

# NoNetLoss : Evaluation de l'efficacité des mesures compensatoires

1<sup>ère</sup> évaluation : Mesure COA1/COA2 au printemps

Fiche 123 du Plan de Relance de Wallonie - 2024

**Faune et biotopes ASBL** : V. Cappellen, L. De Neyer, S. Hillewaert, S. Cristofoli

**Université de Gembloux Agro-Bio Tech – Biodiversité et paysage** : A. Dumont, C. Paës, et M. Dufrière.



# Remerciements

Nous souhaitons exprimer notre sincère gratitude à chaque personne qui a contribué de près ou de loin à la bonne réalisation du projet *NoNetLoss*. Les agriculteurs ayant accepté de mettre à disposition leurs parcelles pour les suivis, Pierrette Nyssen, Jean-François Godeau et Quentin Smits pour leur expertise en chiroptérologie et bioacoustique ; Siméon Hillewaert pour ses suivis sur les micromammifères, Vinciane Schockaert pour son expertise en micromammifères ; Jérémy Simar pour sa contribution et collaboration à différents égards ; les bureaux d'étude et autres structures ayant participé à la complétude du rapport ; Valérie Dupont pour ses conseils, sa relecture et son expertise en ce qui concerne la partie juridique, le SPW pour la possibilité de réaliser ce projet.

## Table des matières

Remerciements.....	2
Table des illustrations .....	1
Table des tableaux .....	1
1. Introduction .....	1
1.1 Contextualisation.....	1
1.2 Objectif et principes de la mesure de compensation :.....	2
1.3 Processus administratif en Wallonie .....	3
2. Etat de l'art des mesures des compensation .....	4
2.1 La pratique de la compensation écologique à l'étranger .....	4
Les formes de la compensation .....	4
Les systèmes de compensation à l'étranger .....	5
Transparence de l'information concernant les projets éoliens et les mesures compensatoires à l'étranger .....	10
Espèces ciblées et mesures compensatoires dans le cadre éolien à l'international .....	11
Le suivi des mesures compensatoires à l'étranger .....	24
2.2 Le cas de la Wallonie : Inventaire des mesures de compensation.....	25
Mesures de compensation installées dans le contexte éolien .....	26
Mesures de compensation installées hors contexte éolien .....	37
2.3 Les suivis des mesures de compensation .....	43

Suivi des mesures de compensation installées dans le contexte éolien .....	43
Suivi des mesures de compensation installées hors contexte éolien .....	45
2.4 Les protections juridiques des mesures de compensation dans le monde.....	47
Droit international .....	47
Droit européen : .....	48
Droit national des pays Européens : .....	51
2.5 Cadre légal d’application en Wallonie .....	54
Fondements juridiques.....	55
La fixation des mesures compensatoires et les limites associées :.....	57
Conclusion du benchmarking à l’étranger et de la mise en application en Wallonie : .....	61
3. Protocoles de suivis biologiques des mesures de compensation .....	62
3.1 Contexte .....	62
3.2 Note générale sur les suivis .....	63
3.3 Protocoles floristiques et faunistiques .....	64
Flore - respect du cahier des charges.....	64
Oiseaux .....	64
Chiroptères.....	70
Micromammifères.....	78
3.4 Structuration de l’échantillonnage .....	78
Mesures de compensation .....	78
Diversité et complexité des paysages.....	79
La connectivité et l’isolement des parcelles .....	82
Structure de la parcelle .....	82
Stations témoins .....	83
Sites sélectionnés .....	83
Relation entre les critères d’analyse utilisés .....	86

4.	Résultats et interprétations .....	89
4.1	Analyse des Oiseaux.....	89
	Comparaison des 4 systèmes d’inventaire .....	89
	Rappel du protocole mis en place et de l’analyse des sons .....	90
	Qualité de l’échantillonnage .....	93
	Stratégie d’analyse de la diversité $\alpha$ .....	95
	Stratégie d’analyse de la diversité $\beta$ .....	101
	Analyse de l’activité des espèces cibles .....	105
	Analyse des autres jeux de données d’oiseaux .....	107
	Analyse de l’impact spécifique de la qualité du couvert et de la connectivité pour les MC .....	108
	Bilan général de l’analyse .....	109
4.2	Analyse des Chauves-Souris.....	110
	Rappel du protocole mis en place et de l’analyse des sons .....	110
	Qualité de l’échantillonnage .....	111
	Stratégie d’analyse de la diversité $\alpha$ .....	112
	Stratégie d’analyse de la diversité $\beta$ .....	118
	Analyse de la diversité des groupes d’espèces .....	121
	Analyse de l’activité des groupes des espèces cibles.....	122
	Bilan général de l’analyse .....	123
4.3	Analyse des Micromammifères .....	124
	Rappel du protocole d’inventaires des entrées de galeries.....	124
	Résultats .....	124
4.4	Rôle des compensations dans le réseau écologique .....	125
5.	Limites et recommandations.....	128
5.1	Développer le cadre légal et opérationnel .....	128
	Cadre législatif.....	128

Cadre opérationnel .....	130
5.2 Respecter le cadre ERC .....	131
5.3 Assurer une bonne gestion administrative du système de compensation .....	132
5.4 Limites et recommandations en regards des résultats de l'évaluation de l'efficacité des COA1/COA2 .....	132
LIMITES DE L'ÉTUDE .....	132
LOCALISATION ET CONFIGURATION DES MESURES DE COMPENSATION .....	134
ESPÈCES CIBLES DES MESURES DE COMPENSATION.....	134
VÉRIFICATION DE L'EFFICACITÉ DES MESURES DE COMPENSATIONS .....	135
5.5 Explorations et améliorations scientifiques .....	136
6. Les perspectives à la clôture du projet.....	137
Bibliographie.....	139
Annexes .....	143

