode de calcul

En complément des deux critères précédents, nous étudions le pourcentage de surface dégradée à l'échelle du site. Nous notons **PctSurfDeg** le pourcentage de surface dégradée sur un site et **PGE(PctSurfDeg)** le PGE associé. Pour calculer **PctSurfDeg**, nous considérons comme *a priori* dégradées toutes les surfaces occupées par les classes OSO auxquelles nous avons attribué une note supérieure à 0 (Tableau II).

¹² Nous considérons que les notions d'état écologique et d'état de conservation sont équivalentes

$$PctSurfDeg = \frac{SurfDeg}{SurfTot} * 100$$

Ainsi :

où *SurfDeg* correspond à la surface du site considérée comme dégradée. *PctSurfDeg* est une variable continue comprise dans l'intervalle [0 ; 100] et *PGE(PctSurfDeg)* est *a priori* d'autant plus fort que *PctSurfDeg* se rapproche de 100 %.

Discrétisation et évaluation qualitative du PGE lié à ce critère

Sur notre échantillon, la distribution du critère *PctSurfDeg* présente une très forte asymétrie à droite. Bien que l'étendue des valeurs obtenues aille de 0 à 100 %, la médiane se situe à 99,95 % (Annexe 4). Pour rappel, nous estimons pour calculer *PctSurfDeg* que toutes les classes OSO auxquelles nous avons attribué une note supérieure à zéro présentent *a priori* un certain niveau de dégradation. Le pourcentage de surface dégradée inclut donc 13 des 17 classes de la nomenclature OSO. A l'échelle de notre échantillon, ces 13 classes OSO couvrent 81 % de la surface totale de tous les sites réunis (Annexe 5). Il n'est donc pas étonnant que le pourcentage de surface dégradée calculé de cette façon soit souvent proche de 100 %.

Le test de la méthode sur notre échantillon montre donc que le critère *PctSurfDeg* n'est pas discriminant pour identifier les sites présentant un PGE plus important sur ce critère. Toutefois, nous avons choisi de le conserver car il renseigne sur l'étendue de la dégradation au sein d'un site. A ce stade, nous avons fixé arbitrairement les bornes de discrétisation de *PctSurfDeg* à 25 et 75 % (Tableau 5).

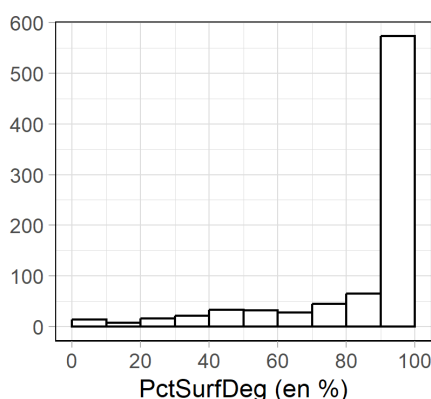


Fig 3 : Nombre de sites de l'échantillon dans les différentes classes de proportion de surface présumée dégradée (*PctSurfDeg*)

<i>PctSurfDeg</i>	<i>PGE(PctSurfDeg)</i>
0	Nul
]0 ; 25]	Faible
]25 ; 75[Moyen
[75 ; 100]	Fort

Tableau 5. Intervalles de discrétisation de la variable *PctSurfDeg* permettant l'évaluation qualitative de *PGE(PctSurfDeg)*.

3.1.4. Intensité moyenne de la dégradation

Description du critère et mode de calcul

Nous souhaitons ensuite préciser le critère *PctSurfDeg* en évaluant l'intensité moyenne de la dégradation sur la partie du site considérée comme dégradée. Ainsi, nous espérons pouvoir distinguer les sites ayant le même pourcentage de surface dégradée, mais une dégradation d'intensité différente. Nous notons **DegMoy** l'intensité moyenne de la dégradation d'un site et **PGE(DegMoy)** le PGE associé. *DegMoy* est calculé de la façon suivante :

$$DegMoy = \sum_i \frac{SurfOSO_{i,site} * NoteOSO_{i,site}}{SurfDeg}$$

Ainsi, $DegMoy$ correspond à la note moyenne des classes OSO considérées comme dégradées, pondérée par la surface occupée par chacune d'entre elles. Notons que cette formule ne peut pas être appliquée si $SurfDeg = 0$. Dans ce cas-là, nous attribuons par défaut la note de 0 à $DegMoy$. Si $SurfDeg > 0$, $DegMoy$ peut prendre n'importe quelle valeur dans l'intervalle $[4 ; 10]$. $PGE(DegMoy)$ est alors *a priori* d'autant plus fort que $DegMoy$ se rapproche de 10.

Discrétisation et évaluation qualitative du PGE lié à ce critère

De la même manière que pour $OccSol$, les bornes de discrétisation du critère $DegMoy$ ont été fixées en cohérence avec le système de notation des classes OSO établi dans la partie 3.1.2. Pour rappel, la partie du site considérée comme *a priori* dégradée inclut les surfaces couvertes par les classes OSO auxquelles nous avons attribué une note de 4, 7 ou 10. Les intervalles de discrétisation de $DegMoy$ ont donc été structurés autour de ces notes, de sorte à ce que $PGE(PctSurfDeg)$ soit faible pour un site dont la surface dégradée ne contient que des prairies, forêts, landes ligneuses et/ou surfaces d'eau, moyen pour un site dont la surface dégradée ne contient que des surfaces cultivées et fort pour un site dont la surface dégradée ne contient que des surfaces artificialisées (Tableau 6).

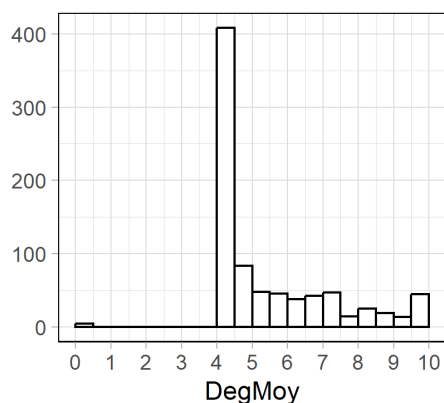


Fig 4 : Nombre de sites de l'échantillon dans les différentes classes de note moyenne de dégradation du site ($DegMoy$)

$DegMoy$	$PGE(DegMoy)$
0	Nul
$[4 ; 6[$	Faible
$[6 ; 8[$	Moyen
$[8 ; 10]$	Fort

Tableau 6. Intervalles de discrétisation de la variable $DegMoy$ permettant l'évaluation qualitative de $PGE(DegMoy)$.

3.1.5. Pressions « levables » recensées

Description du critère et mode de calcul

Nous souhaitons ensuite étudier les pressions pouvant s'exercer sur les sites. En effet, celles-ci pourraient compromettre la création de gain écologique si elles ne peuvent être ni levées, ni contrôlées. A l'inverse, la levée de certaines pressions pourrait être source de gain écologique (Aubry et al., 2020). Par exemple, la mise en défens d'un site très fréquenté par le public pourrait permettre d'augmenter sa capacité d'accueil de la biodiversité, en limitant le

dérangement des espèces et les dégradations dues au piétinement ou aux actes malveillants.

En nous inspirant des travaux de Salafsky *et al.* (2008), nous avons établi une liste de 33 types de pressions pouvant s'exercer sur les sites versés à l'inventaire (Tableau III). Nous avons ensuite regroupé ces pressions en deux catégories : les pressions « levables » (sur lesquelles nous estimons qu'il est généralement possible d'agir pour générer du gain écologique) et les pressions « non levables » (sur lesquelles nous estimons qu'il n'est généralement pas possible d'agir). Les pressions « non-levables » n'entreront pas dans l'évaluation du PGE, mais apparaîtront sous forme de messages d'alerte sur les fiches de synthèse des sites car elles constituent des facteurs limitants pouvant compromettre la création de gain écologique. L'intensité de chaque pression sera notée par les apporteurs de sites de façon qualitative (et subjective) : nulle, faible, moyenne ou forte. Cette note sera ensuite traduite numériquement : 0 pour les pressions nulles, 1 pour les pressions faibles, 2 pour les pressions moyennes et 3 pour les pressions fortes. Pour chaque site, le PGE lié aux pressions « levables », noté **PGE(Plev)**, est la somme de l'intensité des pressions « levables » recensées.

Tableau 7. Typologie des pressions pouvant s'exercer sur les sites versés à l'inventaire POGEIS. Les pressions a priori « non levables » sont notées en rouge.

Catégories de pressions	Sous-catégories
Activités agricoles et sylvicoles	Cultures
	Sylviculture
	Élevage
	Aquaculture
Exploitation de ressources biologiques	Chasse
	Cueillette
	Pêche
Fréquentation humaine	/
Sols artificialisés (aménagement surfaciques)	Espaces bâtis ou imperméabilisés
	Terrains de loisir
Infrastructures linéaires de transport / de service	Routes
	Voies ferrées
	Infrastructures de transport d'énergie et autres ressources
Production d'énergie / exploitation minière	Forage pétrolier ou gazier
	Mine ou carrière
	Production d'énergies renouvelables
Pollutions	Pollution chimique
	Déchets végétaux
	Déchets autres
	Pollution lumineuse
	Pollution sonore
	Pollution thermique
Espèces perturbant l'écosystème	Espèces exotiques envahissantes et autres espèces allochtones
	Espèces indigènes perturbant l'écosystème
Aménagements / pratiques de gestion liés à des impératifs de sécurité des biens et des personnes	Pratiques ou aménagements liés à la gestion du risque d'incendie
	Barrages et autres modifications de l'écoulement des eaux
	Contraintes liées aux risques technologiques
Évènements géologiques	Activité volcanique
	Séismes / tsunamis
	Avalanches / glissements de terrain
Phénomènes météorologiques extrêmes / changement climatique	Sécheresses
	Températures extrêmes
	Tempêtes et inondations

Discrétisation et évaluation qualitative du PGE lié à ce critère

Les bornes de discrétisation du critère **PGE(Plev)** ont été fixées à partir de la distribution de ce critère sur notre sous-échantillon de 30 sites. Lors de nos échanges avec les propriétaires ou gestionnaires de ces sites, nous avons constaté que ces derniers rencontraient parfois des difficultés pour estimer l'intensité des pressions s'exerçant sur leur(s) site(s) et avaient tendance à leur attribuer par défaut une intensité faible. Par conséquent, nous attribuons le score faible aux notes du premier quartile de notre échantillon, moyen aux notes du second quartile, et fort à toutes les notes supérieures à la médiane.

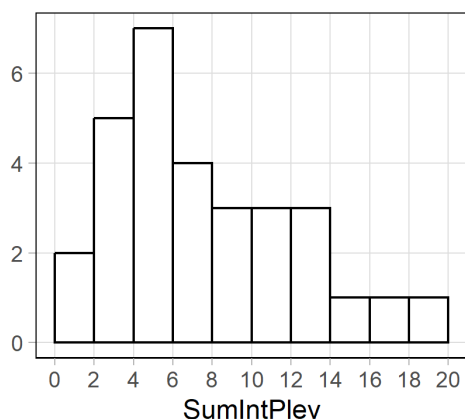


Fig 5 : Nombre de sites de l'échantillon dans les différentes classes de somme de l'intensité des pressions levables signalées (SumIntPlev)

Somme des intensités des pressions levables	valeur
0	Nul
]0 ; 4]	Faible
]4 ; 7]	Moyen
>7	Fort

Tableau 8. Tableau de discrétisation des valeurs de PGE(Plev).

Discussion

Le test sur 30 sites de la méthode d'évaluation des pressions suggère que la nouvelle typologie des pressions que nous avons établie est suffisamment exhaustive. Lors de nos échanges avec certains des propriétaires ou gestionnaires des sites de cet échantillon, nous avons également constaté que la typologie établie semblait facilement compréhensible par ces derniers. Nous notons toutefois que l'appréciation de l'intensité des pressions par les propriétaires ou gestionnaires des sites est très subjective et dépendante de leur niveau d'expertise et de connaissance des sites. L'évaluation du potentiel de gain écologique qui en découle est donc à considérer avec précaution. Néanmoins, elle fournit une information intéressante sur la perception que les propriétaires ou gestionnaires ont des enjeux écologiques sur leurs sites.

Par ailleurs, la distinction entre pressions « levables » et « non levables » a été source de débats lors du développement de la méthode. Par exemple, nous avons considéré par défaut que les barrages ou autres obstacles à l'écoulement des eaux constituaient par défaut des pressions « levables ». Or dans certains cas, ces obstacles ne peuvent pas être retirés (par exemple dans le cas d'un barrage hydroélectrique ou d'une écluse en fonctionnement). En réalité, le caractère levable des pressions sur chaque site devra donc être étudié au cas par cas par les maîtres d'ouvrage recherchant un site de restauration écologique. Nous pensons néanmoins que l'évaluation des pressions fournie par notre méthode est intéressante pour avoir une première idée approximative des opportunités de gain écologique liées aux pressions possiblement « levables » sur un site.

3.2. Critères liés aux caractéristiques du contexte paysager

3.2.1. Qualité écologique du contexte paysager en termes d'occupation des sols

Description du critère et mode de calcul

Pour évaluer la qualité écologique du contexte paysager nous considérons l'occupation des sols, dans les zones tampons de 1000 et 5000 m autour du périmètre du site. Ici, nous avons regroupé les classes OSO en trois catégories selon leur capacité croissante d'accueil de la biodiversité, notée de 1 à 5 (des zones artificielles aux zones naturelles, cf. Tableau IV). Nous avons ensuite conçu les critères **QualiEnv1000** et **QualiEnv5000**, permettant d'attribuer une note à la qualité écologique du contexte paysager en termes d'occupation des sols dans les zones tampons de respectivement 1000 et 5000 m autour du périmètre du site :

$$QualiEnv1000 = \sum_i \frac{SurfOSO_{i,1000} * NoteOSO_{i,env}}{SurfTot_{1000}}$$

$$QualiEnv5000 = \sum_i \frac{SurfOSO_{i,5000} * NoteOSO_{i,env}}{SurfTot_{5000}}$$

où $SurfOSO_{i,1000}$ et $SurfOSO_{i,5000}$ désignent respectivement la surface occupée par la classe OSO i dans la zone tampon de 1000 m et 5000 m autour du périmètre du site, $NoteOSO_{i,env}$ désigne la note attribuée à la classe OSO i à l'échelle des zones tampons et $SurfTot_{1000}$ et $SurfTot_{5000}$ désignent respectivement la surface totale de la zone tampon de 1000 m et 5000 m autour du périmètre du site. **QualiEnv1000** et **QualiEnv5000** sont deux variables continues comprises dans l'intervalle [1 ; 5]. Le PGE associé à **QualiEnv1000**, noté **PGE(QualiEnv1000)**, et celui associé à **QualiEnv5000**, noté **PGE(QualiEnv5000)**, sont *a priori* d'autant plus fort que **QualiEnv1000** et **QualiEnv5000** sont proches de 5.

Tableau 9. Notes attribuées aux classes d'occupation des sols OSO à l'échelle des zones tampons de 1000 m et 5000 m autour du périmètre du site, selon leur capacité supposée d'accueil de la biodiversité (1 : défavorable ; 2 : moyennement favorable ; 5 : favorable).

Classe OSO	Note
Urbain dense	1
Urbain diffus	1
Zones industrielles et commerciales	1
Routes	1
Culture été	2
Culture hiver	2
Vergers	2
Vignes	2
Prairies	5
Forêt feuillus	5
Forêt conifères	5
Landes ligneuses	5
Eau	5
Pelouses	5
Surfaces minérales	5
Plages et dunes	5
Glaciers ou neige	5

Remarque concernant les sites littoraux ou frontaliers :

La couche géographique OSO étant limitée à la France métropolitaine et au milieu terrestre, elle ne couvre pas l'entièreté des zones tampons autour du périmètre des sites situés à moins de 1000 m ou 5000 m de la limite terre-mer ou d'une frontière (exemple en Annexe 2).

Lorsque c'est le cas, nous rapportons les critères *QualiEnv1000* et *QualiEnv5000* à la surface totale couverte par la couche OSO dans les zones tampons respectives plutôt qu'à la surface totale des zones tampons respectives.

Discrétisation et évaluation qualitative du PGE lié à ce critère

Pour les critères *QualiEnv1000* et *QualiEnv5000*, les bornes de discrétisation ont été fixées en cohérence avec le système de notation des classes OSO à l'échelle du paysage (Tableau 9). De façon arbitraire, *QualiEnv1000* (ou *QualiEnv5000*) vaut 1 si la zone tampon de 1000 m (ou 5000 m) autour d'un site est entièrement artificialisée, 2 si elle est entièrement cultivée et 5 si elle est entièrement composée d'habitats naturels ou semi-naturels. Dans ces trois cas, nous considérons que le PGE associé est *a priori* respectivement nul, faible et fort.

Tableau 10. Intervalles de discrétisation des variables *QualiEnv1000* et *QualiEnv5000* permettant l'évaluation qualitative de *PGE(QualiEnv1000)* et *PGE(QualiEnv5000)*.

<i>QualiEnv1000</i> / <i>QualiEnv5000</i>	<i>PGE(QualiEnv1000)</i> / <i>PGE(QualiEnv5000)</i>
1	Nul
]1 ; 2]	Faible
]2 ; 3]	Moyen
]3 ; 5]	Fort

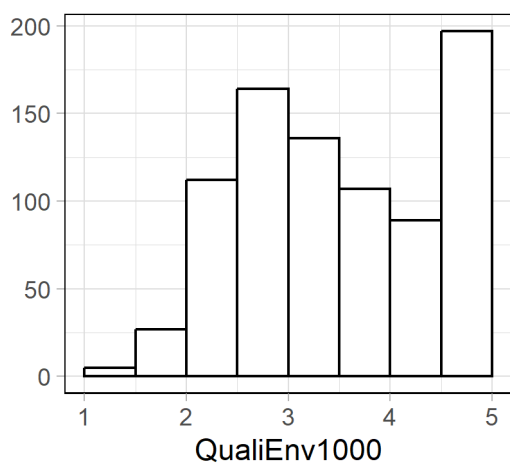


Fig 6 : Nombre de sites de l'échantillon dans les différentes classes de note de la qualité du paysage dans le tampon 1000 (*QualiEnv1000*)

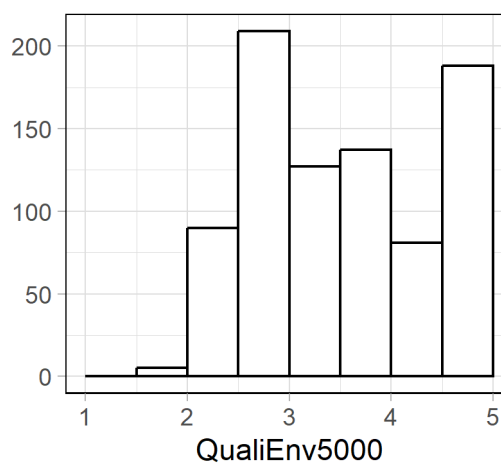


Fig 7 : Nombre de sites de l'échantillon dans les différentes classes de note de la qualité du paysage dans le tampon 5000 (*QualiEnv5000*)

Sur notre échantillon de sites, nous observons à titre indicatif que la distribution des critères *QualiEnv1000* et *QualiEnv5000* est asymétrique, avec peu de valeurs inférieures à 2 et un pic entre 4,5 et 5. Ceci est dû au fait que les classes OSO auxquelles nous avons attribué une note de 1 ou 2 pour le calcul de ces critères ne couvrent respectivement que 17 et 27 % de la surface totale de toutes les zones tampons de 5000 m autour des sites de l'échantillon, tandis que les classes OSO auxquelles nous avons attribué une note de 5, plus nombreuses, couvrent 56 % de cette même surface (Annexe 6).

3.2.2. Connectivité du paysage

Description du critère et mode de calcul

Pour finir, nous étudions la connectivité du paysage dans lequel s'insère le site. La connectivité peut être définie comme le degré avec lequel le paysage facilite ou influence, pour une espèce donnée, les mouvements d'individus entre tâches d'habitat préférentiel (Taylor *et al.*, 1993). On distingue deux types de connectivité (Merriam, 1984) : la connectivité structurelle, qui reflète uniquement la structure et la configuration spatiale des éléments paysagers, et la connectivité fonctionnelle, qui tient également compte de l'intérêt effectif des éléments paysagers pour les espèces présentes. Calabrese et Fagan (2004) distinguent ensuite la connectivité fonctionnelle réelle, estimée en observant les déplacements réels d'individus, et la connectivité fonctionnelle potentielle, estimée à l'aide de modèles de simulation spatiale. La connectivité fonctionnelle est donc plus informative, mais plus lourde à étudier. Dans le cadre de cette première version de POGES, nous ne disposons d'aucune donnée concernant les espèces présentes sur les sites. Aussi, nous proposons d'évaluer uniquement la connectivité structurelle, en considérant d'une part les réservoirs de biodiversité et d'autre part les corridors écologiques. Nous faisons l'hypothèse que la présence des réservoirs de biodiversité dans le paysage favorise d'autant plus la connexion d'un site aux réseaux écologiques, que ces réservoirs sont localisés à proximité du site. C'est pourquoi notre évaluation distingue les zones tampons de 1000m et 5000m pour calculer les proportions de surface de zone tampon contenue dans des réservoirs de biodiversité. Ces calculs sont réalisés grâce à la couche géographique des réservoirs de biodiversité fournie par la boîte à outils BOB, Les données relatives aux corridors écologiques sont renseignées d'une façon trop hétérogène d'une région à l'autre (Annexe 3), ce qui ne permet pas de concevoir un indicateur de la connectivité applicable dans toutes les régions. Considérant le rôle important des cours d'eau dans la Trame Verte et Bleue, à la fois comme corridors écologiques et réservoirs de biodiversité (INPN, s.d.), et disposant de données précises les concernant à l'échelle nationale (cf. couche géographique des cours d'eau du référentiel Topage), nous avons décidé de compléter l'évaluation de la connectivité en étudiant la longueur moyenne du linéaire de cours d'eau par hectare (en m/ha), calculée dans les zones tampons de 1000 et 5000 m autour de chaque site.

La connectivité du paysage est donc évaluée en fonction de la proportion de surface contenue dans un réservoir de biodiversité et de la longueur moyenne du linéaire de cours d'eau en m/ha dans les zones tampons de 1000 et 5000 m autour du site. À l'aide des deux formules suivantes, nous attribuons une note à la proportion de surface contenue dans un réservoir de biodiversité (**NoteRB**) et à la longueur moyenne du linéaire de cours d'eau en m/ha (**NoteCE**) :

$$\text{NoteRB} = \text{PropRB1000} * 2 + \text{PropRB5000}$$

$$\text{NoteCE} = \text{LineaireCE1000} * 2 + \text{LineaireCE5000}$$

où *PropRB1000* et *PropRB5000* désignent la proportion de surface contenue dans un réservoir de biodiversité dans les zones tampons de 1000 et 5000 m autour du site, et *LineaireCE1000* et *LineaireCE5000* désignent la longueur moyenne du linéaire de cours d'eau en m/ha dans les zones tampons de 1000 et 5000 m autour du site. Un coefficient de 2 est appliqué à *PropRB1000* et *LineaireCE1000* afin de donner plus de poids aux réservoirs de biodiversité et cours d'eau se trouvant dans le voisinage proche du site. Le PGE associé à ces deux critères, noté **PGE(Connectivité)**, sera ensuite évalué à l'aide d'un tableau à double entrée. Il est *priori* d'autant plus fort que la proportion de surface contenue dans un réservoir de biodiversité et/ou la longueur moyenne du linéaire de cours d'eau par hectare sont élevées.

Remarque concernant les sites frontaliers ou littoraux :

La couche géographique des réservoirs de biodiversité (fournie par la boîte à outils BOB) et celle des cours d'eau (fournie par Topage) sont limitées à la France métropolitaine et au milieu terrestre. Par conséquent, pour les sites situés à moins de 1000 ou 5000 m d'une frontière ou de la limite terre-mer, il est possible que le PGE lié à la connectivité du paysage soit sous-estimé.

Discrétisation et évaluation qualitative du PGE lié à ce critère

Pour évaluer qualitativement le PGE lié à la connectivité du paysage dans lequel s'insère un site, il faut discrétiser d'une part *NoteRB* et d'autre part *NoteCE*, avant de les croiser dans un tableau à double entrée pour en déduire *PGE(Connectivité)* (Tableau 11).

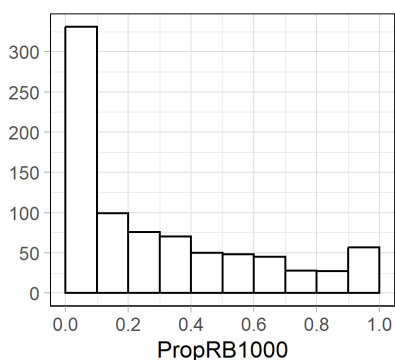


Fig 8 : Nombre de sites de l'échantillon dans les différentes classes de note de la proportion de réservoirs de biodiversité dans le tampon 1000

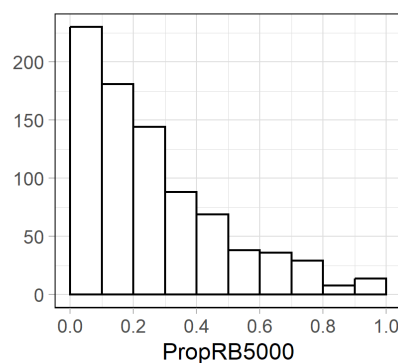


Fig 9 : Nombre de sites de l'échantillon dans les différentes classes de note de la proportion de réservoirs de biodiversité dans le tampon 5000

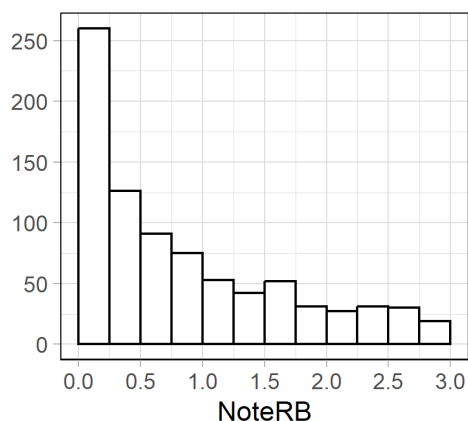


Fig 10 : Nombre de sites de l'échantillon dans les différentes classes de note de la proportion de réservoirs de biodiversité dans le paysage (Note RB)

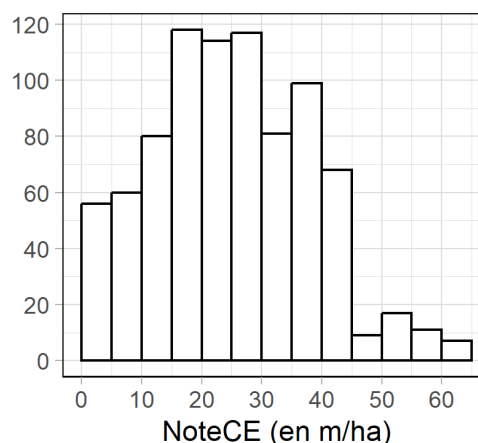


Fig 11 : Nombre de sites de l'échantillon dans les différentes classes de note linéaire de cours d'eau dans le paysage (Note CE)

Sur notre échantillon de sites, nous observons que la distribution du critère *NoteRB* est asymétrique à gauche (Fig. 10). Pour rappel, *NoteRB* est calculé pour chaque site à partir de *PropRB1000* et *PropRB5000*. Or ces deux variables présentent une distribution asymétrique à gauche dans le cas de notre échantillon (Fig. 8 et 9). Autrement dit, la proportion de surface comprise dans un réservoir de biodiversité, dans les zones tampons de 1000 et 5000 m autour de chaque site, est relativement faible pour la majorité des sites de l'échantillon ce qui explique la forme asymétrique de la distribution de *NoteRB*. Compte tenu de la forme de cette distribution, nous adoptons une méthode de discrétisation par progression arithmétique. Cette méthode est adaptée pour les distributions asymétriques à gauche car elle permet de créer des classes d'amplitude croissante. L'amplitude des classes augmente ainsi selon une progression arithmétique de raison R , où R correspond à l'étendue de la série divisée par l'addition des classes. Ici, nous souhaitons découper l'étendue de *NoteRB* en trois classes. L'amplitude de la première classe vaut $R=(3-0)/(1+2+3)=0,5$ (intervalle $[0 ; 0,5]$), celle de la seconde classe vaut $2 \times R=1$ (intervalle $]0,5 ; 1,5]$) et celle de la troisième classe vaut $3 \times R=1,5$ (intervalle $]1,5 ; 3]$). Nous distinguons ensuite le cas où *NoteRB* = 0, quand la proportion de surface contenue dans un réservoir de biodiversité est nulle, à la fois dans la zone tampon de 1000 m et dans celle de 5000 m autour du site.

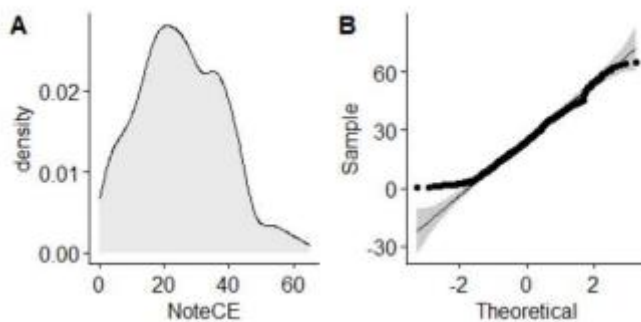


Fig 12 : Diagramme de densité(A) et QQ-Plot (B) de la variable Note CE

La distribution du critère *NoteCE* calculé sur notre échantillon présente une distribution relativement symétrique autour de la moyenne de 25,23 m/ha, avec une majorité de valeurs intermédiaires et relativement moins de valeurs extrêmes (Fig. 11). Cette distribution semble se rapprocher d'une distribution normale, comme le suggère par ailleurs l'analyse visuelle du diagramme de densité et du QQ-plot associés (Fig. 12). Pour vérifier cela, nous avons conduit un test statistique de Kolmogorov-Smirnov, qui a montré que la distribution du critère *NoteCE* sur l'échantillon n'était pas significativement différente d'une distribution normale (p -value = 0,28 avec un risque d'erreur $\sigma = 0,05$). Pour discrétiser le critère *NoteCE*, nous avons donc opté pour une méthode de discrétisation standardisée basée sur la moyenne et l'écart-type, adaptée pour les distributions supposées proches de la loi normale. Sur notre échantillon, la moyenne de *NoteCE* vaut = 25,23 m/ha et son écart-type vaut $\sigma = 13,23$ m/ha. Nous souhaitons découper l'étendue de *NoteCE* en 3 classes. Nous délimitons donc une classe centrale, centrée sur la moyenne, et décidons arbitrairement de fixer les bornes inférieure et supérieure de cette classe à $(-\sigma)$ et $(+\sigma)$, soit 10 et 40 (valeurs arrondies à la dizaine la plus proche). Les deux autres classes se trouvent de part et d'autre. Nous distinguons également le cas où *NoteCE* = 0, quand il n'y a aucun cours d'eau dans les zones tampons de 1000 et 5000 m autour du site.

Le critère *PGE(Connectivite)* est alors déduit du croisement de ces deux critères selon le tableau suivant (Tableau 11).

Tableau 11. Tableau à double entrée permettant l'évaluation qualitative de PGE(Connectivite) en fonction de NoteRB et NoteCE.

NoteCE NoteRB	0]0 ; 10]]10 ; 40]]40 ; +∞[
0	Nul	Faible	Faible	Moyen
]0 ; 0,5]	Faible	Faible	Moyen	Moyen
]0,5 ; 1,5]	Faible	Moyen	Moyen	Fort
]1,5 ; 3]	Moyen	Moyen	Fort	Fort

Discussion

Pour évaluer la connectivité du paysage dans lequel s'insère chaque site, les données dont nous disposons sont limitées. Il est notamment regrettable que nous ne puissions pas prendre en compte les données relatives aux corridors écologiques dans cette évaluation, mais leur trop grande hétérogénéité d'une région à une autre ne nous permettait pas de concevoir un indicateur de la connectivité applicable à tous les sites recensés dans l'inventaire quelle que soit leur localisation en France métropolitaine.

Par ailleurs, les données mobilisables ne permettent d'estimer que la connectivité structurelle du paysage. Notons que cette approche, qui ne tient pas compte des espèces présentes et de leurs déplacements réels dans le paysage, est limitée puisqu'en réalité, comme le rappellent Avon et Berges (2013) : « *La connectivité ne peut être définie que d'un point de vue de l'espèce dans le sens où elle résulte de l'interaction entre une espèce et le paysage qu'elle occupe. Le degré de connectivité d'un paysage varie ainsi selon l'espèce considérée et sa capacité à l'utiliser et donc selon la composition et la configuration spatiale des habitats. Ainsi, un paysage donné n'aura pas la même connectivité pour une espèce à faible capacité de dispersion que pour une espèce à forte capacité* ». L'évaluation que nous fournissons du PGE lié à la connectivité du paysage pour chaque site est donc très approximative. Toutefois, les données dont nous disposons à ce stade ne nous permettent pas d'être plus précis.

3.3. Évaluation du potentiel de gain écologique lié à la synthèse de critères relatifs au site et au contexte paysager

Les évaluations de chacun des critères précédents contribuent à l'appréciation globale du potentiel écologique d'un site. Compte tenu des limites de l'exercice et des données disponibles, elles ne sauraient se résumer à une évaluation finale unique. Néanmoins pour éclairer l'analyse des futurs utilisateurs de la méthode, ces évaluations sont complétées par trois analyses synthétiques croisant certains des critères précédents: le PGE lié à la qualité écologique globale du contexte paysager en termes d'occupation des sols et de connectivité, le PGE lié à la taille du site relativement à la qualité écologique du contexte paysager, et le PGE lié à la marge de progrès probable sur le site compte tenu de l'occupation des sols et des pressions « levables ».

3.3.1. Potentiel de gain écologique lié à la qualité écologique globale du contexte paysager

Partant du principe que la qualité écologique globale du contexte paysager dépend à la fois de l'occupation des sols et de sa connexion aux réseaux écologiques, nous proposons de croiser $PGE(QualiEnv1000)$, $PGE(QualiEnv5000)$ et $PGE(Connectivite)$ pour fournir une évaluation synthétique du PGE lié à la qualité globale du contexte paysager dans lequel s'insère chaque site, que nous notons $PGE(QualiEnvTot)$. Pour chaque site, le niveau de $PGE(QualiEnvTot)$ (nul, faible, moyen ou fort) est fixé en fonction de la proportion de critères associés à un niveau de PGE nul, faible, moyen ou fort parmi $PGE(QualiEnv1000)$, $PGE(QualiEnv5000)$ et $PGE(Connectivite)$ (Fig. 4). Par exemple, si au moins deux des trois critères sont associés à un PGE fort, alors $PGE(QualiEnvTot)$ est fort ; si au moins deux des trois critères sont associés à un PGE moyen, alors $PGE(QualiEnvTot)$ est moyen ; etc.