# Table des illustrations

<b>Figure 1: Bilan écologique de la séquence ERC (SDPPD, 2021) .....</b>	<b>6</b>
<b>Figure 2 : Mesures de compensation présentes en Wallonie.....</b>	<b>36</b>
<b>Figure 3 : Modèle d'enregistreur acoustique à faible coût UR-09 LCR de ShenZhen HNSAT Industrial Co. Ltd (Chine) ; source de la photo :(Farina et al., 2014).....</b>	<b>66</b>
<b>Figure 4 : Enregistreur passif de chez Wildlife Acoustics qui permet d'enregistrer les ultrasons, notamment des chiroptères, mais aussi les sons audibles à l'aide d'un microphone acoustique (source : Song Meter Mini BAT Wildlife Acoustics (enregistreur ultra-sonore) (leclub-biotope.com) ). .....</b>	<b>66</b>
<b>Figure 5 : Courbe de régression logistique du Bruant proyer pour les enregistrements de la batbox. Les autres régressions sont disponibles à l'annexe A.5 .....</b>	<b>69</b>
<b>Figure 6 : Modèle d'enregistreur passif « Song Meter Mini BAT Wildlife Acoustics » pour capter les ultrasons émis par les chiroptères (source: Song Meter Mini BAT Wildlife Acoustics (enregistreur ultra-sonore) (leclub-biotope.com)).....</b>	<b>72</b>
<b>Figure 7 : Courbe de régression pour le groupe des Pipistrelles. « nombre obs » correspond au nombre de validations manuelles réalisées. Les autres régressions sont disponibles à l'annexe A.4 .....</b>	<b>74</b>
<b>Figure 8 : Mesure de compensation COA1/COA2.....</b>	<b>79</b>
<b>Figure 9 : Dendrogramme obtenu par la méthode de groupement Ward, montrant les trois groupes formés pour l'association COA1/COA2 par les écotopes. ....</b>	<b>80</b>
<b>Figure 10 : Graphique produit par l'ACP (dimensions 1 et 2) reprenant les dissolves des parcelles en COA1 et COA2. Ils sont répartis en fonction de la proportion des différents écotopes environnants les parcelles dans un périmètre de 500 m autour de chaque dissolve. Les groupes sont ceux créés par la méthode de groupement euclidienne avec les paysages diversifiés (groupe 1 en vert), des paysages intermédiaires (groupe 2 en bleu) et les paysages de grandes cultures (groupe 3 en orange).....</b>	<b>80</b>
<b>Figure 11 : Cercle de corrélation repris dans le graphique de l'ACP montrant la répartition des différents écotopes au sein de l'ACP (dimensions 1 et 2). Deux noms d'écotopes se superposent sur le graphique et sont « Eaux_Surf » et « Ouvert_Nat ». ....</b>	<b>81</b>
<b>Figure 12 : Deux parcelles de compensation COA1/COA2 (à Perwez) avec la parcelle de gauche en contexte paysager de « cultures » et la parcelle de droite en contexte paysager « diversifié ».....</b>	<b>82</b>
<b>Figure 13 : (a) Nombre total de sites à échantillonner divisé entre le contexte paysager de « culture » et le contexte « diversifié », ceci étant échantillonné d'une part pour les parcelles de compensation et d'autre part pour leur site témoin pairé. (b) Nombre de compensations échantillonnées selon le critère de connectivité "Réseau" vs "Isolé" .....</b>	<b>84</b>

<b>Figure 14 : Répartition des mesures de compensation prospectées. Chaque chiffre correspond à un "pack" de mesures visitées lors de la même sortie. ....</b>	<b>85</b>
<b>Figure 15 : Répartition des mesures de compensation prospectées pour le protocole micromammifères. Chaque chiffre correspond à un "pack" de mesures visitées lors de la même sortie.....</b>	<b>86</b>
<b>Figure 16 : Distribution des valeurs de surface des stations étudiées en fonction des critères qualitatifs. ....</b>	<b>87</b>
<b>Figure 17 : Relation négative entre la date de semis, exprimée en nombre de jour d'écart par rapport à la date du cahier des charges, et la qualité du couvert sur une échelle de 1 à 4. .</b>	<b>87</b>
<b>Figure 18 : Evaluation de la qualité des couverts des MC en fonction du type de paysage. .</b>	<b>88</b>
<b>Figure 20 : Profil de distribution des valeurs pour les 122 espèces identifiées. On ne conserve que les observations les plus sûres (&gt;75%) sauf pour les espèces cibles où on a construit des courbes de réponse pour valider des seuils plus fins. ....</b>	<b>91</b>
<b>Figure 19 : Distribution des valeurs de confiance brute obtenue à partir des enregistrements pour les oiseaux enregistrés pendant la répétition 2 (12 millions d'enregistrements de 3 secondes !). Les distributions montrent que le niveau de confiance est généralement assez faible.....</b>	<b>91</b>
<b>Figure 21 : Profil de distribution des durées d'enregistrement pour les 48 stations. Toutes ont pratiquement été échantillonnées pendant deux fois 72 heures et 26 l'ont été pendant trois fois 72 heures. ....</b>	<b>93</b>
<b>Figure 22 : Évolution du nombre d'espèces dans les 2 paires des stations 001 et 004. La durée est exprimée en nombre de période de 5 minutes par rapport au début de l'enregistrement .....</b>	<b>94</b>
<b>Figure 23 : Évolution du nombre d'espèces au fur et à mesure du nombre de jours d'inventaire. On observe déjà une différence entre les stations MC et ST avec ces dernières un peu moins riches. ....</b>	<b>94</b>
<b>Figure 24 : Courbe cumulative du nombre d'espèces en fonction du nombre de répétitions avec l'intervalle de confiance. Pour qu'il y ait des différences significatives entre deux courbes, elles ne doivent pas se superposer. ....</b>	<b>95</b>
<b>Figure 25 : Distribution des sommes des occurrences par espèce. Les alouettes étant très actives et avec un cri très clair et entendu de loin, elles dominent très largement (&gt; 40% des occurrences). ....</b>	<b>96</b>
<b>Figure 26 : Analyse des corrélations entre les indices de diversité (à gauche) et visualisation sur le cercle des corrélations (à droite) d'une ACP. Les courbes en rouge correspondent à une modélisation du nombre d'espèces. ....</b>	<b>97</b>