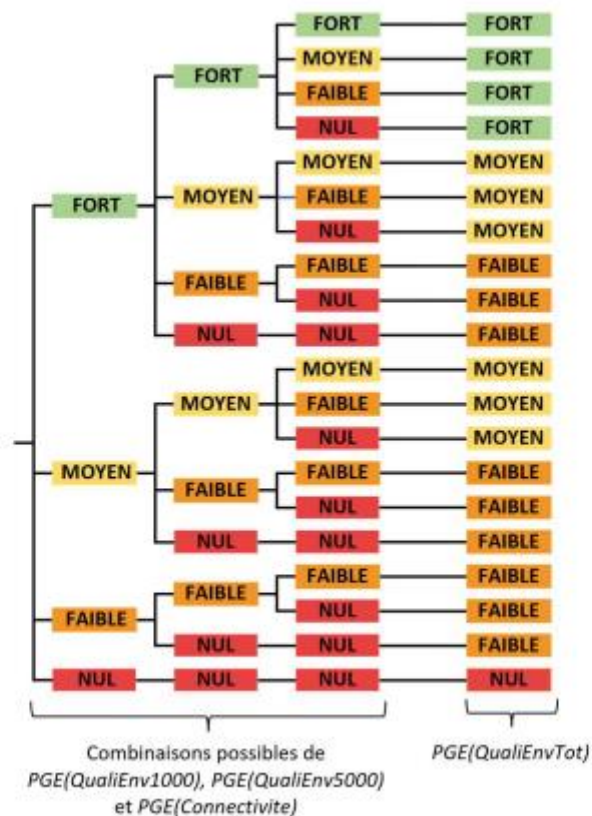


Fig 13 : Arbre de décision permettant d'évaluer le PGE lié à la qualité globale du contexte paysager $PGE(QualiEnvTot)$, en fonction des combinaisons possibles de $PGE(QualiEnv1000)$, $PGE(QualiEnv5000)$ et $PGE(Connectivite)$

3.3.2. Potentiel de gain écologique lié à la surface du site relativement à la qualité globale du contexte paysager

Considérant que le PGE des sites de petite taille dépend fortement de leur insertion dans une matrice d'habitats favorables à l'échelle du paysage, nous proposons ensuite de croiser $PGE(SurfTot)$ et $PGE(QualiEnvTot)$. Cette analyse synthétique réalisée à l'aide d'un tableau à double entrée (Tableau XIII) fournit une évaluation du PGE (notée $PGE(SurfTot, QualiEnvTot)$) qui tient compte de la surface du site relativement à la qualité globale de son contexte paysager.

Tableau 12. Tableau à double entrée permettant l'évaluation qualitative de PGE(SurfTot,QualiEnvTot) en fonction de PGE(SurfTot) et PGE(QualiEnvTot).

PGE(QualiEnvTot) PGE(SurfTot)	Nul	Faible	Moyen	Fort
Faible	Nul	Faible	Faible	Moyen
Moyen	Faible	Moyen	Moyen	Fort
Fort	Fort	Fort	Fort	Fort

3.3.3. Potentiel de gain écologique lié à la marge de progrès sur le site compte tenu de l'occupation des sols et des pressions « levables » recensées

Enfin, il nous a semblé pertinent de rendre compte du potentiel de gain écologique lié à la capacité d'agir sur le site pour améliorer son état écologique. Cette capacité d'action repose d'une part sur l'amélioration de l'état intrinsèque du site en termes d'habitats naturels (qui se traduit par une évolution de l'occupation du sol), et d'autre part sur la diminution des pressions qui s'exercent actuellement sur le site (facteur "pressions levables").

Ainsi nous croisons PGE(OccSol) et PGE(Plev) à l'aide d'un nouveau tableau à double entrée (Tableau 13) pour fournir une évaluation du PGE lié à la marge de progrès sur le site, compte tenu de l'occupation des sols et des pressions « levables » recensées. Nous le notons **PGE(OccSol, Plev)**.

Tableau 13. Tableau à double entrée permettant l'évaluation qualitative de PGE(OccSol,Plev) en fonction de PGE(OccSol) et PGE(Plev).

PGE(Plev) PGE(OccSol)	Nul	Faible	Moyen	Fort
Nul	Nul	Faible	Faible	Moyen
Faible	Faible	Faible	Moyen	Moyen
Moyen	Faible	Moyen	Moyen	Fort
Fort	Moyen	Moyen	Fort	Fort

4. Perspectives d'amélioration et suite du projet

Considérant les points de discussion évoqués ci-dessus, certaines perspectives d'amélioration de notre méthode d'évaluation du PGE peuvent être entrevues. Tout d'abord, les données d'occupation des sols OSO pourraient à terme être remplacées par des données plus précises sur les habitats. Dans le cadre de la stratégie nationale pour la biodiversité 2011-2020, le ministère en charge de l'Écologie a lancé en collaboration avec le Muséum national d'Histoire naturelle un projet de cartographie au 1/25000^{ème} des habitats naturels et semi-naturels de France métropolitaine et d'outre-mer : le projet CarHab. Cette nouvelle cartographie devrait voir le jour d'ici 2025. Elle vise à combler le déficit d'information sur la répartition et les trajectoires d'évolution des habitats naturels et semi-naturels en France métropolitaine et d'outre-mer, pour venir en appui aux politiques publiques nationales et territoriales en lien avec l'aménagement du territoire et la connaissance de la biodiversité (Choisnet et al., 2017).

À l'avenir, cette nouvelle cartographie pourrait permettre d'améliorer notre méthode d'évaluation du PGE, à partir d'une meilleure caractérisation des habitats présents sur les sites.

Par ailleurs, les données fournies par la boîte à outils BOB pourraient être enrichies. En particulier, des données de synthèse sur les espèces pourraient être incluses. Ainsi, nous pourrions à l'avenir évaluer le PGE des sites recensés à l'inventaire de façon plus complète, en tenant compte de différents critères relatifs aux espèces présentes sur les sites (occurrence, statut...).

A ce stade du projet POGÉIS, la méthode d'évaluation du PGE décrite dans ce rapport a été validée. Prochainement, elle sera testée à plus grande échelle dans les territoires de France métropolitaine. Cette phase de test permettra d'obtenir des premiers retours d'expérience intéressants, afin de mettre en évidence d'éventuels points de la méthode pouvant encore être améliorés.

5. Conclusion

En conclusion, les données mobilisables dans les bases de données nationales sur la biodiversité ne permettent d'évaluer le PGE d'un site naturel terrestre que de façon approximative. Autrement dit, la qualité de notre méthode est limitée par la quantité et la qualité des données disponibles de façon homogène à l'échelle de la France métropolitaine. Malgré ces limites, nous pensons que notre méthode demeure intéressante pour effectuer un pré-diagnostic des sites recensés dans l'inventaire et mettre en avant des sites ayant *a priori* un PGE relativement fort. Le test de la méthode prévu prochainement à plus grande échelle fournira des premiers retours d'expérience intéressants pour juger plus précisément de sa pertinence et des éventuels points à améliorer. Quoiqu'il en soit, une méthode d'évaluation du PGE basée uniquement sur une analyse automatisée d'informations extraites dans des bases de données nationales ne pourra jamais se substituer à une expertise écologique complète de terrain. Il convient donc de rester très transparent sur ce point, ainsi que sur la façon dont les résultats fournis par notre méthode peuvent être interprétés et sur les limites qu'ils présentent.

Remerciements chaleureux

Le travail effectué par Martha Mac Call dans le cadre de son stage de Master 2 a permis la finalisation de cette méthode. La rédaction de ce rapport lui est imputable en très large majorité. Ont participé aux réflexions sur la méthode d'évaluation du potentiel de gain écologique, les membres du groupe « écologie » de Pogéis : Steve Aubry (INRAE), Lucie Barbolla (OFB), Yvain Benzenet (OFB), Guillaume Felzinger (OFB), Salomé Gelot (Patrinat), François Micheau (FNCEN) et Thomas Schwab (Cerema), Nicolas Hette Tronquart (OFB), Brian Padilla (Patrinat), Françoise Sarrazin (OFB), ainsi que Joris Biaunier (Cerema) et Cindy Fournier (Patrinat), non membres du groupe écologie, mais associés à certaines phases de ce travail. Paul Rivaud a contribué à la finalisation de la méthode et du rapport.

Références

Article L.110-1 du Code de l'environnement.

https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000038845984/

Article L.163-1 du Code de l'environnement.

https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000033025728

Aubry, S., Gaucherand, S., & Spiegelberger, T. (2020). *Pertinence écologique des Sites Naturels de Compensation. Proposition d'une feuille de route méthodologique pour évaluer la pertinence écologique des projets de SNC. Rapport Final*. INRAE. <https://hal.inrae.fr/hal-03101760/document>

Avon, C., Bergès, L., & Roche, P. (2014). Comment analyser la connectivité écologique des trames vertes ? Cas d'étude en région méditerranéenne. *Sciences Eaux & Territoires*, (14), 14–19. <https://doi.org/10.14758/SET-REVUE.2014.14.03>

Béchet, B., Le Bissonnais, Y., Ruas, A., Aguilera, A., André, M., Andrieu, H., Ay, J.-S., Baumont, C., Barbe, E., Beaudet-Vidal, L., Belton-Chevallier, L., Berthier, E., Billet, P., Bonin, O., Cavailhès, J., Chancibault, K., Cohen, M., Coisson, T., Colas, R., ... Desrousseaux, M. (2017). *Sols artificialisés et processus d'artificialisation des sols : Déterminants, impacts et leviers d'action*. INRAE. <https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/artificialisation-des-sols-rapport-en-francais-1.pdf>

Bezombes, L., Kerbiriou, C., & Spiegelberger, T. (2019). Do biodiversity offsets achieve No Net Loss? An evaluation of offsets in a French department. *Biological Conservation*, 231, 24–29. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.004>

Bull, J. W., & Strange, N. (2018). The global extent of biodiversity offset implementation under no net loss policies. *Nature Sustainability*, 1(12), 790–798. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0176-z>

Calabrese, J. M., & Fagan, W. F. (2004). A comparison-shopper's guide to connectivity metrics. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(10), 529–536. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2004\)002\[0529:acgtcm\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0529:acgtcm]2.0.co;2)

CGDD [Commissariat général au développement durable]. (2017). *La séquence « éviter, réduire et compenser », un dispositif consolidé*. http://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/docs/Temis/0086/Temis-0086377/THEMA_22.pdf

CGDD [Commissariat général au développement durable]. (2021). *Approche standardisée du dimensionnement de la compensation écologique. Guide de mise en œuvre*. https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Approche_standardis%C3%A9e_dimensionnement_compensation_%C3%A9cologique.pdf

Choisnet, G., Bellenfant, S., Millet, J., Catteau, E., & Causse, G. (2017). *Cartographie de la végétation à l'échelle des unités paysagères. Volume 1 - Principes et finalités*. AFB [Agence française pour la biodiversité]. http://oai.afbiodiversite.fr/cindocoai/download/PUBLI/1242/1/2017_054.pdf_5165Ko

Delzons, O., Cima, V., Fournier, C., Gourdain, P., Herard, K., Lacoëuilhe, A., Laignel, J., Roquinarç'h, O., Thierry, C. (2021). *Indice de qualité écologique (IQE) - Indice de potentialité écologique (IPE) - Guide méthodologique*. Office français de la biodiversité. <https://inpn.mnhn.fr/docs-web/docs/download/377991>

Directive 92/43/CEE du Conseil du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages (JOUE n°L206 du 22 juillet 1992).

Dunning, J., Danielson, B., & Pulliam, H. (1992). Ecological processes that affect populations in complex landscapes. *Oikos*, 65(1), 169-175. <https://doi.org/10.2307/3544901>

Fischer, J., & Lindenmayer, D. B. (2007). Landscape modification and habitat fragmentation: A synthesis. *Global Ecology and Biogeography*, 16(3), 265–280. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00287.x>

Greig, H. S., McHugh, P. A., Thompson, R. M., Warburton, H. J., & McIntosh, A. R. (2021). Habitat size influences community stability. *Ecology*, 103(1). <https://doi.org/10.1002/ecy.3545>

Haines-Young, R. (2009). Land use and biodiversity relationships. *Land Use Policy*, 26, S178—S186. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.08.009>

INPN [Inventaire National du Patrimoine Naturel]. (s. d.). *La Trame verte et bleue*. <https://inpn.mnhn.fr/programme/trame-verte-et-bleue/presentation>

IPBES. (2019). *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6417333>

Lévêque, C. (2001). *Ecologie : de l'écosystème à la biosphère*. Dunod. ISBN 2-10-005232-2

Loi n° 76-629 du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature, art. 2 (JORF du 13 juillet 1976). https://www.legifrance.gouv.fr/loda/article_lc/LEGIARTI000006846404/1976-07-13

Loi n° 2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages (1), art. 70 (JORF n° 0184 du 9 août 2016). https://www.legifrance.gouv.fr/loda/article_lc/LEGIARTI000033018780

Longeot, J.-F., & Dantec, R. (2017). *Compensation des atteintes à la biodiversité : construire le consensus* (Rapport n° 517 de la Commission d'enquête sénatoriale 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 I). <https://www.senat.fr/rap/r16-517-1/r16-517-11.pdf>

Maciejewski, L., Lepareur, F., Viry, D., Bensettiti, F., Puissauve, R., Touroult, J. (2016). État de conservation des habitats : propositions de définitions et de concepts pour l'évaluation à l'échelle d'un site Natura 2000. *Revue d'Ecologie (Terre et vie)*, 71(1), 3-20. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03530365/document>

Maron, M., Hobbs, R. J., Moilanen, A., Matthews, J. W., Christie, K., Gardner, T. A., Keith, D. A., Lindenmayer, D. B., & McAlpine, C. A. (2012). Faustian bargains? Restoration realities in the context of biodiversity offset policies. *Biological Conservation*, 155, 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.06.003>

Mcdonald, R. I., Kareiva, P., & Forman, R. T. T. (2008). The implications of current and future urbanization for global protected areas and biodiversity conservation. *Biological Conservation*, 141(6), 1695–1703. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.04.025>

MEDDE [Ministère de l'Environnement, du Développement durable et de l'Énergie]. (2013). Lignes directrices nationales sur la séquence éviter, réduire et compenser les impacts sur les milieux naturels. SEEIDD [Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable]. <http://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/docs/Temis/0079/Temis-0079094/20917.pdf>

MEDDTL [Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement]. (2012). *Doctrine relative à la séquence éviter, réduire et compenser les impacts sur le milieu naturel*. <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Doctrine%20ERC.pdf>

MEEM [Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer]. (2017). *Artificialisation : De la mesure à l'action*. SEEIDD [Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable]. <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Th%C3%A9ma%20-%20Artificialisation.pdf>

Meijer, J. R., Huijbregts, M. A. J., Schotten, K. C. G. J., & Schipper, A. M. (2018). Global patterns

of current and future road infrastructure. *Environmental Research Letters*, 13(6), 064006.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabd42>

Merriam, H.G. (1984). Connectivity: a fundamental characteristic of landscape pattern. Dans J. Brandt & P. Agger (Dir.), *Methodology in Landscape Ecological Research and Planning: Landscape ecological concepts* (p. 5-15). Université de Roskilde.

Moreno-Mateos, D., Power, M. E., Comín, F. A., & Yockteng, R. (2012). Structural and functional loss in restored wetland ecosystems. *PLoS Biology*, 10(1), Article e1001247.
<https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001247>

Nature France. (2020, 28 janvier). *Principal milieu naturel métropolitain détruit par artificialisation*. Nature France. <https://naturefrance.fr/indicateurs/principal-milieu-naturel-metropolitain-detruit-par-artificialisation>

Regnery, B. (2018). *La compensation écologique : concepts et limites pour conserver la biodiversité*. Muséum national d'Histoire naturelle. ISBN 9782856538128

Salafsky, N., Salzer, D., Stattersfield, A. J., Hilton-Taylor, C., Neugarten, R., Butchart, S. H. M., Collen, B., Cox, N., Master, L. L., O'connor, S., & Wilkie, D. (2008). A standard lexicon for biodiversity conservation: unified classifications of threats and actions. *Conservation Biology*, 22(4), 897–911. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00937.x>

Seto, K. C., Guneralp, B., & Hutyra, L. R. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(40), 16083–16088. <https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109>

Simkin, R. D., Seto, K. C., McDonald, R. I., & Jetz, W. (2022). Biodiversity impacts and conservation implications of urban land expansion projected to 2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(12). <https://doi.org/10.1073/pnas.2117297119>

Taylor, P. D., Fahrig, L., Henein, K., & Merriam, G. (1993). Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 68(3), 571. <https://doi.org/10.2307/3544927>

Theis, S., Ruppert, J. L. W., Roberts, K. N., Minns, C. K., Koops, M., & Poesch, M. S. (2019). Compliance with and ecosystem function of biodiversity offsets in North American and European freshwaters. *Conservation Biology*, 34(1), 41–53. <https://doi.org/10.1111/cobi.13343>

UMS PatriNat. (2019). *Biodiversité d'intérêt communautaire en France : un bilan qui reste préoccupant - Résultats de la troisième évaluation des habitats et espèces de la DHFF (2013-2018)*. https://inpn.mnhn.fr/docs/N2000_EC/Note_synthese_2019_DHFF.pdf

USACE [United States Army Corps of Engineers]. (2011). *Draft guidelines to establish and operate mitigation banks in Georgia*. https://www.sas.usace.army.mil/Portals/61/docs/regulatory/Mitigation_Bank_Guidelines.pdf

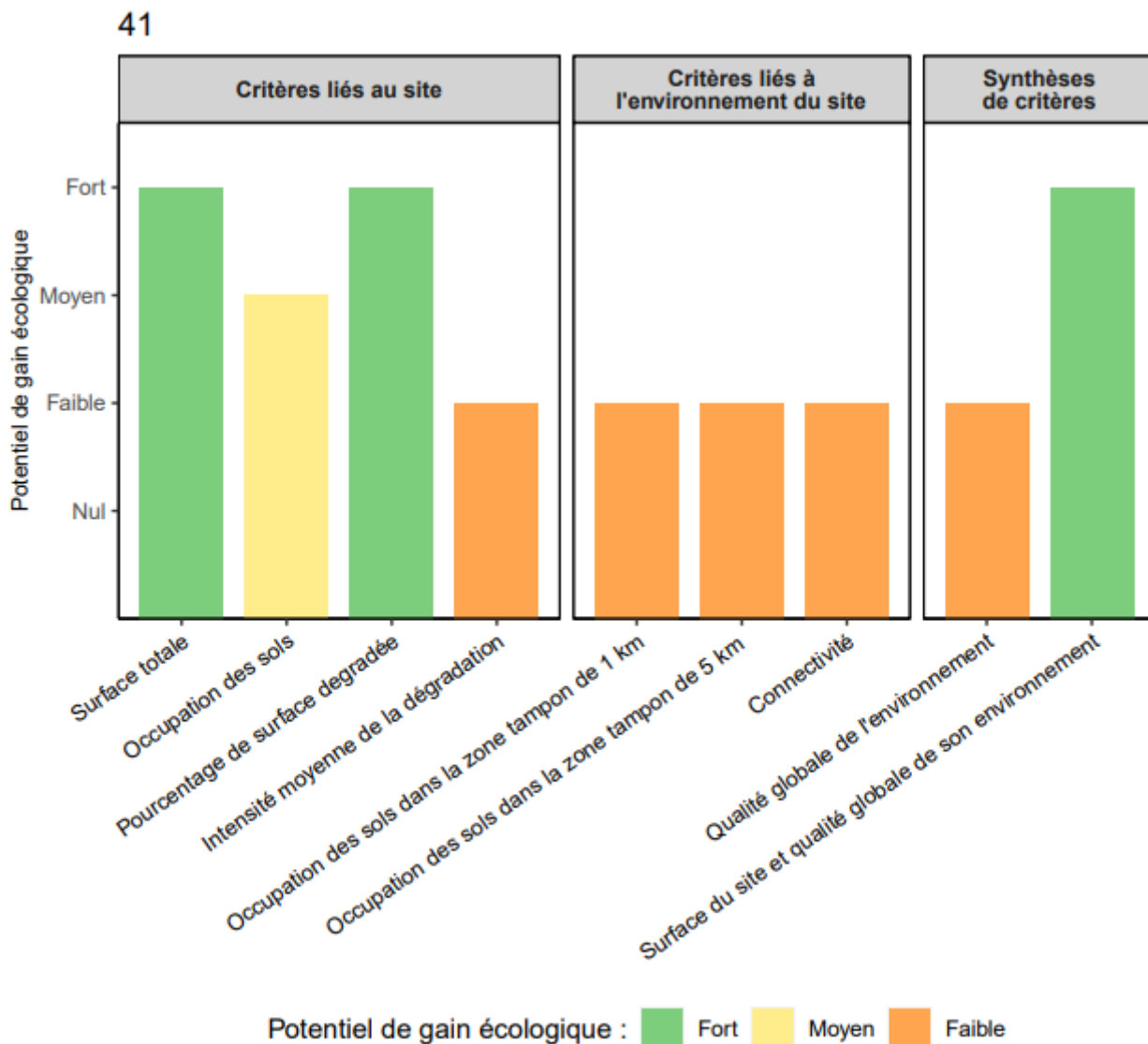
USACE [United States Army Corps of Engineers], & WDNR [Wisconsin Department of Natural Resources]. (2013). *Guidelines for wetland compensatory mitigation in Wisconsin*. <https://dnr.wi.gov/topic/Wetlands/documents/mitigation/WetlandCompensatoryMitigationGuidelines.pdf>

Weissgerber, M., Roturier, S., Julliard, R., & Guillet, F. (2019). Biodiversity offsetting: Certainty of the net loss but uncertainty of the net gain. *Biological Conservation*, 237, 200–208. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.06.036>

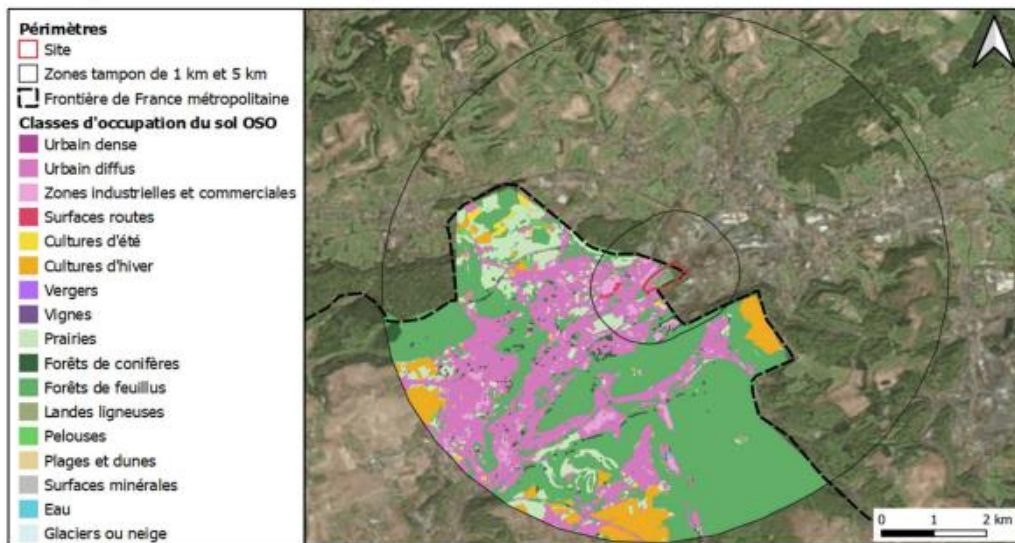
zu Ermgassen, S. O. S. E., Baker, J., Griffiths, R. A., Strange, N., Struebig, M. J., & Bull, J. W. (2019). The ecological outcomes of biodiversity offsets under “no net loss” policies: A global review. *Conservation Letters*, 12(6). <https://doi.org/10.1111/conl.12664>

Annexes

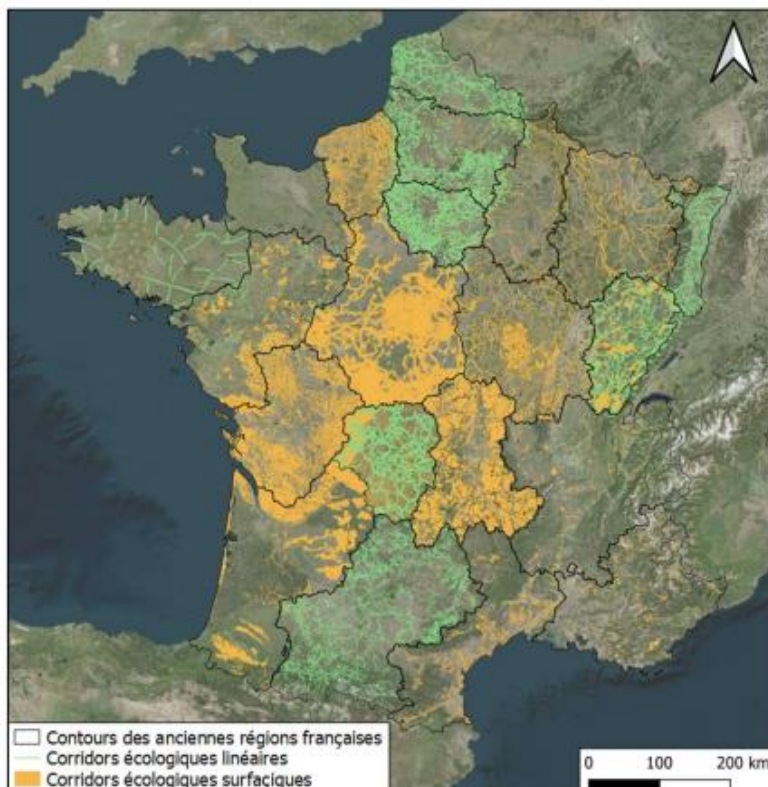
Annexe 1. Exemple de diagramme en barres pouvant être produit sur la fiche de synthèse d'un site, pour représenter graphiquement le potentiel de gain écologique lié aux différents critères d'évaluation retenus dans notre méthode. Cette mise en forme des résultats est provisoire, en attendant le développement de l'application de l'inventaire.



Annexe 2. Exemple d'un site frontalier dont le périmètre des zones tampons de 1000 et 5000 m n'est pas entièrement couvert par la couche d'occupation des sols OSO.



Annexe 3. Représentation cartographique des corridors écologiques recensés dans les schémas régionaux de cohérence écologique (SRCE) en France métropolitaine.



Annexe 4. Paramètres statistiques de la distribution des critères d'évaluation du potentiel de gain écologique calculés sur l'échantillon de 837 sites (NB : les critères NbPlev et IntMoyPlev sont calculés sur seulement 30 sites parmi les 837).

Critère	Minimum	1 ^{er} quartile	Médiane	Moyenne	3 ^{ème} quartile	Maximum
<i>SurfTot</i>	0,02	1,33	4,88	95,08	17,58	5651,75
<i>OccSol</i>	0	3,64	4,1	4,75	6,04	10
<i>PctSurfDeg</i>	0	82,11	99,95	86,3	100	100
<i>DegMoy</i>	0	4	4,52	5,39	6,49	10
<i>NbPlev</i>	1	4	5	5,23	8	11
<i>IntMoyPlev</i>	1	1,05	1,5	1,57	1,82	3
<i>QualiEnv1000</i>	1,13	2,69	3,38	3,51	4,39	5
<i>QualiEnv5000</i>	1,51	2,76	3,46	3,55	4,37	5
<i>PropRB1000</i>	0	0,02	0,18	0,3	0,5	1
<i>PropRB5000</i>	0	0,09	0,2	0,27	0,38	1
<i>NoteRB</i>	0	0,17	0,59	0,86	1,4	3
<i>LineaireCE1000</i>	0	4,81	8,51	8,84	12,59	25,98
<i>LineaireCE5000</i>	0,24	5,12	7,39	7,54	9,77	22,47
<i>NoteCE</i>	0,24	15,47	24,46	25,23	35,07	64,69

Annexe 5. Proportion de la surface totale des 837 sites de l'échantillon occupée par chacune des classes d'occupation des sols de la nomenclature OSO.

Classe OSO	Note	Proportion de la surface totale des sites de l'échantillon (en %)	
Urbain dense	10	0,00039	6
Urbain diffus	10	4,7	
Zones industrielles et commerciales	10	1,2	
Routes	10	0	
Culture été	7	4,9	21
Culture hiver	7	16	
Vergers	7	0,013	
Vignes	7	0,23	
Prairies	4	5,6	54
Forêt feuillus	4	33	
Forêt conifères	4	6,5	
Landes ligneuses	4	4,7	
Eau	4	4,1	19
Pelouses	0	18	
Surfaces minérales	0	0,63	
Plages et dunes	0	0,11	
Glaciers ou neige	0	0	

Annexe 6. Proportion de la surface totale des zones tampons de 5000 m autour des 837 sites de l'échantillon occupée par chacune des classes d'occupation des sols de la nomenclature OSO.

Classe OSO	Note	Proportion de la surface totale des zones tampons de 5000 m autour des sites de l'échantillon (en %)	
Urbain dense	1	0,039	17
Urbain diffus	1	14	
Zones industrielles et commerciales	1	3	
Routes	1	0,0065	
Culture été	2	8,3	27
Culture hiver	2	16	
Vergers	2	0,19	
Vignes	2	2,4	
Prairies	5	18	56
Forêt feuillus	5	20	
Forêt conifères	5	6,9	
Landes ligneuses	5	1,5	
Eau	5	1,5	
Pelouses	5	8,4	
Surfaces minérales	5	0,065	
Plages et dunes	5	0,04	
Glaciers ou neige	5	0	

Annexe 7. Script R d'automatisation de la méthode d'évaluation du potentiel de gain écologique, produit en attendant le développement de l'application de l'inventaire (version commentée).

Evaluation du potentiel de gain écologique - Script R commenté

1. Chargement des packages requis

Première étape facultative, uniquement si les packages ne sont pas encore installés :

```
#install.packages("readxl")  
#install.packages("sf")  
#install.packages("tibble")  
#install.packages("tidyr")  
#install.packages("plyr")  
#install.packages("dplyr")  
#install.packages("ggplot2") #  
install.packages("ggpubr") #  
install.packages("cowplot")
```

Chargement des packages :

```
library(readxl)  
library(sf)  
library(tibble)  
library(tidyr)  
library(plyr)  
library(dplyr)  
library(ggplot2)  
library(ggpubr)  
library(cowplot)
```

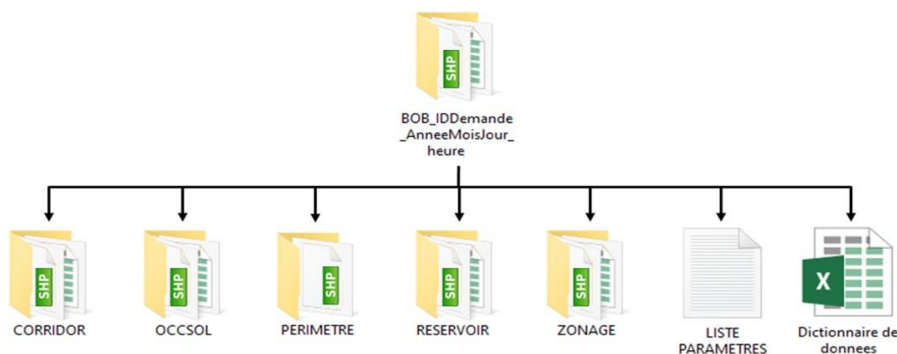
2. Import des données

Pour évaluer le potentiel de gain écologique (PGE) des sites, nous aurons besoin de différents jeux de données

:

- Les données de l'INPN synthétisées par BOB
- Les cours d'eau identifiés dans la base de données Topage (couche géographique au format shapefile)
- Le tableau des pressions recensées sur les sites, rempli manuellement

Pour chaque site ou lot de sites, on dispose d'un dossier de données BOB contenant une arborescence desous-dossiers, dont la structure générale est la suivante :



Les noms des sous-dossiers et fichiers sont toujours les mêmes, seul le nom du dossier racine change d'un site ou lot de sites à l'autre (cf. dictionnaire des données pour plus de détails).

2.1. Données d'occupation des sols OSO (fournies par BOB)

On souhaite importer tous les fichiers Excel portant le nom "OSo2_OS0_PROPORTION.xlsx" dans les données BOB (un par site ou lot de sites). Ces derniers contiennent les surfaces et proportions de chaque type d'occupation des sols OSO à l'échelle du site et des zones tampons de 1000 m et 5000 m autour du site (une feuille par échelle spatiale dans chaque fichier : SITE, 1000 et 5000).

On utilise la fonction `list.files()` pour lister l'ensemble des fichiers portant le nom "OSo2_OS0_PROPORTION.xlsx" dans le répertoire de travail (avec l'argument "recursive = TRUE" pour aller chercher dans tous les sous-dossiers) :

```
files_OS0 <- list.files(pattern = "OS02_OS0_PROPORTION.xlsx", recursive = TRUE)files_OS0
```

```
## [1] "Data/202204121225site_cen_pdl/OCCSOL/OSO/TABLES/OS02_OS0_PROPORTION.xlsx"
## [2] "Data/202204121226sites_cen_hdf/OCCSOL/OSO/TABLES/OS02_OS0_PROPORTION.xlsx"
## [3] "Data/202204121231sites_cen_isere/OCCSOL/OSO/TABLES/OS02_OS0_PROPORTION.xlsx"
## [4]
## "Data/202205181021isere_frontonas_bouvesse_quirieu/OCCSOL/OSO/TABLES/OS02_OS0_PROPORTION.xlsx"
## [5] "Data/202205181023sites_angouleme/OCCSOL/OSO/TABLES/OS02_OS0_PROPORTION.xlsx"
## [6] "Data/202205181109sites_cdc/OCCSOL/OSO/TABLES/OS02_OS0_PROPORTION.xlsx"
## [7]
## "Data/202205181112sites_cen_occitanie/OCCSOL/OSO/TABLES/OS02_OS0_PROPORTION.xlsx"
## [8] "Data/202205181307sites_epf_ge/OCCSOL/OSO/TABLES/OS02_OS0_PROPORTION.xlsx"
## [9] "Data/resBOBpogeisAEV/OCCSOL/OSO/TABLES/OS02_OS0_PROPORTION.xlsx"
```

On crée ensuite une boucle qui permet d'extraire une à une les feuilles de chaque fichier pour les rassembler dans un même dataframe (OSO) :

```
OSO <- NULL

for (i in 1:length(files_OS0)){
  nb_sheets <- length(excel_sheets(files_OS0[i]))
  for(j in 1:nb_sheets){
    data <- read_excel(files_OS0[i], sheet = j)OSO <-
    rbind(OSO, data)
  }
}
```

On convertit les variables “PERIMETRE” (SITE, 1000 ou 5000), “ID_SITE” (identifiant du site), “NOM_SITE” (nom du site), “CD_OS” (code des classes OSO) et “LB_OS” (libellé des classes OSO) en variables de type facteur :

```
OSO[,c("PERIMETRE", "ID_SITE", "NOM_SITE", "CD_OS", "LB_OS")] <-
  lapply(OSO[,c("PERIMETRE", "ID_SITE", "NOM_SITE", "CD_OS", "LB_OS")], factor)
```

```
str(OSO)
```

```
## tibble [22,083 x 8] (S3: tbl_df/tbl/data.frame)
## $ PERIMETRE : Factor w/ 3 levels "1000","5000",...: 3 3 3 3 1 1 1 1 1 1 ...
## $ SURFPERI_HA: num [1:22083] 5.99 5.99 5.99 5.99 435.37 ...
## $ ID_SITE : Factor w/ 837 levels "1","10","11",...: 837 837 837 837 837 837 837
837 837 837 ...
## $ NOM_SITE : Factor w/ 837 levels "33LIG","40CAY",...: 309 309 309 309 309 309
309 309 309 ...
## $ CD_OS : Factor w/ 16 levels "11","12","31",...: 14 3 6 13 3 4 6 8 9 13 ...
## $ LB_OS : Factor w/ 16 levels "culture ete",...: 9 5 6 3 5 4 6 13 16 3 ...
## $ SURFINT_HA : num [1:22083] 1.989 3.4561 0.5028 0.0383 79.5464 ...
## $ PROP_AREA : num [1:22083] 0.3323 0.5773 0.084 0.0064 0.1827 ...
```

Premières lignes du tableau de données OSO :

```
head(OSO)
```

```
## # A tibble: 6 x 8
```

##	PERIMETR	SURFPERI_H A	ID_SIT E	NOM_SIT E	CD_OS	LB_O S	SURFINT_H A	PROP_ARE A
##	<fct>	<dbl>	<fct>	<fct>	<fct>	<fct>	<dbl>	<dbl>
##	1 SITE	5.99	PDL24	Estuaire de la~	211	prai~	1.99	0.332
##	2 SITE	5.99	PDL24	Estuaire de la~	31	fore~	3.46	0.577
##	3 SITE	5.99	PDL24	Estuaire de la~	36	land~	0.503	0.0840
##	4 SITE	5.99	PDL24	Estuaire de la~	51	eau	0.0383	0.00640

Problème concernant les sites littoraux et frontaliers : La couche OSO étant strictement limitée au milieu terrestre et à la France métropolitaine, nous avons constaté qu'elle ne couvrait pas toujours l'entièreté du périmètre des sites littoraux et frontaliers et de leurs zones tampons.