<b>Figure 27 : Représentation des différences d'indices de diversité entre les stations. On a ajouté des ellipses de dispersion (70%) pour les catégories croisées des compensations et des types de paysage.....</b>	<b>98</b>
<b>Figure 28 : Exemple du processus d'analyse réalisé pour sélectionner le test le plus judicieux pour l'indice d'activités exprimé par le nombre d'occurrences. ....</b>	<b>99</b>
<b>Figure 29 : Résultats des tests appariés pour évaluer l'effet des compensations et du type de paysage.....</b>	<b>99</b>
<b>Figure 30 : Résultats des tests pairés pour évaluer l'effet des compensations dans chacun des deux types de paysage .....</b>	<b>100</b>
<b>Figure 33 : Résultats des tests appariés pour évaluer l'effet des compensations dans chacun des deux types de paysage. ....</b>	<b>101</b>
<b>Figure 34 : Ordination en coordonnées principales des différences de composition des assemblages d'espèces. L'axe 1 montre bien la séparation entre les paysages diversifiés à gauche et les grandes cultures à droite, avec un effet très net des mesures de compensation dans les paysages diversifiés qui démontrent l'originalité des assemblages. ....</b>	<b>102</b>
<b>Figure 35 : A gauche, projection des espèces et de la richesse en espèce (isolignes) sur le premier plan factoriel de l'ACoP. A droite, visualisation des paires de stations pour montrer l'effet de la présence de MC. ....</b>	<b>103</b>
<b>Figure 36 : Résultat du groupement Ward avec à gauche l'identification des stations avec des MC et à droite les types de paysages. ....</b>	<b>103</b>
<b>Figure 37 : Résultats significatifs des analyses sous contraintes (CAP) pour mesurer l'effet de la présence des compensations et du type de paysage.....</b>	<b>105</b>
<b>Figure 38 : Effet de la présence de MC sur l'activité des Alouettes des champs. ....</b>	<b>105</b>
<b>Figure 39 : Effet de la présence de MC sur l'activité des Bruants proyers (données logtransformées). ....</b>	<b>106</b>
<b>Figure 40 : Effet de la présence de MC sur l'activité des Bruants jaunes (données logtransformées). ....</b>	<b>106</b>
<b>Figure 42 : Effet de la présence de MC sur l'activité des Vanneaux huppés (données logtransformées). ....</b>	<b>106</b>
<b>Figure 43 : Courbe cumulative du nombre de groupes d'espèces en fonction du nombre de stations avec l'intervalle de confiance (IC). Pour qu'il y ait des différences significatives entre deux courbes, les IC ne doivent pas se superposer. ....</b>	<b>111</b>
<b>Figure 45 : Représentation des différences d'indices de diversité entre les stations. On a ajouté des ellipses de dispersion (70%) pour les catégories croisées des compensations et des types de paysage.....</b>	<b>114</b>

<b>Figure 46 : Exemple du processus d'analyse réalisé pour sélectionner le test le plus judicieux pour le nombre d'espèces. ....</b>	<b>115</b>
<b>Figure 47 : Résultats des tests appariés pour évaluer l'effet des compensations et du type de paysage sur le nombre d'espèces.....</b>	<b>116</b>
<b>Figure 48 : Résultats des tests appariés pour évaluer l'effet des compensations uniquement dans les deux types de paysage sur le nombre d'espèces. ....</b>	<b>116</b>
<b>Figure 50 : Résultats des tests appariés pour évaluer l'effet des compensations et du type de paysage sur le nombre de groupes .....</b>	<b>117</b>
<b>Figure 52 : Ordination en coordonnées principales des différences de composition des assemblages d'espèces. L'axe 1 montre bien la séparation entre les paysages diversifiés à gauche et les grandes cultures à droite, avec un effet très net des mesures de compensation dans les paysages diversifiés qui démontrent l'originalité des assemblages. ....</b>	<b>119</b>
<b>Figure 53 : Résultats des analyses sous contraintes (CAP) pour mesurer l'effet de la présence des compensations et du type de paysage sur les groupes de chauves-souris.</b>	<b>120</b>
<b>Figure 54 : Effet de la présence de MC sur le nombre d'espèces au sein des murins (MYO). ....</b>	<b>121</b>
<b>Figure 55 : Effet de la présence de MC sur le nombre d'espèces au sein des pipistrelles (PIP). ....</b>	<b>121</b>
<b>Figure 56 : Effet de la présence de MC sur le nombre d'espèces au sein des plecotus (PLE). ....</b>	<b>121</b>
<b>Figure 57 : Effet de la présence de MC sur le nombre d'espèces au sein des sérotules (SER). ....</b>	<b>122</b>
<b>Figure 58 : Effet de la présence de MC sur l'activité des murins (MYO).....</b>	<b>122</b>
<b>Figure 59 : Effet de la présence de MC sur l'activité des pipistrelles (PIP). ....</b>	<b>122</b>
<b>Figure 60 : Effet de la présence de MC sur l'activité des plecotus (PLE). ....</b>	<b>123</b>
<b>Figure 61 : Effet de la présence de MC sur l'activité des sérotules (SER). ....</b>	<b>123</b>