On recalcule donc la variable SURFPERI_HA (surface du périmètre du site / de la zone tampon de 1000 m / de la zone tampon de 5000 m) en calculant pour chaque site la somme des surfaces des polygones OSO dans chacun des trois périmètres d'étude (la variable recalculée

```
surf_recalc <- ddply(OSO, .(ID_SITE,PERIMETRE), summarize,
  SURFPERI_HA_RECALC = sum(SURFINT_HA))
```

NB : SURFINT_HA = surface des polygones sur la couche OSO

```
Offic
Site c OSO <- left_join(OSO, surf_recalc, by=c("ID_SITE","PERIMETRE"))
```

est notée **SURFPERI_HA_RECALC**) :

A partir de **SURFPERI_HA_RECALC**, on recalcule ensuite la variable **PROP_AREA** qui correspond aux proportions de chaque classe **OSO** dans chaque périmètre de chaque site (la variable recalculée est notée **PROP_AREA_RECALC**) :

```
OSO$PROP_AREA_RECALC <- OSO$SURFINT_HA / OSO$SURFPERI_HA_RECALC
```

2.2. Réservoirs de biodiversité recensés dans les SRCE

Le principe est le même que pour l'import des données **OSO**. Les fichiers **BOB** contenant les proportions de surfaces en réservoirs de biodiversité dans les trois périmètres d'étude (site et zones tampons de 1000 m et 5000 m) portent le nom "**RES02_PROPORTION.xlsx**".

```
files_RB <- list.files(pattern = "RES02_PROPORTION.xlsx", recursive = TRUE)files_RB
```

```
## [1] "Data/202204121225site_cen_pdl/RESERVOIR/TABLES/RES02_PROPORTION.xlsx"
## [2] "Data/202204121226sites_cen_hdf/RESERVOIR/TABLES/RES02_PROPORTION.xlsx"
## [3] "Data/202204121231sites_cen_isere/RESERVOIR/TABLES/RES02_PROPORTION.xlsx"
## [4]
## "Data/202205181021isere_frontonas_bouvesse_quirieu/RESERVOIR/TABLES/RES02_PROPORTIO
## N.xlsx"
## [5] "Data/202205181023sites_angouleme/RESERVOIR/TABLES/RES02_PROPORTION.xlsx"
## [6] "Data/202205181109sites_cdc/RESERVOIR/TABLES/RES02_PROPORTION.xlsx"
## [7] "Data/202205181112sites_cen_occitanie/RESERVOIR/TABLES/RES02_PROPORTION.xlsx"
## [8] "Data/202205181307sites_epf_ge/RESERVOIR/TABLES/RES02_PROPORTION.xlsx"
## [9] "Data/resBOBpogeisAEV/RESERVOIR/TABLES/RES02_PROPORTION.xlsx"
```

```
RB <- NULL
```

```
for (i in 1:length(files_RB)){
  nb_sheets <- length(excel_sheets(files_RB[i]))
  for(j in 1:nb_sheets){
    data <- read_excel(files_RB[i], sheet = j)RB <-
    rbind(RB, data)
  }
}

RB[,c("PERIMETRE", "ID_SITE", "NOM_SITE")] <-
  lapply(RB[,c("PERIMETRE", "ID_SITE", "NOM_SITE")], factor)

str(RB)
```

```
## tibble [1,950 x 6] (S3: tbl_df/tbl/data.frame)
## $ PERIMETRE : Factor w/ 3 levels "1000","5000",...: 3 1 2 3 3 3 3 3 3 3 ...
## $ SURFPERI_HA: num [1:1950] 5.99 435.37 8407.27 428.12 1.5 ...
## $ ID_SITE : Factor w/ 829 levels "1","10","11",...: 829 829 829 411 415 416 417
## 418 422 431 ...
## $ NOM_SITE : Factor w/ 829 levels "33LIG","40CAY",...: 309 309 309 467 471 472
## 473 474 478 487 ...
## $ SURFINT_HA : num [1:1950] 5.99 235.7 1323.61 427.43 1.5 ...
## $ PROP_RESV : num [1:1950] 1 0.541 0.157 0.998 0.998 ...

head(RB)
```

```
## # A tibble: 6 x 6
## PERIMETRE SURFPERI_HA ID_SITE NOM_SITE SURFINT_HA PROP_RESV
## <fct> <dbl> <fct> <fct> <dbl> <dbl>
## 1 SITE 5.99 PDL24 Estuaire de la Loire Ile M- 5.99 1.00
## 2 1000 435. PDL24 Estuaire de la Loire Ile M- 236. 0.541
## 3 5000 8407. PDL24 Estuaire de la Loire Ile M- 1324. 0.157
## 4 SITE 428. HDF1 HDF1 427. 0.998
## 5 SITE 1.50 HDF13 HDF13 1.50 0.998
## 6 SITE 2.24 HDF14 HDF14 2.24 1.00
```

2.3. Cours d'eau identifiés dans la base de données Topage

On souhaite obtenir le linéaire de cours d'eau en m/ha :

- dans la zone tampon de 1000 m autour du périmètre du site
- dans la zone tampon de 5000 m autour du périmètre du site

Dans un premier temps, on importe les couches géographiques (shp) fournies par BOB contenant les périmètres des zones tampons de 1000 m et 5000 m autour des sites.

- Périmètres des zones tampons de 1000 m (fichiers nommés “**1000.shp**” dans le répertoire) :

```
files_perim1000 <- list.files(pattern = "~1000.shp", recursive = TRUE)files_perim1000
perim1000 <- NULL
for (i in 1:length(files_perim1000)){ data <-
  st_read(files_perim1000[i])perim1000 <-
  rbind(perim1000, data)
}
```

- Périmètres des zones tampon de 5000 m (fichiers nommés “**5000.shp**” dans le répertoire) :

```
files_perim5000 <- list.files(pattern = "~5000.shp", recursive = TRUE) files_perim5000
perim5000 <- NULL
for (i in 1:length(files_perim5000)){ data <-
  st_read(files_perim5000[i]) perim5000 <-
  rbind(perim5000, data)
}
```

perim1000 et **perim5000** contiennent respectivement l'ensemble des périmètres des zones tampons de 1000m et 5000 m autour des sites.

On importe ensuite la couche géographique contenant les cours d'eau identifiés par la BD Topage :

```
CE <- st_read("Data/CoursEau_FXX.shp")
```


Puis on utilise la fonction **st_intersection()** pour obtenir l'intersection entre la couche cours d'eau (*CE*) et les couches contenant les périmètres des zones tampons

```
intersectCE_1000 <- st_intersection(x = CE, y = perim1000)
intersectCE_5000 <- st_intersection(x = CE, y = perim5000)
```

(*perim1000* puis *perim5000*).

De cette façon, **intersectCE_1000** et **intersectCE_5000** contiennent uniquement les cours d'eau se trouvant dans les zones tampons de 1000 m et 5000 m autour des sites respectivement. On rassemble les deux dans un même objet (**intersectCE**) et on convertit certaines variables en facteurs :

```
intersectCE <- rbind(intersectCE_1000, intersectCE_5000)

intersectCE$ID_SITE <- as.factor(intersectCE$ID_SITE)
intersectCE$PERIMETRE <- as.factor(intersectCE$PERIMETRE)
```

Finalement, on utilise la fonction **st_length()** pour calculer le linéaire de cours d'eau (en m) dans les deux zones tampons autour de chaque site. La fonction **tapply()** permet d'appliquer une fonction à chaque niveau d'un facteur. Ici, la fonction **st_length()** est

```
lineaireCE <- data.frame(tapply(st_length(intersectCE),
                               list(intersectCE$ID_SITE, intersectCE$PERIMETRE), sum))
```

appliqué par site et par zone tampon :

Le dataframe **lineaireCE** crée contient le linéaire de cours d'eau en m dans la zone tampon de 1000 m (1ère colonne) et 5000 m (2ème colonne) autour de chaque site (1 ligne = 1 site) :

```
head(lineaireCE)
```

```
## X100
```

```
## 1 55953.620 253403.28
## 10 30695.819 171963.56
## 11 2958.244 36160.55
## 12 10402.222 88510.89
## 13 19866.043 201243.81
## 14 31096.979 165264.13
```

On renomme les colonnes, puis on utilise la fonction **rownames_to_column()** pour que le nom des sites apparaisse dans la première colonne du dataframe, et on remplace les *NA* par des zéros pour les périmètres ne contenant pas de cours d'eau :

```
colnames(lineaireCE) <- c("LineaireCE1000", "LineaireCE5000") lineaireCE <-
tibble::rownames_to_column(lineaireCE, "ID_SITE")

lineaireCE <- mutate_at(lineaireCE, c("LineaireCE1000", "LineaireCE5000"),
~replace(., is.na(.), 0))
```

Pour pouvoir calculer le linéaire de cours d'eau **en m/ha** dans chaque zone tampon, on récupère la surface des zones tampons de 1000 m et 5000 m autour des sites dans le dataframe OSO (variable *SURFPERI_HA*) :

```
# Surfaces des zones tampons de 1000 m
lineaireCE$SURFPERI_HA_1000 <- dplyr::summarize(subset(OSO, PERIMETRE=="1000"), .(ID_SITE),
unique(SURFPERI_HA))[2]

# Surfaces des zones tampons de 5000 m
lineaireCE$SURFPERI_HA_5000 <- dplyr::summarize(subset(OSO, PERIMETRE=="5000"), .(ID_SITE),
unique(SURFPERI_HA))[2]
```

On peut ainsi calculer le linéaire de cours d'eau en m/ha :

```
# LineaireCE1000_ha = lineaire de cours d'eau en m/ha dans la zone tampon de 1000 m
lineaireCE$LineaireCE1000_ha <- lineaireCE$LineaireCE1000 / lineaireCE$SURFPERI_HA_1000

# LineaireCE5000_ha = lineaire de cours d'eau en m/ha dans la zone tampon de 5000 m
lineaireCE$LineaireCE5000_ha <- lineaireCE$LineaireCE5000 / lineaireCE$SURFPERI_HA_5000
```

2.4. Pressions sur site renseignées par les apporteurs des sites

On importe le tableur Excel dans lequel les pressions et leur intensité ont été renseignées

```
pressions <- read_excel("Data/pressions.xlsx")
```

```
head(pressions)
```

manuellement :

```
## # A tibble: 6 x 32
##   pression levabilite ISERE14 ISERE15 ISERE24 ISERE28 ISERE30 ISERE32 ISERE72
##   <chr>      <chr>      <chr> <chr> <chr> <chr> <chr> <chr> <chr>
## 1 Culture   oui         moyenne nulle faible nulle nulle nulle nulle
## 2 Sylvicultu- oui         nulle nulle nulle nulle nulle nulle nulle
## 3 Elevage   oui         nulle nulle nulle nulle nulle nulle nulle
## 4 Aquaculture oui         nulle nulle nulle nulle nulle nulle nulle
## 5 Chasse   oui         nulle nulle faible faible faible nulle Nulle
## 6 Cueillette oui         nulle nulle nulle nulle nulle nulle nulle

## # i 23 more variables: ISERE73 <chr>, ISERE74 <chr>, ISERE86 <chr>,
## # PDL24 <chr>, OCC256 <chr>, OCC145 <chr>, OCC378 <chr>, OCC202 <chr>,
## # OCC146 <chr>, HDF16 <chr>, HDF2 <chr>, HDF7 <chr>, HDF1 <chr>, HDF14 <chr>,
## # CDCB2 <chr>, CDCB1 <chr>, CDCB9 <chr>, CDCB8
```

```
<chr>, CDCB10 <chr>## # CDCB11 <chr>, CDCB12 <chr>,
CDCB13 <chr>, CDCB14 <chr>
```

On utilise la fonction **pivot_longer()** pour avoir une ligne par site et non plus une colonne par site :

```
pressions <- pressions %>% pivot_longer(-c(pression, levabilite),
                                         names_to = "ID_SITE",
                                         values_to = "intensite")

head(pressions)
```

```
## # A tibble: 6 x 4
##   pression levabilite ID_SITE intensite
##   <chr>      <chr>      <chr>      <dbl>
## 1 Culture   oui          ISERE14    2
## 2 Culture   oui          ISERE15    0
## 3 Culture   oui          ISERE24    1
## 4 Culture   oui          ISERE28    0
## 5 Culture   oui          ISERE30    0
## 6 Culture   oui          ISERE32    0
```

On traduit en numérique la variable “intensite” et on convertit certaines variables en facteurs :

```
pressions$intensite[pressions$intensite=="nulle"] <- 0
pressions$intensite[pressions$intensite=="faible"] <- 1
pressions$intensite[pressions$intensite=="moyenne"] <- 2
pressions$intensite[pressions$intensite=="forte"] <- 3

pressions$intensite <- as.numeric(pressions$intensite)

pressions[,c("pression", "levabilite", "ID_SITE")] <-
  lapply(pressions[,c("pression", "levabilite", "ID_SITE")], factor)

str(pressions)
```

```
## tibble [990 x 4] (S3: tbl_df/tbl/data.frame)
## $ pression : Factor w/ 33 levels "Activite volcanique",...: 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
## $ levabilite: Factor w/ 2 levels "non","oui": 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 ...
## $ ID_SITE : Factor w/ 30 levels "CDCB1","CDCB10",...: 15 16 17 18 19 20 21 22
## $ intensite : num [1:990] 2 0 1 0 0 0 0 3 0 0 ...
```

```
head(pressions)
```

```
## # A tibble: 6 x 4
##   pression levabilite ID_SITE intensite
##   <fct>      <fct>      <fct>      <dbl>
## 1 Culture   oui          ISERE14    2
## 2 Culture   oui          ISERE15    0
## 3 Culture   oui          ISERE24    1
## 4 Culture   oui          ISERE28    0
## 5 Culture   oui          ISERE30    0
## 6 Culture   oui          ISERE32    0
```

3. Evaluation du PGE lié aux caractéristiques intrinsèques du site

On crée deux dataframes que l'on remplira au fur et à mesure : **criteres** contiendra les différents critères d'évaluation du PGE calculés et **PGE** contiendra les PGE associés à chaque critère.

A ce stade, on crée seulement la première colonne qui contient les identifiants des sites, que l'on récupère dans le dataframe **OSO** :

```
criteres <- data.frame(ID_SITE = as.factor(levels(OSO$ID_SITE)))
PGE <- data.frame(ID_SITE = as.factor(levels(OSO$ID_SITE)))
```

On crée ensuite un sous-ensemble du dataframe **OSO** (**OSO_SITE**) avec uniquement les données **OSO** à l'échelle des sites :

```
OSO_SITE <- subset(OSO, PERIMETRE == "SITE")
```

3.1. PGE lié à la surface totale du site

On note **SurfTot** la surface totale des sites et **PGE_SurfTot** le PGE associé.

La variable **SURPERI_HA** dans la 2ème colonne du dataframe **OSO_SITE** correspond à la surface totale de chaque site. On l'extrait donc et on l'ajoute au dataframe **criteres** :

```
criteres$SurfTot <- dply(OSO_SITE, .(ID_SITE), summarize,
                           unique(SURPERI_HA))[,2]
```

On crée ensuite une boucle qui permet d'évaluer pour chaque site un à un le PGE associé à la surface totale, selon les seuils que nous avons fixés. L'évaluation de **PGE_SurfTot** pour chaque site est directement ajoutée au dataframe **PGE** :

```
for(i in 1:nrow(criteres)){
  if(criteres$SurfTot[i] < 1) { PGE$PGE_SurfTot[i] <-
    "FAIBLE"
  } else if (criteres$SurfTot[i] >= 1 & criteres$SurfTot[i] < 10) {PGE$PGE_SurfTot[i] <-
    "MOYEN"
  } else {
    PGE$PGE_SurfTot[i] <- "FORT"
  }
}

table(PGE$PGE_SurfTot)
```

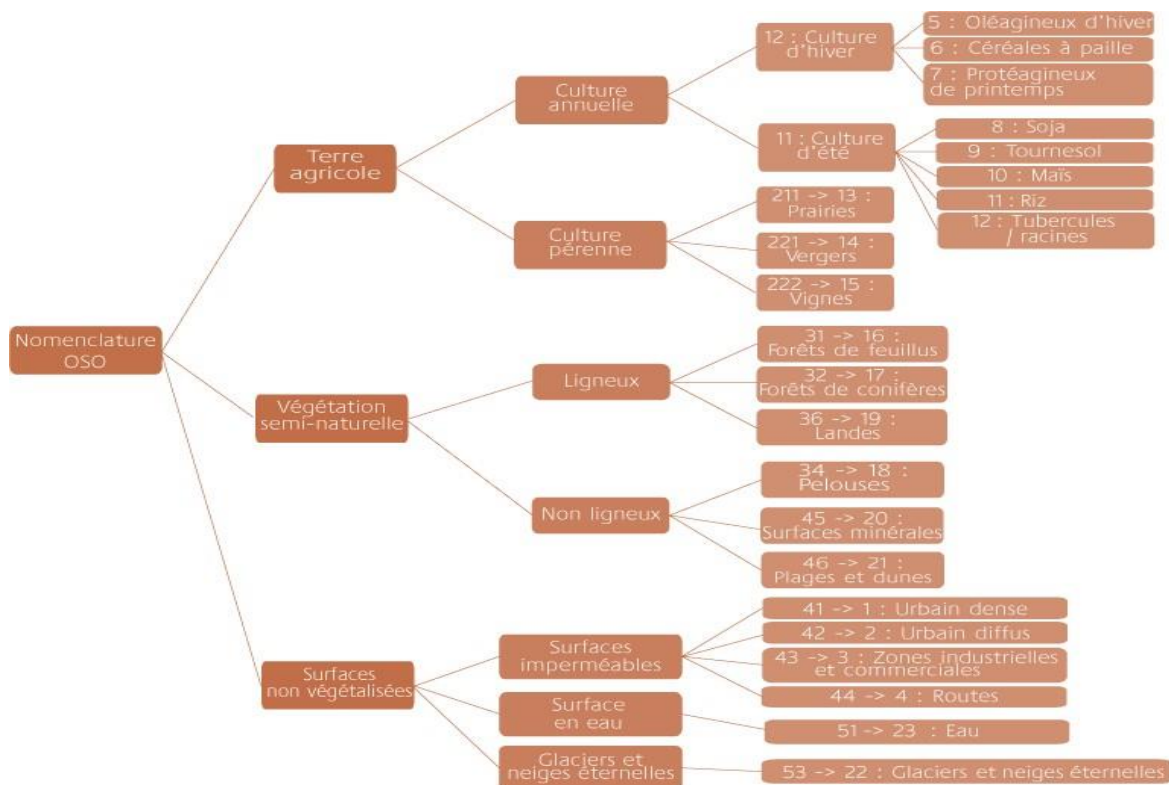
```
##
##
FAIBL
E    FORT MOYEN## 162          286    389
```

3.2. PGE lié à l'occupation des sols sur le site

On note **OccSol** la note attribuée à l'occupation des sols sur le site et **PGE_OccSol** le PGE associé.

Dans un premier temps, on attribue une note comprise entre 0 et 10 à chaque classe d'occupation des sols OSO. On note cette nouvelle variable **NOTE_OSO_SITE** et on l'ajoute au dataframe **OSO_SITE**.

Pour mémoire voici la correspondance entre la première nomenclature OSO (en 17 classes) et la nouvelle nomenclature utilisée depuis 2018 (23 classes) avec lesquelles l'évaluation du potentiel de gain est compatible :



levels(OSO\$CD_OS)

```
## [1] "11" "12" "31" "32" "34" "36" "41" "42" "43" "44" "45" "46"
```

```
## [13] "51" "211" "221" "222"
```

```
OSO_SITE$NOTE_OSO_SITE <- 0
```

```
for(i in 1:nrow(OSO_SITE)){
```

```
  if(OSO_SITE$CD_OS[i] == "41" |  
      OSO_SITE$CD_OS[i] == "1" |  
      OSO_SITE$CD_OS[i] == "42" |  
      OSO_SITE$CD_OS[i] == "2" |  
      OSO_SITE$CD_OS[i] == "43" |  
      OSO_SITE$CD_OS[i] == "3" |  
      OSO_SITE$CD_OS[i] == "44" |  
      OSO_SITE$CD_OS[i] == "4" ){
```

```
    OSO_SITE$NOTE_OSO_SITE[i] <- 10
```

```
  } else if(OSO_SITE$CD_OS[i] == "11" |  
            OSO_SITE$CD_OS[i] == "12" |  
            OSO_SITE$CD_OS[i] == "221" |  
            OSO_SITE$CD_OS[i] == "222" |  
            OSO_SITE$CD_OS[i] == "5" |  
            OSO_SITE$CD_OS[i] == "6" |  
            OSO_SITE$CD_OS[i] == "7" |  
            OSO_SITE$CD_OS[i] == "8" |  
            OSO_SITE$CD_OS[i] == "9" |  
            OSO_SITE$CD_OS[i] == "10" |  
            OSO_SITE$CD_OS[i] == "14" |  
            OSO_SITE$CD_OS[i] == "15" ) {
```

```
    OSO_SITE$NOTE_OSO_SITE[i] <- 7
```

```
  } else if(OSO_SITE$CD_OS[i] == "31" |  
            OSO_SITE$CD_OS[i] == "16" |  
            OSO_SITE$CD_OS[i] == "32" |  
            OSO_SITE$CD_OS[i] == "17" |  
            OSO_SITE$CD_OS[i] == "36" |  
            OSO_SITE$CD_OS[i] == "19" |  
            OSO_SITE$CD_OS[i] == "211" |  
            OSO_SITE$CD_OS[i] == "13" |  
            OSO_SITE$CD_OS[i] == "51" |  
            OSO_SITE$CD_OS[i] == "23"){
```

```
    OSO_SITE$NOTE_OSO_SITE[i] <- 4
```

```
  } else { OSO_SITE$NOTE_OSO_SITE[i] <-
```

```
    0
```

```
  }  
}
```

On calcule ensuite le critère *OccSol* :

```
criteres$OccSol <- ddply(OSO_SITE, .(ID_SITE), summarize,  
                        sum(NOTE_OSO_SITE*PROP_AREA_RECALC))[,2]
```

Puis on ajoute à *PGE* l'évaluation de *PGE_OccSol* associé :

```

for(i in 1:nrow(criteres)){
  if(criteres$OccSol[i] == 0){
    PGE$PGE_OccSol[i] <- "NUL"
  } else if(criteres$OccSol[i] > 0 & criteres$OccSol[i] < 4) {PGE$PGE_OccSol[i] <- "FAIBLE"
  } else if (criteres$OccSol[i] >= 4 & criteres$OccSol[i] < 7) {PGE$PGE_OccSol[i] <- "MOYEN"
  } else {
    PGE$PGE_OccSol[i] <- "FORT"
  }
}
table(PGE$PGE_OccSol)

```

```

##
## FAIBLE FORT MOYEN NUL## 277 137 418 5

```

3.3. PGE lié au pourcentage de surface dégradée sur le site

On note *PctSurfDeg* le pourcentage de surface dégradée sur les sites et *PGE_PctSurfDeg* le PGE associé.

Dans un premier temps, on calcule la surface dégradée de chaque site, que l'on note *SurfDeg* (somme des surfaces OSO ayant une note supérieure à zéro) :

```
surf_deg <- ddply(subset(OSO_SITE, NOTE_OSO_SITE > 0), .(ID_SITE), summarize, SurfDeg =  
sum(SURFINT_HA))
```

On ajoute *SurfDeg* au dataframe *criteres* et on remplace les NA par des zéros pour les sites n'ayant pas de surface dégradée :

```
criteres <- left_join(criteres, surf_deg, by="ID_SITE")  
criteres <- mutate_at(criteres, c("SurfDeg"), ~replace(., is.na(.), 0))
```

On calcule ensuite *PctSurfDeg* en divisant *SurfDeg* par *SurfTot* :

```
criteres$PctSurfDeg <- criteres$SurfDeg / criteres$SurfTot * 100
```

Puis on évalue le *PGE_PctSurfDeg* associé pour chaque site :

```
for(i in 1:nrow(criteres)){  
  if(criteres$PctSurfDeg[i] == 0){PGE$PGE_PctSurfDeg[i] <-  
    "NUL"  
  } else if(criteres$PctSurfDeg[i] > 0 & criteres$PctSurfDeg[i] <= 25) {  
    PGE$PGE_PctSurfDeg[i] <- "FAIBLE"  
  } else if (criteres$PctSurfDeg[i] > 25 & criteres$PctSurfDeg[i] < 75) {  
    PGE$PGE_PctSurfDeg[i] <- "MOYEN"  
  } else {  
    PGE$PGE_PctSurfDeg[i] <- "FORT"  
  }  
}  
table(PGE$PGE_PctSurfDeg)
```

```
##  
## FAIBLE FORT MOYEN NUL## 24 667 141 5
```


3.4. PGE lié à l'intensité moyenne de la dégradation sur la portion dégradée dusite

On note **DegMoy** l'intensité moyenne de la dégradation sur les sites et **PGE_DegMoy** le PGE associé. La formule de calcul de **DegMoy** est la même que celle de *OccSol*, sauf que l'on divise par *SurfDeg* et non pas par *SurfTot*.

Tout d'abord, on ajoute la variable *SurfDeg* au dataframe *OSO_SITE* :

```
OSO_SITE <- left_join(OSO_SITE, criteres[c("ID_SITE","SurfDeg")], by="ID_SITE")
```

Puis on calcule *DegMoy* :

```
criteres$DegMoy <- ddply(OSO_SITE, .(ID_SITE), summarize,
sum(NOTE_OSOSITE*SURFINT_HA/SurfDeg))[,2]criteres <- mutate_at(criteres, "DegMoy",
~replace(., is.na(.), 0))
```

On évalue finalement le *PGE_DegMoy* associé pour chaque site :

```
for(i in 1:nrow(criteres)){
  if(criteres$DegMoy[i] == 0){
    PGE$PGE_DegMoy[i] <- "NUL"
  } else if (criteres$DegMoy[i] >= 4 & criteres$DegMoy[i] < 6) {PGE$PGE_DegMoy[i] <- "FAIBLE"}
  } else if (criteres$DegMoy[i] >= 6 & criteres$DegMoy[i] < 8) {PGE$PGE_DegMoy[i] <- "MOYEN"}
  } else {
    PGE$PGE_DegMoy[i] <- "FORT"
  }
}
table(PGE$PGE_DegMoy)
```

```
##
## FAIBLE FORT MOYEN NUL## 570 119 143 5
```

3.5. PGE lié à la somme des intensités des pressions levables recensées sur le site

Pour chaque site, on somme les intensités des pressions levables recensées, que l'on note **SumIntPlev**. LePGE évalué en fonction de ce critère est noté **PGE_Plev**.

On crée un dataframe *Plev* dans lequel on ajoute *SumIntPlev* et à titre indicatif *NbPlev*, le nombre de pressions levables, calculé pour chaque site (un site = 1

```
Plev <- ddply(subset(pressions, levabilite == "oui"), .(ID_SITE), summarize,NbPlev =
length(which(intensite>0)),
SumIntPlev = sum(intensite))
```

```
head(Plev)
```

ligne) :

```
## ID_SITE NbPlev SumIntPlev
## 1 CDCB1 1 3
## 2 CDCB10 9 13
## 3 CDCB11 9 13
## 4 CDCB12 5 5
## 5 CDCB13 5 5
## 6 CDCB14 9 20
```

On ajoute ensuite dans ce même dataframe l'évaluation du *PGE_Plev* associé pour chaque site :

```
Plev$PGE_Plev <- ifelse(Plev$SumIntPlev == 0,
  "NUL",
  ifelse(Plev$SumIntPlev <= 4,
    "FAIBLE",
    ifelse(Plev$SumIntPlev <= 7,
      "MOYEN",
      "FORT")))
```

Puis on ajoute respectivement *Plev* et *PGE_Plev* aux dataframes *criteres* et *PGE* (des NA apparaîtront pour les sites dont nous ne connaissons pas les pressions) :

```
criteres <- left_join(criteres, Plev[c("ID_SITE", "NbPlev", "SumIntPlev")], by="ID_SITE")
PGE <- left_join(PGE, Plev[c("ID_SITE", "PGE_Plev")], by="ID_SITE")
table(PGE$PGE_Plev)
```

```
##
##
FAIBL
E FORT MOYEN## 7 15 8
```

4. Evaluation du PGE lié aux caractéristiques de l'environnement du site (zones tampon de 1000 et 5000 m)

4.1. PGE lié à l'occupation du sol dans les zones tampons autour du site (qualité de l'environnement proche et éloigné du site)

On note respectivement *QualiEnv1000* et *QualiEnv5000* les notes attribuées à l'occupation des sols dans les zones tampons de 1000 m et 5000 m autour des sites. Les PGE associés sont notés respectivement *PGE_QualiEnv1000* et *PGE_QualiEnv5000*.

Dans un premier temps, on crée un sous-ensemble du dataframe *OSO* contenant uniquement les données d'occupation des sols dans les zones tampons autour des

```
OSO_ENV <- subset(OSO, PERIMETRE != "SITE")
```

sites (*OSO_ENV*) :

On attribue ensuite une note entre 1 et 5 à chaque classe OSO à l'échelle des zones tampons :

```
levels(OSO_ENV$CD_OS)
```

```
## [1] "11" "12" "31" "32" "34" "36" "41" "42" "43" "44" "45" "46"  
## [13] "51" "211" "221" "222"
```

```
OSO_ENV$NOTE_OSO_ENV <- 0
```

```
for(i in 1:nrow(OSO_ENV)) {
```

```
  if(OSO_ENV$CD_OS[i] == "41" |  
      OSO_ENV$CD_OS[i] == "1" |  
      OSO_ENV$CD_OS[i] == "42" |  
      OSO_ENV$CD_OS[i] == "2" |  
      OSO_ENV$CD_OS[i] == "43" |  
      OSO_ENV$CD_OS[i] == "3" |  
      OSO_ENV$CD_OS[i] == "44" |  
      OSO_ENV$CD_OS[i] == "4"){
```

```
    OSO_ENV$NOTE_OSO_ENV[i] <- 1
```

```
  } else if(OSO_ENV$CD_OS[i] == "11" |
```

```
      OSO_ENV$CD_OS[i] == "12" |  
      OSO_ENV$CD_OS[i] == "5" |  
      OSO_ENV$CD_OS[i] == "6" |  
      OSO_ENV$CD_OS[i] == "7" |  
      OSO_ENV$CD_OS[i] == "8" |  
      OSO_ENV$CD_OS[i] == "9" |  
      OSO_ENV$CD_OS[i] == "10" |  
      OSO_ENV$CD_OS[i] == "221" |  
      OSO_ENV$CD_OS[i] == "222" |  
      OSO_ENV$CD_OS[i] == "14" |  
      OSO_ENV$CD_OS[i] == "15") {
```

```
    OSO_ENV$NOTE_OSO_ENV[i] <- 2
```

```
  } else { OSO_ENV$NOTE_OSO_ENV[i] <-
```

```
    5
```

```
  }
```

```
}
```

On calcule *QualiEnv1000* et *QualiEnv5000* :

```
criteres$QualiEnv1000 <- ddply(subset(OSO_ENV,PERIMETRE == "1000"), .(ID_SITE), summarize,  
                               sum(NOTE_OSO_ENV*PROP_AREA_RECALC))[,2]
```

```
criteres$QualiEnv5000 <- ddply(subset(OSO_ENV,PERIMETRE == "5000"), .(ID_SITE), summarize,  
                               sum(NOTE_OSO_ENV*PROP_AREA_RECALC))[,2]
```

Puis on évalue le PGE associé pour chaque site :

```

# PGE_QualiEnv1000
for(i in 1:nrow(criteres)){
  if(criteres$QualiEnv1000[i] == 1) {
    PGE$PGE_QualiEnv1000[i] <- "NUL"
  } else if (criteres$QualiEnv1000[i] > 1 & criteres$QualiEnv1000[i] <= 2) {
    PGE$PGE_QualiEnv1000[i] <- "FAIBLE"
  } else if (criteres$QualiEnv1000[i] > 2 & criteres$QualiEnv1000[i] <= 3) {
    PGE$PGE_QualiEnv1000[i] <- "MOYEN"
  } else {
    PGE$PGE_QualiEnv1000[i] <- "FORT"
  }
}
table(PGE$PGE_QualiEnv1000)

```

```

##
##
FAIBL
E      FORT MOYEN## 32          529    276

```

```
# PGE_QualiEnv5000

for(i in 1:nrow(criteres)){

  if(criteres$QualiEnv5000[i] == 1) {
    PGE$PGE_QualiEnv5000[i] <- "NUL"

  } else if (criteres$QualiEnv5000[i] > 1 & criteres$QualiEnv5000[i] <= 2) {
    PGE$PGE_QualiEnv5000[i] <- "FAIBLE"

  } else if (criteres$QualiEnv5000[i] > 2 & criteres$QualiEnv5000[i] <= 3) {
    PGE$PGE_QualiEnv5000[i] <- "MOYEN"

  } else {
    PGE$PGE_QualiEnv5000[i] <- "FORT"
  }
}

table(PGE$PGE_QualiEnv5000)
```

```
##
##
FAIBL
E      FORT MOYEN##5      533      299
```

4.2. PGE lié à la connectivité du site avec son environnement (réservoirs de biodiversité et linéaire de cours d'eau)

On note **NoteRB** la note attribuée à la proportion de réservoirs de biodiversité dans l'environnement du site et **NoteCE** la note attribuée au linéaire de cours d'eau en m/ha dans l'environnement du site. Le PGE lié à la connectivité du site avec son environnement, évalué en croisant ces deux critères, est noté **PGE_Connectivite**.

- NoteRB

Dans un premier temps, on ajoute au dataframe *criteres* les proportions de réservoirs de biodiversité dans les zones tampons de 1000 m et 5000 m autour de chaque site, que l'on note respectivement **PropRB1000** et **PropRB5000**.

On crée une boucle qui permet de récupérer ces proportions dans le dataframe *RB* (colonne "PROP_RESV") pour chaque site et chaque zone tampon.