# Table des tableaux

<b>Tableau 1: Suivi, gestion, engagement et description de mesures compensatoires à l'étranger .....</b>	<b>13</b>
<b>Tableau 2: Récapitulatif des structures contactées .....</b>	<b>26</b>
<b>Tableau 3 : Types de mesures de compensation installées dans le contexte éolien et leurs caractéristiques .....</b>	<b>28</b>
<b>Tableau 4 : Types de mesures de compensation complémentaires et leurs caractéristiques, proposées dans le document « Procédures d'inventaire et mesures à prendre en faveur de la biodiversité dans le cadre des projets éoliens en Wallonie ».....</b>	<b>31</b>
<b>Tableau 5 : Caractéristiques quantitatives des mesures de compensation installées en Wallonie, par région et par type (milieux agricoles en orange, milieux aquatiques en bleu et milieux forestiers en vert). .....</b>	<b>34</b>
<b>Tableau 6 : Récapitulatif des structures contactées .....</b>	<b>37</b>
<b>Tableau 7 : Types de mesures de compensation installées en Wallonie et leurs caractéristiques (hors contexte éolien).....</b>	<b>39</b>
<b>Tableau 8 : Suivis de mesures de compensation et fréquence .....</b>	<b>44</b>
<b>Tableau 9 : Suivis de mesures de compensation et fréquence (hors contexte éolien).....</b>	<b>46</b>
<b>Tableau 10 : Valeur seuil pour chaque protocole et chaque espèce cible détectée .....</b>	<b>70</b>
<b>Tableau 11 : Synthétisation des protocoles utilisés pour l'avifaune et les chiroptères selon l'appréciation qualitative et logistique.....</b>	<b>76</b>
<b>Tableau 12 : Niveau de détectabilité des différents systèmes d'inventaires des Oiseaux. .</b>	<b>90</b>
<b>Tableau 13 : Niveau de détectabilité des différents systèmes d'inventaires des Oiseaux. Le nombre d'individus doit être compris comme un nombre de contacts avec des individus en train de chanter ou de voler. ....</b>	<b>90</b>
<b>Tableau 14 : Synthèse de l'évaluation du rôle des compensations + Paysage sur les indices de diversité. Les critères de compensation et, surtout, le type de paysage expliquent la variance des indices de diversité. C'est essentiellement le nombre d'occurrences (Nind) qui est expliqué par la présence de MC alors que les autres indices le sont par la complexité et la diversité du paysage. ....</b>	<b>97</b>
<b>Tableau 15 : Liste des espèces indicatrices pour les mesures de compensation ou les témoins, les deux types de paysage et de nouveau les mesures de compensation, mais uniquement dans les paysages diversifiés. Les couleurs identifient les espèces indicatrices significatives. Les deux teintes de vert correspondent à des niveaux différents du caractère indicateur (vert foncé = différence &gt; 10%).....</b>	<b>104</b>

<b>Tableau 16 : Résultats des tests de Wilcoxon appariés pour les différentes espèces cibles observées lors des points d'écoute sur le terrain, les points d'écoute enregistrés pendant 5 minutes et les transects. ....</b>	<b>108</b>
<b>Tableau 17 : Synthèse de l'évaluation du rôle des compensations et de la complexité des paysages sur les indices de diversité. Les deux critères jouent un rôle faible mais significatif sur les différents indices de diversité. ....</b>	<b>114</b>
<b>Tableau 18 : Liste des espèces indicatrices pour les mesures de compensation, les paysages diversifiés et les mesures de compensation, mais uniquement dans les paysages diversifiés. Les couleurs identifient les espèces indicatrices significatives. ....</b>	<b>120</b>
<b>Tableau 19 : Résultats des comptages d'entrées de galeries (O = ouvertes et F = fermées) dans les parcelles avec des MC et les parcelles témoins. Les STBis correspondent à des relevés effectués en bordure de parcelles ST déchaumées ou labourées qui sont indiquées par une *. ....</b>	<b>125</b>

# 1. Introduction

## 1.1 Contextualisation

Dans un objectif de développement durable, l'Union européenne fixe la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> de l'Union à -40% par rapport aux niveaux de 1990 à l'horizon 2030 via la directive 2018/2001. Cette dernière fixe également la production à 32% d'énergie renouvelable par les Etats membres. Pour atteindre cet objectif, la production électrique éolienne wallonne devrait atteindre 4600 GWh/an, soit 46% de la production renouvelable visée pour 2030. Si l'expansion du développement éolien vise à répondre à un monde plus durable, il n'est pas sans impacts directs ou indirects sur la biodiversité.

Bennun et al. (2021) renseignent deux grandes catégories d'impacts de l'éolien sur la biodiversité, à savoir d'une part **l'emprise au sol** (perte, dégradation et / ou fragmentation de l'habitat), d'autre part les **collisions et barotraumatismes** dues au pâles des éoliennes. Ces impacts génèrent de nombreuses d'entraves (e.g. pollution, changement de la chaîne trophique, "effet de barrière", ...) à la biodiversité de manière générale (Bennun et al., 2021; Gaultier et al., 2019; C. Voigt, 2021). Deux groupes taxonomiques sont tout spécialement impactés : l'avifaune et les chiroptères. Parmi eux, les espèces migratrices, les rapaces et les chauves-souris de haut vol sont particulièrement concernées (Gaultier et al., 2019). Les rapports concernant la mortalité estimée des chauves-souris divergent allant **de 2,9 individus** annuels à **70 individus** en deux mois par éolienne en moyenne en Europe (Rydell et al., 2012; C. C. Voigt et al., 2022).

Pour chercher à concilier énergie durable et conservation de la biodiversité, les projets s'implantant en Wallonie doivent répondre à la séquence ERC (**Eviter-Réduire-Compenser**). Cette séquence a pour objectif d'éviter les atteintes à l'environnement, de réduire celles qui n'ont pu être suffisamment évitées et, si possible, de compenser les effets notables qui n'ont pu être ni évités, ni suffisamment réduits. Dans le cadre du développement éolien, la séquence ERC se traduit par (i) des mesures d'**Evitement** d'un impact majeur non atténuable dudit projet via la suppression ou le déplacement d'une ou plusieurs éoliennes problématiques du parc ; (ii) la **Réduction** significative de l'atteinte à la biodiversité via une adaptation des conditions de travail ou des conditions d'exploitations consistant en des mesures d'atténuation, telles que l'arrêt des rotors lors de périodes sensibles pour les chauves-souris ; (iii) la mise en place de mesures **Compensatoires** des dégâts résiduels des éoliennes, telles que la recréation d'habitats d'espèces (SPW-ARNE, 2024). A l'heure actuelle, tel que spécifié par le Code de l'Environnement, toutes les études d'incidence sont censées respecter cette séquence<sup>1</sup>.

C'est dans ce contexte que s'inscrit le projet *No Net Loss (NNL, 15 septembre 2023 - 15 novembre 2024)*, financé par le Plan Relance de la Wallonie (Fiche 123, PRW-2021). Le projet NNL réalise un focus sur la compensation dans le cadre de projets éoliens. En effet, depuis quelques années, un réseau de mesures de compensation relativement développé et associé aux implantations éoliennes s'est mis en place en Wallonie. Les différents types de mesures de compensation mis en œuvre dans ce contexte sont explicités plus bas ("Mesures de

---

<sup>1</sup> art. D.67, §§2 et 3. Livre 1er du Code de l'environnement

compensation installées dans le contexte éolien”). Le projet a pour objectif de développer les outils de suivis biologiques des mesures de compensations environnementales en Wallonie, d’évaluer l’efficacité du réseau des mesures de compensations et de formuler des recommandations pour le respect des principes du *No Net Loss of Biodiversity*. Le projet se divise en deux parties, la première, théorique, fait l’état des lieux des compensations à l’étranger et en Wallonie et s’intéresse notamment aux cahiers des charges mis en place, aux suivis réalisés et au statut juridique les encadrant. La deuxième partie repose sur le travail de terrain et les analyses de données récoltées sur les mesures COA1/COA2. Ces deux parties permettent de répondre aux objectifs du projet cités précédemment.

## 1.2 Objectif et principes de la mesure de compensation

L’objectif premier d’une mesure de compensation est d’éviter une « perte nette » de biodiversité (*no net loss*) lors de l’implantation d’un projet éolien ou autre en compensant les dégâts résiduels qui n’ont pu être compensés par les principes d’évitement et de réduction. L’Actualisation de la Stratégie nationale de la Belgique pour la biodiversité (SNB; 2006-2020) explicite pour tout type de projets que « *Si, en dépit d’une évaluation négative des implications pour la biodiversité et en l’absence de solutions alternatives, un plan ou projet devait, malgré tout, être réalisé pour des raisons impérieuses ou ne considérant pas l’intérêt public, les autorités publiques devraient prendre toutes les mesures compensatoires nécessaires pour veiller à ce qu’aucune perte nette de biodiversité ne survienne lors de la mise en œuvre ou de l’exécution du plan ou projet.* ». Plus précisément, ces mesures “*permettent de compenser les pertes d’habitats, habitats d’espèces et individus par des aménagements réalisés à une certaine distance du projet*”. Elles doivent “*viser à contrebalancer les pertes de surface, de qualité d’habitats et de populations des espèces impactées.*” (Simar & Kervyn, 2011). L’Actualisation de la Stratégie nationale de la Belgique (2020) <sup>2</sup> fait état des concepts sous-jacents au principe du *no net loss*, ceux-ci se basant notamment sur *Born et al.* (2012)<sup>3</sup>.

- **Le principe d’équivalence écologique** : Les mesures et mécanismes de compensation doivent assurer la similarité avec les écosystèmes impactés, lors de leur recréation ou restauration, que ça soit au niveau de la taille, de la composition, de la structure ou du fonctionnement. L’IUCN (*Union internationale pour la conservation de la nature*) explicite également que si l’un de ces aspects ne peut être respecté, le projet ne devrait alors pas être approuvé<sup>4</sup>.
- **Le principe de continuité et pérennité des fonctions écologiques** : Les mesures compensatoires doivent être opérationnelles et localisées de manière à assurer la continuité des fonctions écologiques endommagées sur le site d’implantation du projet. Elles doivent également perdurer toute la durée des impacts. Cette durée est à déterminer au cas par cas selon la résilience des écosystèmes ainsi que du type et de la fréquence des perturbations. En cas d’impossibilité d’atteindre une efficacité directe en

---

<sup>2</sup> Point focal national belge pour la Convention sur la Diversité biologique (éd.), 2013. *Biodiversité 2020 – Actualisation de la Stratégie nationale de la Belgique*. Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, Bruxelles, 166 pp

<sup>3</sup> Born, C.-H., Dupont, V., & Poncelet, C. (2012). *La compensation écologique des dommages causés à la biodiversité : Un mal nécessaire ? Aménagement, environnement, urbanisme et droit foncier : revue d’études juridiques*, 3, 12-40.

<sup>4</sup> IUCN Policy on Biodiversity Offsets – January 29, 2016

termes de fonction écologique du site compensatoire, une surcompensation sur le plan quantitatif dans l'attente du rétablissement de la qualité des milieux restaurés peut être requise, comme le prévoit la directive 2004/35/CE. Par ailleurs, la stratégie nationale de la Belgique pour la biodiversité ajoute que les mesures devraient être localisées le plus près possible du site impacté. Pourtant, ce principe peut se montrer délétère notamment dès lors que le site compensé peut impacter négativement les espèces dans ses environs comme cela peut être le cas dans le contexte éolien. Il découle de celui-ci l'importance d'un suivi, d'une gestion et d'une protection juridique du site sur le long terme. En particulier au vu de la complexité et de l'incertitude de la restauration des écosystèmes.

- **Le principe d'additionnalité:** Le site futur de la mesure de compensation doit se voir ajouter une valeur écologique nette positive. Conformément à l'article D. 106 du Code de l'Environnement « *Cette compensation consiste à apporter des améliorations supplémentaires aux habitats naturels et aux espèces protégées ou aux eaux soit sur le site endommagé, soit sur un autre site* ». La restauration de milieu doit se baser sur les meilleures connaissances scientifiques disponibles.

Outre le principe du *no net loss*, la compensation écologique se base également sur

- Le **principe du pollueur-payeur** qui, comme son nom l'indique, impute la responsabilité financière de la mesure à l'auteur du dommage. Ce principe n'est pourtant pas toujours aussi simple à appliquer et parfois mal cadré juridiquement parlant comme explicité dans la section *Responsabilité des mesures de compensation*.
- Le **principe de hiérarchie** des mesures de réduction d'impact. Du fait de la difficulté à garantir le principe du *no net loss*, les mesures compensatoires ne devraient intervenir qu'en l'absence de solutions alternatives raisonnables, ce comprenant les mesures de réductions et d'évitements. Il impute donc à l'autorité compétente de choisir en priorité les mesures d'évitement (*avoidance*), puis d'atténuation (*minimization*) et à défaut, les mesures de compensation (*offsets*) nécessaires.
- Le **principe d'équité** : Les mesures (évitement, atténuation et compensation) ayant des impacts à la fois socio-économiques et environnementaux, les droits et responsabilités ainsi que les avantages et inconvénients doivent être équilibrés par l'autorité compétente.

Ces principes sont repris dans la déclaration de politique de l'IUCN de 2016<sup>3</sup> et dans l'actualisation de la Stratégie Nationale de la Belgique.