NB : tous les sites ne possèdent pas de réservoirs de biodiversité dans leurs zones tampons ! Pour certains sites et périmètres, il n'y a aucune valeur de PROP_RESV. On utilise donc la fonction `ifelse()` pour vérifier s'il y a des réservoirs dans les périmètres des sites. Si oui, on récupère la proportion correspondante, sinon on met un

```
for (i in levels(criteres$ID_SITE)){

  ifelse(i %in% subset(RB,PERIMETRE=="1000")$ID_SITE == TRUE,
         criteres$PropRB1000[criteres$ID_SITE == i] <-
           RB$PROP_RESV[RB$ID_SITE==i & RB$PERIMETRE=="1000"],
         criteres$PropRB1000[criteres$ID_SITE == i] <- 0)

  ifelse(i %in% subset(RB,PERIMETRE=="5000")$ID_SITE == TRUE,
         criteres$PropRB5000[criteres$ID_SITE == i] <-
           RB$PROP_RESV[RB$ID_SITE==i & RB$PERIMETRE=="5000"],
```

zéro.

```

    criteres$PropRB5000[criteres$ID_SITE == i] <- 0)
}

```

On calcule ensuite le critère *NoteRB* pour chaque site :

```
criteres$NoteRB <- criteres$PropRB1000*2 + criteres$PropRB5000
```

• *NoteCE*

On ajoute au dataframe *criteres* les linéaires de cours d'eau en m/ha dans les deux zones tampons (variables

LineaireCE1000_ha et ***LineaireCE5000_ha***) et on calcule le critère *NoteCE* :

```
criteres <- left_join(criteres,
                    lineaireCE[c("ID_SITE", "LineaireCE1000_ha", "LineaireCE5000_ha")], by="ID_SITE")
criteres$NoteCE <- 2*criteres$LineaireCE1000_ha + criteres$LineaireCE5000_ha
```

• *PGE_Connectivite*

Finalement, on évalue le *PGE_Connectivite* associé au croisement de *NoteRB* et *NoteCE* :

```

for(i in 1:nrow(criteres)){
  if(criteres$NoteRB[i] == 0 & criteres$NoteCE[i] == 0){
    PGE$PGE_Connectivite[i] <- "NUL"
  } else if(criteres$NoteRB[i] == 0 &
            (criteres$NoteCE[i] > 0 & criteres$NoteCE[i] <= 40) |
            criteres$NoteCE[i] == 0 &
            (criteres$NoteRB[i] > 0 & criteres$NoteRB[i] <= 1.5) |
            (criteres$NoteRB[i] > 0 & criteres$NoteRB[i] <= 0.5) &
            (criteres$NoteCE[i] > 0 & criteres$NoteCE[i] <= 10)) {
    PGE$PGE_Connectivite[i] <- "FAIBLE"
  } else if (criteres$NoteRB[i] > 0.5 & criteres$NoteCE[i] > 40 |
            criteres$NoteRB[i] > 1.5 & criteres$NoteCE[i] > 10) {
    PGE$PGE_Connectivite[i] <- "FORT"
  } else {
    PGE$PGE_Connectivite[i] <- "MOYEN"
  }
}
table(PGE$PGE_Connectivite)

```

```
##
```

```
FAIBL
E      FORT MOYEN## 61          205  571
```

5. Evaluation du PGE lié à la synthèse de plusieurs critères

5.1. PGE lié à la qualité globale de l'environnement : occupation du sol et connectivité

On note **PGE_QualiEnvTot** le PGE lié à la qualité globale de l'environnement des sites.

On crée un dataframe **PGE_env** dans lequel on rassemble **PGE_QualiEnv1000**, **PGE_QualiEnv5000** et **PGE_Connectivite**, puis on compte pour chaque site combien sont nuls, faibles, moyens ou

```
PGE_env <- PGE[,c("ID_SITE","PGE_QualiEnv1000","PGE_QualiEnv5000","PGE_Connectivite")]

PGE_env$nb_NUL <- apply(PGE_env, 1, function(x) length(which(x=="NUL"))) PGE_env$nb_FAIBLE
<- apply(PGE_env, 1, function(x) length(which(x=="FAIBLE"))) PGE_env$nb_MOYEN <- apply(PGE_env,
1, function(x) length(which(x=="MOYEN"))) PGE_env$nb_FORT <- apply(PGE_env, 1, function(x)
length(which(x=="FORT")))
```

forts.

A partir de ça, on évalue **PGE_QualiEnvTot** :

```
for(i in 1:nrow(PGE_env)){

  if (PGE_env$nb_FAIBLE[i] >= 2) {
    PGE$PGE_QualiEnvTot[i] <- "FAIBLE"

  } else if (PGE_env$nb_MOYEN[i] >= 2) {
    PGE$PGE_QualiEnvTot[i] <- "MOYEN"

  } else if (PGE_env$nb_FORT[i] >= 2) {
    PGE$PGE_QualiEnvTot[i] <- "FORT"

  } else if (PGE_env$nb_NUL[i] == 2) {
    PGE$PGE_QualiEnvTot[i] <- "FAIBLE"

  } else if (PGE_env$nb_NUL[i] == 3) {
    PGE$PGE_QualiEnvTot[i] <- "NUL"

  } else if (PGE_env$nb_FORT[i] == 1 & PGE_env$nb_MOYEN[i] >= 1) {
    PGE$PGE_QualiEnvTot[i] <- "MOYEN"

  } else if (PGE_env$nb_FORT[i] == 1 & PGE_env$nb_MOYEN[i] == 0) {
    PGE$PGE_QualiEnvTot[i] <- "FAIBLE"

  } else if (PGE_env$nb_MOYEN[i] == 1 & PGE_env$nb_FORT[i] == 0) {
    PGE$PGE_QualiEnvTot[i] <- "FAIBLE"
  }
}

table(PGE$PGE_QualiEnvTot)
```

```
##
##
FAIBL
E      FORT MOYEN## 11          486  340
```

5.2. PGE lié à la taille du site relativement à la qualité de son environnement

On note *PGE_SurfTot_QualiEnvTot* le PGE lié à la surface totale du site relativement à la qualité de son environnement (croisement de *PGE_SurfTot* et

```
for(i in 1:nrow(PGE)){
  if(PGE$PGE_SurfTot[i] == "FAIBLE" & PGE$PGE_QualiEnvTot[i] == "NUL"){
    PGE$PGE_SurfTot_QualiEnvTot[i] <- "NUL"
  } else if (PGE$PGE_SurfTot[i] == "FAIBLE" &
    (PGE$PGE_QualiEnvTot[i] == "FAIBLE" | PGE$PGE_QualiEnvTot[i] == "MOYEN") |
    PGE$PGE_SurfTot[i] == "MOYEN" & PGE$PGE_QualiEnvTot[i] == "NUL") {
    PGE$PGE_SurfTot_QualiEnvTot[i] <- "FAIBLE"
  } else if (PGE$PGE_SurfTot[i] == "FAIBLE" & PGE$PGE_QualiEnvTot[i] == "FORT" | PGE$PGE_SurfTot[i] ==
    "MOYEN" &
    (PGE$PGE_QualiEnvTot[i] == "FAIBLE" | PGE$PGE_QualiEnvTot[i] == "MOYEN")) {
    PGE$PGE_SurfTot_QualiEnvTot[i] <- "MOYEN"
  } else {
    PGE$PGE_SurfTot_QualiEnvTot[i] <- "FORT"
  }
}
table(PGE$PGE_SurfTot_QualiEnvTot)
```

PGE_QualiEnvTot).

```
##
##
FAIBL
E      FORT MOYEN##  83          507    247
```

5.3. PGE lié à la marge de progrès sur le site compte-tenu de l'occupation du sol et des pressions levables recensées

On note *PGE_OccSol_Plev* le PGE évalué en croisant *PGE_OccSol* et *PGE_Plev* :

```
for(i in 1:nrow(PGE)){
  if(is.na(PGE$PGE_Plev[i]) == TRUE){PGE$PGE_OccSol_Plev[i]
    <- NA
  } else if(PGE$PGE_OccSol[i] == "NUL" & PGE$PGE_Plev[i] == "NUL"){PGE$PGE_OccSol_Plev[i] <-
    "NUL"
  } else if(PGE$PGE_OccSol[i] == "NUL" &
    (PGE$PGE_Plev[i] == "FAIBLE" | PGE$PGE_Plev[i] == "MOYEN") |
    PGE$PGE_OccSol[i] == "FAIBLE" &
```



```

(PGE$PGE_Plev[i] == "NUL" | PGE$PGE_Plev[i] == "FAIBLE") |PGE$PGE_OccSol[i] ==
"MOYEN" & PGE$PGE_Plev[i] == "NUL"){
PGE$PGE_OccSol_Plev[i] <- "FAIBLE"
} else if (PGE$PGE_OccSol[i] == "MOYEN" & PGE$PGE_Plev[i] == "FORT" |PGE$PGE_OccSol[i] == "FORT" &
(PGE$PGE_Plev[i] == "MOYEN" | PGE$PGE_Plev[i] == "FORT")){
PGE$PGE_OccSol_Plev[i] <- "FORT"
} else {
PGE$PGE_OccSol_Plev[i] <- "MOYEN"
}
}
table(PGE$PGE_OccSol_Plev)

```

```

##
##
FAIBL
E      FORT MOYEN## 1      15      14

```

6. Représentation graphique des résultats de l'évaluation du PGE

Pour chaque site, on a évalué de façon qualitative le PGE au regard de chaque critère. On souhaite représenter ces résultats sous la forme d'un diagramme en bar pour chaque site.

Mise en forme des données

On applique la fonction `pivot_longer()` au dataframe `PGE` pour avoir un PGE par ligne et non plus un PGE par colonne (mise en forme nécessaire pour pouvoir faire

```

PGE2 <- PGE %>% pivot_longer(-ID_SITE, names_to = "critere", values_to = "valeurPGE")
head(PGE2)

```

les diagrammes par la suite).

```

## # A tibble: 6 x 3
##   ID_SITE critere      valeurPGE
##   <fct>
##   <chr>
##   <chr>## 1 1      PGE_SurfTot      FORT
## 2 1      PGE_OccSol      MOYEN
## 3 1      PGE_PctSurfDeg  FORT
## 4 1      PGE_DegMoy      FAIBLE
## 5 1      PGE_Plev        <NA>
## 6 1      PGE_QualiEnv1000 MOYEN

```

La colonne “critere” correspond aux types de PGE (PGE_SurfTot, PGE_OccSol, etc.) et la colonne “valeurPGE” correspond à la valeur du PGE (nul, faible, moyen, fort).

Pour un certain nombre de sites, nous n’avons pas les données relatives aux pressions. Certaines lignes contiennent donc des *NA* pour *PGE_Plev* et *PGE_OccSol_Plev*. On supprime ces lignes :

```
PGE2 <- na.omit(PGE2)
```

On convertit les variables *valeurPGE* et *critere* en facteurs ordonnés :

```
PGE2$ID_SITE <- as.factor(PGE2$ID_SITE)
```

```
PGE2$valeurPGE <- ordered(PGE2$valeurPGE, levels = c("NUL", "FAIBLE", "MOYEN", "FORT"))
PGE2$critere <- ordered(PGE2$critere, levels = c("PGE_SurfTot", "PGE_OccSol",
                                             "PGE_PctSurfDeg", "PGE_DegMoy",
                                             "PGE_Plev", "PGE_QualiEnv1000",
                                             "PGE_QualiEnv5000",
                                             "PGE_Connectivite",
                                             "PGE_QualiEnvTot",
                                             "PGE_SurfTot_QualiEnvTot",
                                             "PGE_OccSol_Plev"))
```

On crée ensuite une nouvelle colonne (“categorie”) pour indiquer si le PGE est lié à une caractéristique intrinsèque du site, à une caractéristique de l’environnement ou à une synthèse de critères.

```
PGE2$categorie <- 0
```

```
for(i in 1:nrow(PGE2)){
  if(PGE2$critere[i]=="PGE_QualiEnv1000" |
     PGE2$critere[i]=="PGE_QualiEnv5000" |
     PGE2$critere[i]=="PGE_Connectivite"){
    PGE2$categorie[i] <- "environnement"
  } else if(PGE2$critere[i]=="PGE_QualiEnvTot" |
            PGE2$critere[i]=="PGE_SurfTot_QualiEnvTot" |
            PGE2$critere[i]=="PGE_OccSol_Plev") {
    PGE2$categorie[i] <- "synthese"
  } else { PGE2$categorie[i] <- "site" }
}
```

On convertit la variable *categorie* en facteur ordonné :

```
PGE2$categorie <- ordered(PGE2$categorie, levels=c("site", "environnement", "synthese"))
```

```
str(PGE2)
```

```
## tibble [7,593 x 4] (S3: tbl_df/tbl/data.frame)
## $ ID_SITE : Factor w/ 837 levels "1","10","11",...: 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 ...
## $ critere : Ord.factor w/ 11 levels "PGE_SurfTot"<..: 1 2 3 4 6 7 8 9 10 1 ...
## $ valeurPGE: Ord.factor w/ 4 levels "NUL"<"FAIBLE"<..: 4 3 4 2 3 3 3 3 4 4 ...
## $ categorie: Ord.factor w/ 3 levels "site"<"environnement"<..: 1 1 1 1 2 2 2 3 3
1 ...
## - attr(*, "na.action")= "omit" Named int [1:1614] 5 11 16 22 27 33 38 44 49 55
...
## ..- attr(*, "names")= chr [1:1614] "5" "11" "16" "22" ...
```

Finalement, on crée les diagrammes en bar (un par site) que l'on exporte dans un même PDF. On utilise une boucle `if()` car pour certains sites, les critères *PGE_Plev* et *PGE_OccSol_Plev* ne sont pas évalués (aucune donnée sur les pressions). On souhaite donc adapter la mise en page dans ces cas là.

```
pdf("diag_PGE.pdf", width = 6.5, height = 6)

for(i in levels(PGE2$ID_SITE)){
  if("PGE_Plev" %in% subset(PGE2,
    ID_SITE==i)$critere == TRUE){labs <-
    c(site = "Critères liés au site",
      environnement = "Critères liés
à\nl"environnement du site", synthese =
"Synthèses de critères")

    plot <- ggplot(subset(PGE2, ID_SITE == i),
      aes(x = critere, y = valeurPGE,
        fill = valeurPGE)) +geom_bar(stat =
"identity", width=0.8) +
    scale_x_discrete(name = element_blank(),
      breaks =
        c("PGE_SurfTot", "PGE_OccSol", "PGE_PctSurfDeg",
          "PGE_DegMoy", "PGE_Plev",
          "PGE_QualiEnv1000",
          "PGE_QualiEnv5000", "PGE_Connectivite",
          "PGE_QualiEnvTot", "PGE_SurfTot_QualiEnvTot",
          "PGE_OccSol_Plev"),
      labels = c("Surface
```

```

totale", "Occupation
des sols",
"Pourcentage de
surface dégradée",
"Intensité moyenne
de la dégradation",
"Pressions levables",
"Occupation des sols dans la zone
tampon de 1 km", "Occupation des sols
dans la zone tampon de 5 km ",
"Connectivité", "Qualité globale de
l'environnement",
"Surface du site et qualité globale de
son environnement", "Marge de progrès sur le site
(occupation des sols et pressions)") +

```

```

scale_y_discrete(limits = c("NUL", "FAIBLE",
"MOYEN", "FORT"), labels =
c("Nul", "Faible",
"Moyen", "Fort")) +

```

```

scale_fill_manual(name="Potentiel de gain écologique :",
breaks=c("FORT", "MOYEN", "FAIBLE", "NUL"),
labels=c("Fort", "Moyen", "Faible", "Nul"),
values=c("palegreen3", "lightgoldenrod1", "tan1", "orangered"))
+

```

```

labs(y="Potentiel de gain écologique", title=i) +

```

```

facet_grid(~categorie, scales = "free_x", space

```

```

= "free",
labeller = labeller(categorie = labs)) +

```

```

theme(axis.text.x = element_text(angle = 35, hjust=1, vjust=1,
colour = "black"), axis.title.x = element_blank(),
axis.title.y =
element_text(size=9),
panel.grid.major =
element_blank(),
panel.grid.minor =
element_blank(),
panel.background = element_rect(fill = "white",
colour = "black"), axis.line = element_line(colour
= "black"),

```

```

strip.background = element_rect(colour="black", fill="lightgrey",
                                li
netype="solid"),
strip.text.x = element_text(face =
"bold"), legend.position =
"bottom")

print(plot)
} else {

labs <- c(site = "Critères liés au site",
          environnement = "Critères liés
à l'environnement du site", synthese =
"Synthèses de critères")

plot <- ggplot(subset(PGE2, ID_SITE == i),
               aes(x = critere, y = valeurPGE,

fill = valeurPGE)) +geom_bar(stat =

"identity", width=0.8) +

scale_x_discrete(name = element_blank(),
                 breaks = c("PGE_SurfTot", "PGE_OccSol", "PGE_PctSurfDeg",
                           "PGE_DegMoy", "PGE_QualiEnv1000",
                           "PGE_QualiEnv5000", "PGE_Connectivite",
                           "PGE_QualiEnvTot", "PGE_SurfTot_QualiEnvTot"),

                 labels = c("Surface
                           totale", "Occupation
                           des sols",
                           "Pourcentage de
                           surface dégradée",
                           "Intensité moyenne
                           de la dégradation",
                           "Occupation des sols dans la zone
                           tampon de 1 km", "Occupation des
                           sols dans la zone tampon de 5 km
                           ", "Connectivité", "Qualité globale
                           de l'environnement",
                           "Surface du site et qualité globale de son
                           environnement")) +

scale_y_discrete(limits = c("NUL", "FAIBLE",
                           "MOYEN", "FORT"), labels =
c("Nul", "Faible",
  "Moyen", "Fort")) +

scale_fill_manual(name="Potentiel de gain écologique :",
                  breaks=c("FORT", "MOYEN", "FAIBLE", "NUL"),

```

```

      labels=c("Fort", "Moyen", "Faible", "Nul"),
      values=c("palegreen3", "lightgoldenrod1", "tan1", "orangered"))
+

labs(y="Potentiel de gain écologique", title=i) +

facet_grid(~categorie, scales = "free_x", space

= "free",
          labeller = labeller(categorie = labs)) +

theme(axis.text.x = element_text(angle = 35, hjust=1, vjust=1,
  colour = "black"), axis.title.x = element_blank(),
  axis.title.y =
  element_text(size=9),
  panel.grid.major =
  element_blank(),
  panel.grid.minor =
  element_blank(),
  panel.background = element_rect(fill = "white",
  colour = "black"), axis.line = element_line(colour
  = "black"),
  strip.background = element_rect(colour="black", fill="lightgrey",
  linetype="solid"),
  strip.text.x = element_text(face = "bold"), legend.position =
  "bottom")

  print(plot)
}
}
dev.off()

```

7. Représentation graphique des proportions de chaque classe OSO à l'échelle du site et des zones tampons

Cette partie concerne la création des diagrammes empilés représentant, pour chaque site, les proportions de chaque classe OSO à l'échelle du site, de la zone tampon de 1000 m et de la zone tampon de 5000 m.