### 1.3 Processus administratif en Wallonie

Dans le cadre d'un projet ayant un potentiel impact écologique, le porteur de projet (promoteur éolien, carrier, etc.) sollicite un bureau d'étude afin de réaliser une étude d'incidences sur l'environnement (EIE). L'étude identifie les habitats et espèces potentiellement impactées par le projet, les enjeux et liste des propositions de mesures afin d'éviter, réduire et compenser les impacts. Le bureau d'étude propose des cahiers des charges précisant la mise en place, la gestion et éventuellement le suivi des mesures de compensation.

Après analyse de l'étude d'incidences et des avis des structures sollicitées (Département de la nature et des forêts et éventuellement d'autres directions), l'administration rend sa décision au porteur de projet concernant l'octroi ou non du permis en précisant les conditions et notamment les éventuelles mesures de compensation et/ou les éventuels suivis à réaliser, en adaptant ou non ce qui a été proposé par le bureau d'étude.

Une fois le permis octroyé, le porteur de projet peut démarrer son projet en respectant les conditions précisées dans le permis.

Indépendamment des demandes de permis, de nombreuses mesures de compensation sont exigées dans le cadre de demandes de "dérogations aux mesures de protection des espèces". Toute action pouvant porter atteinte à une ou plusieurs espèces protégées ou à leurs habitats doit faire l'objet d'une demande de dérogation auprès du Département de la Nature et des Forêts du Service public de Wallonie.<sup>5</sup> Une autorisation de dérogation peut être octroyée. Dans certains cas, elle y fait mention de mesures de compensation obligatoires.

Toutes les autorisations de dérogations sont conditionnées à la remise d'un rapport d'application qui doit être remis au plus tard un mois après expiration de la dérogation. Ce rapport doit renseigner les impacts qui ont eu lieu (surface d'habitat détruite, nombres d'individus mis à mort si applicable...). Il est en outre régulièrement demandé d'avertir le DNF du démarrage des travaux afin qu'un suivi puisse être effectué, y compris une vérification des mesures de compensation. La mise en œuvre des mesures de compensation doit être encadrée par un écologue. Un plan de gestion des aménagements est également régulièrement demandé et validé par le DNF.

## 2. Etat de l'art des mesures des compensation

### 2.1 La pratique de la compensation écologique à l'étranger

#### Les formes de la compensation

Des solutions variées sont possibles lorsqu'un promoteur souhaite réaliser un projet nécessitant une compensation écologique. Diverses modalités sont appliquées aux travers des pays et de leurs législations. Trois grandes tendances semblent cependant émerger.

La **compensation au cas par cas** tire sa dénomination de la spécificité des actions entreprises. Il s'agit de compenser tout spécifiquement les espèces / habitats protégés qui ont été détériorés. Le **principe d'équivalence écologique** est alors assuré. C'est au porteur de projet à compenser son impact par diverses mesures, il peut cependant déléguer cette tâche à un tiers spécialisé en la matière (e.g bureau d'études) (Bas & Dieckhoff, 2021). En raison de la spécificité des projets, les compensations sont définies et dimensionnées en fonction de chaque situation.

---

<sup>5</sup> [Loi du 12 juillet 1973 sur la conservation de la nature \(articles 2 à 5 bis\)](#)

La **compensation mutualisée** fait intervenir un tiers qui propose de vendre des “points de compensation”. Cet acteur peut être aussi bien public que privé, il obtient des points en réalisant diverses mesures de restauration. Lorsqu’un projet impacte l’environnement de manière significative, le porteur de projet crée une dette en “points de compensation” qu’il peut créditer en achetant des points ou en les générant lui-même (Bas & Dieckhoff, 2021). La méthode permet d’éviter un état intermédiaire où le site sur lequel le projet a lieu est dégradé et le milieu restauré n’est pas encore opérationnel, car les milieux compensés sont déjà existants. Par ailleurs, elle permet de restaurer des zones de plus grande taille et diverses. La dénomination mutualisée fait référence au fait qu’un site restauré peut être le résultat de la compensation de plusieurs projets fort bien différents (Andreadakis, Bigard, et al., 2021). L’équivalence écologique et la proximité entre destruction et restauration n’est alors pas toujours strictement respectée en fonction des diverses législations.

Les **fonds de compensation** sont des fonds détenus par le pouvoir public et alimentés par plusieurs porteurs de projets. Les fonds collectés sont gérés en faveur d’actions de conservation de la biodiversité (Andreadakis, Bigard, et al., 2021). Tout comme pour la compensation mutualisée, l’équivalence écologique et la proximité avec le site détruit n’est alors plus assurée.

### Les systèmes de compensation à l’étranger

La France a conceptualisé très tôt le principe des mesures de compensation avec sa loi sur la conservation de la nature de 1976 qui introduit la séquence ERC dans la législation. Elle a depuis grandement étudié le sujet et documenté les pistes envisageables pour compenser l’impact d’un projet sur l’environnement à l’aide de cette séquence. A ce titre, elle a publié un guide complet sur l’évitement (Andreadakis, Berthault, et al., 2021). Ce dernier permet de définir l’évitement, de donner des pistes, des exemples, des outils pour le réaliser. La publication de ce guide permet surtout de souligner la hiérarchie ERC et de rappeler que l’évitement en est la base et la solution la plus efficace pour réduire l’impact d’un projet.

D’une manière plus générale, le “Guide d’aide à la définition des mesures ERC” publié par le Ministère de la transition écologique et solidaire Français en Janvier 2018, définit clairement les éléments de la séquence et leur priorité (ALLIGAND et al., 2018; SDPPD, 2021). La figure 1 implique qu’il faut d’abord définir l’impact résiduel du projet qui découle des deux premières étapes de la séquence avant d’aborder la compensation.