Ces diagrammes sont créés pour être insérés dans les fiches de synthèse des sites.

Afin que ces diagrammes puissent être réalisés quelle que soit la nomenclature OSO utilisée (en 17 classes, "OSOold", ou 23 classes, "OSOnew"), il faut faire une correspondance entre

```

OSOnew <- c(1:23,255)
OSOold <- c(41,42,43,44,12,12,12,11,11,11,11,11,211,221,222,31,32,36,34,45,46,53,51,53)
corres <- as.data.frame(cbind(OSOnew, OSOold))corres <-
corres[-12,]

```

les deux nomenclatures.

Il faut noter que les catégories “11” et “12” sont présentes dans les deux nomenclatures. La nouvelle classe “11” correspond à l’ancienne classe “11”. En revanche la nouvelle classe “12” correspond à l’ancienne classe “11”. Pour identifier ce cas de figure, le champ texte associé à la classe est utilisé:

```
OSO$CD_OS_temp <- corres$OSOold[match(OSO$CD_OS, corres$OSOnew)]
OSO$CD_OS_temp[OSO$CD_OS == "12"] <- ifelse(substring(OSO$LB_OS[OSO$CD_OS ==
                                                "12"],1,1)=="t", "11",
                                                "12")
OSO$CD_OS_temp[is.na(OSO$CD_OS_temp)] <- as.character(OSO$CD_OS[is.na(OSO$CD_OS_temp)])
OSO$CD_OS_old <- OSO$CD_OS
OSO$CD_OS <- OSO$CD_OS_temp
OSO <- OSO[, -which(colnames(OSO) == "CD_OS_temp")]
```

```
OSO$PERIMETRE <- ordered(OSO$PERIMETRE, levels=c("SITE", "1000", "5000"))

OSO$CD_OS <- ordered(OSO$CD_OS, levels=c("41", "42", "43", "44", "11", "12", "221",
                                          "222", "211", "32", "31", "36", "34", "46",
                                          "45", "51", "53"))

OSO$LB_OS <- ordered(OSO$LB_OS, levels=c("urbain dense", "urbain diffus",
                                          "zones industrielles et commerciales", "surfaces
                                          routes", "culture ete", "culture hiver",
                                          "vergers", "vignes",
                                          "prairies", "foret coniferes",
                                          "foret feuillus", "landes ligneuses",
                                          "pelouses", "plages et dunes", "surfaces
                                          minerales", "eau", "glaciers ou neige"))

pdf("diag_prop_OSO.pdf", width=7, height=5)
```

```

for(i in levels(OSO$ID_SITE)){

plot <- ggplot(data = OSO[OSO$ID_SITE == i,],
               aes(x = PERIMETRE, y = PROP_AREA_RECALC)) +

geom_col(aes(fill=LB_
OS), width = 0.7) +

xlab("Périmètre") +

ylab("Proportion de la surface totale du périmètre") +

scale_x_discrete(breaks = c("SITE","1000","5000"),
                 labels = c("Site","Zone
tampon\nde
1000 m","Zone
tampon\nde
5000 m")) +

scale_y_continuous(breaks=seq(0,1,by=
0.1)) + scale_fill_manual(name = "Type
d'occupation du sol OSO",
                          breaks=c("urbain dense", "urbain diffus",
"zones industrielles
et commerciales",
"surfaces routes",
"culture ete",
"culture hiver",
"vergers", "vignes",
"prairies", "foret
coniferes",
"foret feuillus",
"landes
ligneuses",
"pelouses", "plages
et dunes",
"surfaces
minerales", "eau",
"glaciers ou
neige"),
                          values = c("#b04896",
"#d77bc0",
"#eaa8da",
"#dc4467",
"#f2dd3b",
"#edad21",
"#b26bf4",
"#7a579b",
"#cae8bd",
"#37643d",
"#60b069",
"#9aa975",

```



```
"#6ad161",  
"#e3d092",  
"#bdbdbd",  
"#65ccdc",  
"#f0f0f0"),
```

```
labels = c("Urbain dense",  
"Urbain diffus",  
"Zones industrielles  
et commerciales",  
"Surfaces routes",  
"Cultures d'été",  
"Cultures d'hiver",  
"Vergers", "Vignes",  
"Prairies",  
"Forêts de conifères",  
"Forêts de feuillus",  
"Landes ligneuses",  
"Pelouses",  
"Plages et dunes",  
"Surfaces minérales",  
"Eau", "Glaciers ou  
neige")) +
```

t
h
e
m
e

-
b
w
(
)
+

l
a

```

b
s
(
t
i
t
l
e
=
i
)
print(plot)
}
dev.off()

```

8. Etude de la distribution des variables associées aux critères d'évaluation du PGE

NB : cette partie n'est pas utile pour l'évaluation du PGE ou la création des fiches de synthèse. Il s'agit du script ayant servi à créer les histogrammes montrant la distribution des critères d'évaluation calculés sur l'échantillon de 837 sites tests.

Création d'un tableau résumant les paramètres statistiques de la distribution des critères calculés sur les sites de l'échantillon :

```

summary <- as.data.frame(do.call(cbind, lapply(criteres[,-1], summary)))summary <-
as.data.frame(t(summary))
summary <- tibble::rownames_to_column(summary, "critere")summary[2:8] <-
round(summary[2:8], 2)

library(writexl)
write_xlsx(summary, path = "summary_criteres.xlsx")

```

Création des histogrammes et diagrammes en barres :

Histogramme du critère SurfTot

Sur toute l'étendue de la variable (de 0.02 à 5651.75 ha)

```

png("SurfTot.png", width=3, height=2.5, units
= "in", res = 300)ggplot(criteres,
aes(x=SurfTot)) +
geom_histogram(colour="black", fill="white", breaks=seq(0,6000,by=500))
+scale_x_continuous("SurfTot (en ha)", breaks=seq(0,6000,by=1000)) +
scale_y_continuous(breaks=seq(0,800,100)) +
xlab("Surf
Tot (en

```

```

ha)") +
theme_lig
ht() +
theme(panel.border =
  element_rect(color="black
"),axis.title.y =
  element_blank(),
  plot.margin = unit(c(0.2,
0.2, 0.2, 0.8), "cm"))dev.off()

# Zoom sur les sites inférieurs à 20 ha

png("SurfTot_zoom.png", width=3, height=2.5, units =
"in", res = 300) ggplot(subset(criteres, SurfTot<20),
aes(x=SurfTot)) + geom_histogram(colour="black",
fill="white", breaks=seq(0,20,by=1)) +
scale_x_continuous("SurfTot (en ha)",
breaks=seq(0,20,2)) +
scale_y_continuous(breaks=seq(0,200,20)) +
xlab("Surf
Tot (en
ha)") +
theme_lig
ht() +
theme(panel.border =
  element_rect(color="black
"),axis.title.y =
  element_blank(),
  plot.margin = unit(c(0.2, 0.2, 0.2, 0.8),
"cm")) +annotate("text", x=13, y=140,
  label="Zoom sur les
sites\nde moins de 20 ha",
  size=4)
dev.off()

```

```

# Histogramme du critère OccSol

```

```

png("OccSol.png", width=3, height=2.5, units = "in", res = 300)

```

```

ggplot(criteres, aes(x=OccSol)) +
geom_histogram(colour="black", fill="white", breaks=seq(0,10,by=0.5)) +
scale_x_continuous("OccSol", breaks=seq(0,10,by=1)) +
scale_y_continuous(breaks=seq(0,180,20)) +
theme_light() +
theme(panel.border = element_rect(color="black"),
  axis.title.y = element_blank(),
  plot.margin = unit(c(0.2, 0.2, 0.2, 0.8), "cm"))
dev.off()

```

```

ggdensity(criteres$OccSol, fill = "lightgray") # Diagramme de densité

```

```

ggqqplot(criteres$OccSol) # QQ plot

```

```

ks.test(criteres$OccSol,"pnorm",mean(criteres$OccSol),sd(criteres$OccSol))
# Montre que la variable n'est pas distribuée normalement.

```

```
# Histogramme du critère PctSurfDeg
```

```
png("PctSurfDeg.png", width=3, height=2.5, units = "in", res = 300)
ggplot(criteres, aes(x=PctSurfDeg)) +
  geom_histogram(colour="black", fill="white", breaks=seq(0,100,by=10)) +
  scale_x_continuous("PctSurfDeg (en %)", breaks=seq(0,100,by=20)) +
  scale_y_continuous(breaks=seq(0,700,100)) +
  theme_light() +
  theme(panel.border = element_rect(color="black"),
        axis.title.y = element_blank(),
        plot.margin = unit(c(0.2, 0.2, 0.2, 0.8), "cm"))
dev.off()
```

```
# Histogramme du critère DegMoy
```

```
png("DegMoy.png", width=3, height=2.5, units = "in", res = 300)
ggplot(criteres, aes(x=DegMoy)) +
  geom_histogram(colour="black", fill="white", breaks=seq(0,10,by=0.5), closed ="left") +
  scale_x_continuous("DegMoy", breaks=seq(0,10,by=1)) +
  scale_y_continuous(breaks=seq(0,400,100)) +
  theme_light() +
  theme(panel.border = element_rect(color="black"),
        axis.title.y = element_blank(),
        plot.margin = unit(c(0.2, 0.2, 0.2, 0.8), "cm"))
dev.off()
```

```
# Diagramme en barres empilées du critère NbPlev
```

```
png("NbPlev.png", width=3, height=2.5, units = "in", res = 300)
ggplot(Plev, aes(x=NbPlev)) +
  geom_bar(colour="black", fill="white") +
  scale_y_continuous(breaks=seq(0,9,by=1)) +
  scale_x_continuous("NbPlev", breaks=seq(0,11,1)) +
  xlab("NbPlev") +
  theme_light() +
  theme(panel.grid.minor = element_blank(),
        panel.border = element_rect(color="black"),
        axis.title.y = element_blank(),
        plot.margin = unit(c(0.2, 0.2, 0.2, 0.8), "cm"))
dev.off()
```

```
# Histogramme du critère SumIntPlev
```

```
png("SumIntPlev.png", width=3, height=2.5, units = "in", res = 300)
ggplot(criteres, aes(x=SumIntPlev)) +
  geom_histogram(colour="black", fill="white", breaks=seq(0,20,2)) +
  scale_x_continuous("SumIntPlev", breaks=seq(0,20,2)) +
  scale_y_continuous(breaks=seq(0,20,2)) +
  theme_light() +
  theme(panel.grid.minor = element_blank(),
        panel.border = element_rect(color="black"),
        axis.title.y = element_blank(),
        plot.margin = unit(c(0.2, 0.2, 0.2, 0.8), "cm"))
dev.off()
```

```
# Histogramme du critère QualiEnv1000
```

```
png("QualiEnv1000.png", width=3, height=2.5, units = "in", res = 300)
ggplot(criteres, aes(x=QualiEnv1000)) +
  geom_histogram(colour="black", fill="white", breaks=seq(1,5,by=0.5)) +
  scale_x_continuous("QualiEnv1000", breaks=seq(1,5,by=1)) +
  scale_y_continuous(breaks=seq(0,200,50)) +
  theme_light() +
  theme(panel.border = element_rect(color="black"),
        axis.title.y = element_blank(),
        plot.margin = unit(c(0.2, 0.2, 0.2, 0.8), "cm"))
dev.off()
```

```
# Histogramme du critère QualiEnv5000
```

```
png("QualiEnv5000.png", width=3, height=2.5, units = "in", res = 300)
ggplot(criteres, aes(x=QualiEnv5000)) +
  geom_histogram(colour="black", fill="white", breaks=seq(1,5,by=0.5)) +
  scale_x_continuous("QualiEnv5000", breaks=seq(1,5,by=1)) +
  scale_y_continuous(breaks=seq(0,200,50)) +
  theme_light() +
  theme(panel.border = element_rect(color="black"),
        axis.title.y = element_blank(),
        plot.margin = unit(c(0.2, 0.2, 0.2, 0.8), "cm"))
dev.off()
```

```
# Histogramme du critère PropRB1000
```

```
png("PropRB1000.png", width=3, height=2.5, units = "in", res = 300)
ggplot(criteres, aes(x=PropRB1000)) +
  geom_histogram(colour="black", fill="white", breaks=seq(0,1,by=0.1)) +
  scale_x_continuous("PropRB1000", breaks=seq(0,1,by=0.2)) +
  scale_y_continuous(breaks=seq(0,350,50)) +
  theme_light() +
  theme(panel.border = element_rect(color="black"),
        axis.title.y = element_blank(),
        plot.margin = unit(c(0.2, 0.2, 0.2, 0.8), "cm"))
dev.off()
```

```
# Histogramme du critère PropRB5000
```

```
png("PropRB5000.png", width=3, height=2.5, units = "in", res = 300)
ggplot(criteres, aes(x=PropRB5000)) +
  geom_histogram(colour="black", fill="white", breaks=seq(0,1,by=0.1)) +
  scale_x_continuous("PropRB5000", breaks=seq(0,1,by=0.2)) +
  scale_y_continuous(breaks=seq(0,300,50)) +
  theme_light() +
  theme(panel.border = element_rect(color="black"),
        axis.title.y = element_blank(),
        plot.margin = unit(c(0.2, 0.2, 0.2, 0.8), "cm"))
dev.off()
```

```
# Histogramme du critère NoteRB
```

```
png("NoteRB.png", width=3, height=2.5, units = "in", res = 300)
ggplot(criteres, aes(x=NoteRB)) +
  geom_histogram(colour="black", fill="white", breaks=seq(0,3,by=0.25)) +
  scale_x_continuous("NoteRB", breaks=seq(0,3,by=0.5)) +
  scale_y_continuous(breaks=seq(0,250,50)) +
  theme_light() +
  theme(panel.border = element_rect(color="black"),
        axis.title.y = element_blank(),
        plot.margin = unit(c(0.2, 0.2, 0.2, 0.8), "cm"))
dev.off()
```

```
# Histogramme du critère LineaireCE1000_ha
```

```
png("LineaireCE1000_ha.png", width=3, height=2.5, units = "in", res = 300)
ggplot(criteres, aes(x=LineaireCE1000_ha)) +
  geom_histogram(colour="black", fill="white", breaks=seq(0,26,by=2)) +
  scale_x_continuous("LineaireCE1000 (en m/ha)", breaks=seq(0,26,by=4)) +
  scale_y_continuous(breaks=seq(0,150,25)) +
  theme_light() +
  theme(panel.border = element_rect(color="black"),
        axis.title.y = element_blank(),
        plot.margin = unit(c(0.2, 0.2, 0.2, 0.8), "cm"))
dev.off()
```

```
# Histogramme du critère LineaireCE5000_ha
```

```
png("LineaireCE5000_ha.png", width=3, height=2.5, units = "in", res = 300)
ggplot(criteres, aes(x=LineaireCE5000_ha)) +
  geom_histogram(colour="black", fill="white", breaks=seq(0,24,by=2)) +
  scale_x_continuous("LineaireCE5000 (en m/ha)", breaks=seq(0,26,by=4)) +
  scale_y_continuous(breaks=seq(0,200,25)) +
  theme_light() +
  theme(panel.border = element_rect(color="black"),
        axis.title.y = element_blank(),
        plot.margin = unit(c(0.2, 0.2, 0.2, 0.8), "cm"))
dev.off()
```

```

# Histogramme du critère NoteCE

png("NoteCE.png", width=3, height=2.5, units = "in", res = 300)
ggplot(criteres, aes(x=NoteCE)) +
  geom_histogram(colour="black", fill="white", breaks=seq(0,65,by=5)) +
  scale_x_continuous("NoteCE (en m/ha)", breaks=seq(0,65,by=10)) +
  scale_y_continuous(breaks=seq(0,120,20)) +
  theme_light() +
  theme(panel.border = element_rect(color="black"),
        axis.title.y = element_blank(),
        plot.margin = unit(c(0.2, 0.2, 0.2, 0.8), "cm"))
dev.off()

x <- ggdensity(criteres$NoteCE, fill = "lightgray", xlab = "NoteCE")
y <- ggqqplot(criteres$NoteCE)
plot_grid(x,y,labels=c("A","B"),ncol = 2)

ks.test(criteres$NoteCE, "pnorm", mean(criteres$NoteCE), sd(criteres$NoteCE))
# Montre que le critère est distribué normalement.

```

Auteurs

Mac Call Martha, OFB
Hette Tronquart Nicolas, OFB
Padilla Brian, Patrinat
Sarrazin Françoise, OFB

Contact

Francoise.sarrazin@ofb.gouv.fr

Citation du document

Mac Call Martha, Hette Tronquart Nicolas, Padilla Brian, Sarrazin Françoise, 2023
Méthode d'évaluation du potentiel de gain écologique de sites terrestres, Office français de la biodiversité. 65p.

Mots-clefs

Potentiel de gain écologique, restauration écologique, critères d'évaluation du potentiel de gain écologique

Résumé

L'évolution constante de nos sociétés et des territoires implique la construction récurrente de nouveaux aménagements, qui occasionnent des incidences sur la biodiversité. Pour poursuivre l'objectif d'absence de perte nette de biodiversité posé par la loi de reconquête de la biodiversité en 2016, la réparation des dommages causés par nos activités aux écosystèmes s'impose, faisant parfois appel au génie écologique. Le gain écologique désigne l'amélioration obtenue, en termes d'état de conservation d'une espèce, ou en termes de fonctionnement écologique du milieu concerné par une telle action. Il s'évalue en comparant l'état initial du site restauré et l'état final après restauration écologique. Cette publication présente une méthode destinée à évaluer le potentiel de gain écologique (PGE) d'un site, autrement dit, la marge de progrès estimée sur ce site par des actions de restauration écologique ou certaines pratiques de gestion. Cette méthode basée sur des données disponibles au niveau national, ne se substitue pas à une expertise de terrain, mais constitue un pré-diagnostic indicatif, utile pour étudier l'opportunité d'entreprendre une restauration écologique.