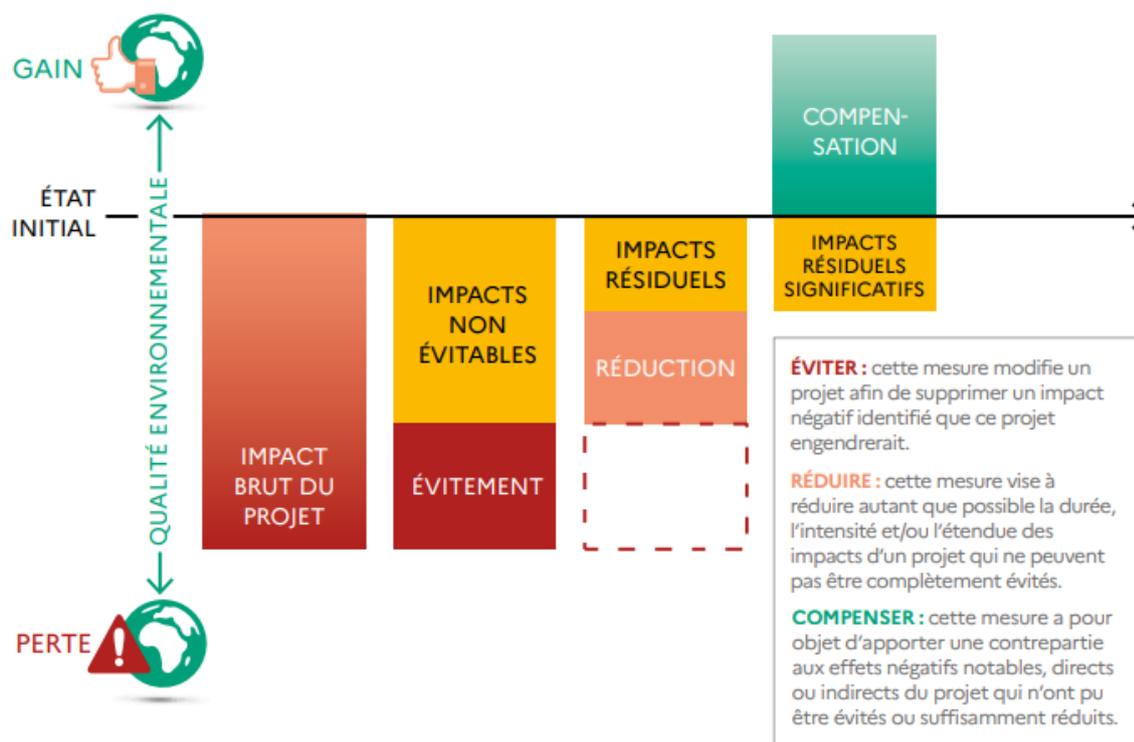


Figure 1: Bilan écologique de la séquence ERC (SDPPD, 2021)

Concernant la compensation en particulier, une mesure peut être définie comme telle à condition de : prendre effet sur un site par la propriété ou par le contrat, réaliser des mesures techniques afin d'améliorer ou de recréer des milieux naturels ou encore d'induire des changements dans les pratiques de gestion, et finalement déployer des mesures de gestion durant une durée pertinente (SDPPD, 2021).

Le système de compensation le plus courant est la compensation **au cas par cas** (Bas & Dieckhoff, 2021) aussi appelée compensation par la demande (Andreadakis, Berthault, et al., 2021). La mise en place de mesures compensatoires découle des procédures liées à la destruction d'espèces et d'habitats protégés, des impacts sur les sites Natura 2000 et aux écosystèmes aquatiques (Bas & Dieckhoff, 2021). En 2021, Bas et Dieckhoff expliquaient qu'il n'y avait pas encore de cadre reprenant des modalités claires qui permettent d'homogénéiser le dimensionnement des mesures compensatoires (Bas & Dieckhoff, 2021). Depuis, un guide de mise en œuvre d'une « approche standardisée du dimensionnement de la compensation écologique » a été publié par le Ministère de la Transition Écologique et devrait permettre une réduction de la variabilité dans la mise en place des mesures (Andreadakis, Berthault, et al., 2021). Il aborde les questions préalables au dimensionnement, le dimensionnement en tant que tel ainsi que le suivi des mesures visant à s'assurer de l'atteinte de l'équivalence écologique. Cela fait suite à un état de l'art des méthodes de dimensionnement utilisées pour calibrer la compensation en France (Truchon et al., 2020). Ce document a permis de détailler chaque calibration et d'en analyser la pertinence. Auparavant, la logique surfacique était souvent utilisée

comme méthode de dimensionnement (un hectare endommagé, un hectare compensé) mais cette approche était vivement critiquée. La parution du guide a permis d'adopter une calibration des mesures compensatoires dont le but est d'atteindre l'équivalence écologique et non plus une simple équivalence surfacique (Truchon et al., 2020).

La compensation doit répondre à quatre principes. Il s'agit d'assurer le suivi et les résultats des mesures, de les maintenir pendant toute la durée des impacts, d'assurer le respect du principe d'équivalence écologique (les compensations doivent viser les mêmes habitats / espèces / fonctions que celles altérées) ainsi qu'une proximité spatiale entre la compensation et la dégradation (GOUZERH, 2023). Elles doivent également être effectives avant le début de toute destruction.

En France, le principe de **compensation mutualisée** ou aussi appelée compensation par l'offre (Andreadakis, Berthault, et al., 2021), est en place depuis la loi Biodiversité de 2016 et est peu répandu. Dans la loi n° 2023-973 du 23 octobre 2023 relative à l'industrie verte, l'article 15 a remplacé la notion de sites naturels de compensation (**SNC**), introduite par la première loi de 2016, par les sites naturels de compensation, de restauration et de renaturation (**SNCRR**). Ces sites permettent maintenant également l'achat de crédits carbone. Chaque site se compose d'unités de compensations (**UC**). Une UC est définie comme une surface favorable à une espèce ou une fonction écologique. Un exemple est exposé dans le "Guide pour l'élaboration d'un site naturel de compensation" commandité par le Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires : *"la restauration d'un hectare de prairie humide favorable à la nidification de la barge à queue noire constitue une UC qui peut être vendue pour compenser la destruction d'un habitat de nidification de cette espèce ou une zone humide ou une prairie humide de même composition botanique mais cela ne constitue pas trois UC."*(Andreadakis, Berthault, et al., 2021). Les SNCRR doivent se situer dans une zone justifiée et à une distance raisonnable du site perturbé afin de pouvoir être utilisé pour compenser un projet par la vente de leurs UC. Pour une espèce, la zone peut par exemple être justifiée par son aire de répartition, par un continuum biologique d'une population, ou par un bassin versant. La compensation mutualisée en France respecte strictement le principe d'équivalence écologique.

Concernant l'**Allemagne**, étant donné qu'il s'agit d'un état fédéral, les mesures de compensations peuvent grandement varier entre les *Länder*. Les trois modes de compensation y sont utilisés de manière complémentaire. Bas et Dieckhoff prennent pour exemple le Land<sup>6</sup> Baden-Württemberg où la pratique de la compensation est bien développée (Bas & Dieckhoff, 2021). La description qui suit repose donc sur la législation de ce Land.

La **compensation au cas par cas** est la méthode la plus représentée. Ce modèle est imposé, pour les espèces et habitats protégés au niveau européen ainsi que pour certaines espèces spécifiques couvertes par la réglementation allemande en matière de protection des espèces. Il s'agit de la seule méthode de compensation valide pour la biodiversité protégée. La compensation est réalisée selon les mesures "**CEF**" (Continuous Ecological Functionality). Ces mesures ont plusieurs caractéristiques contraignantes : l'espèce dérangée doit coloniser le nouvel habitat avant le début des travaux, il doit y avoir une équivalence fonctionnelle stricte

---

<sup>6</sup> État fédéré allemand disposant d'une certaine autonomie politique et législative

(restauration à l'identique de ce qui a été détruit et connexion spatiale entre le site dégradé et compensé)(Bas et al., 2021). Il n'existe pas de méthode standardisée pour déterminer la taille des compensations pour ces espèces et habitats, et les ratios sont établis selon l'avis d'experts. Certains Länder, comme Baden-Württemberg, autorisent, lorsque la compensation excède le préjudice, la conversion de la différence en “éco-points” qui peuvent par la suite être utilisés lors de compensation mutualisée.

La **compensation mutualisée** est organisée à travers un éco-compte (**Ökokonto**), où sont enregistrés des crédits d'éco-points correspondant à la valeur des biotopes restaurés à l'avance. Lorsqu'un projet a un impact sur l'environnement, il crée une dette d'éco-points que le porteur de projet doit compenser en achetant dans un Ökokonto ou en utilisant des éco-points qu'il a lui-même générés. Un propriétaire foncier peut améliorer un site en effectuant des actions bénéfiques pour la biodiversité, comme la création ou l'amélioration de biotopes. Les gains écologiques obtenus sont traduits en éco-points et ajoutés à un Ökokonto. Ces points peuvent alors être utilisés pour compenser la dette du porteur de projet (Bas et al., 2021). Cette compensation s'inscrit dans la stratégie globale de non-perte nette de la biodiversité non protégée (*Eingriffsregelung*) et ne peut pas être appliquée aux éléments de biodiversité protégés(Bas et al., 2021). Tout comme le cas de la France, les éco-points ne sont utilisables que lorsqu'il existe une certaine proximité entre le projet et les sites de compensation. Pour le land du Baden-Württemberg, onze zones de transaction des éco-points ont été définies. L'impact doit ainsi être compensé dans la même zone de transaction ou dans une zone voisine(Bas et al., 2021). La compensation mutualisée, dans le Land de Baden-Württemberg, ne considère pas uniquement les espèces et les habitats mais également les sols et l'eau. L'évaluation des éco-points sur un site est d'ailleurs réalisée différemment en fonction de ces trois domaines (Bas & Dieckhoff, 2021). Il est à noter que, sans justification spécifique, une dette dans l'une des trois catégories doit être compensée par des éco-points provenant d'une même catégorie (Bas et al., 2021).

Cette évaluation est donc basée sur des caractéristiques biologiques et écologiques, le nombre d'éco-points obtenu pour un projet n'est pas directement lié au montant investi par le promoteur. Les éco-points sont évalués grâce à une grille de cotation prédéfinie (“Ordonnance sur les éco-comptes (ÖKVO) pour le land de Baden-Württemberg)<sup>7</sup>. Le règlement ÖKVO spécifie les mesures pouvant rapporter des éco-points, il décrit également comment évaluer les composantes (sol, biotope / espèces, eau) en termes de points. La seule exception au calcul des éco-points est lorsqu'un projet va engendrer des effets positifs sur une zone géographique indéterminable et donc impossible à évaluer (e.g. projet favorable à la lutte contre le changement climatique). Le coût du projet peut alors directement être transformé en éco-points à raison de quatre éco-points par euro (DIECKHOFF & IMBERT, 2022). Ces mesures sont nommées “mesures ponctuelles”, elles sont cependant vivement critiquées. La méthode a été jugée comme une manière simple et peu pertinente de générer des éco-points. Les éco-points prennent de la valeur avec le temps. Un taux d'intérêt annuel de 3% pour une durée maximale de 10 ans est actuellement en place dans le Land (ÖKVO, §5). Le succès d'une compensation n'est donc plus estimé, comme au cas

---

<sup>7</sup> Législation consultable en ligne à l'adresse suivante : <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/natur-und-landschaft/oekokonto-verordnung>

par cas, par une équivalence écologique et fonctionnelle mais par une équivalence en éco-points (Bas et al., 2021).

La compensation mutualisée pose question quant à son efficacité. Les critiques portent sur la substituabilité des biens compensés et des biens restaurés qui est beaucoup plus large qu'en France. Le système permet par exemple la substitution d'un milieu ouvert par un milieu fermé tel qu'une forêt. Les zones de transaction des éco points peuvent être très larges (zone de la vallée du Rhin, 200 km de long), de fait les habitants souffrant d'une destruction d'un milieu pourraient ne jamais jouir des bénéfices de la restauration (DIECKHOFF & IMBERT, 2022).

La compensation par **fonds de compensation** est elle appliquée pour les dommages ne pouvant pas être comblés "en nature". Elle concerne en particulier les projets qui portent atteinte au paysage, comme les projets éoliens. Alors le porteur de projet se doit de verser une compensation financière à un compte public qui réalisera des actions favorables à la biodiversité au sens large (restauration, sensibilisation, ...). Dans le cas du Baden-Württemberg il s'agit de la «Fondation pour la protection de la nature du Baden-Württemberg» qui est sous la présidence du ministre de l'environnement du Land (Bas et al., 2021).

Le **Luxembourg**, à travers sa loi sur la conservation de la nature de 2018, distingue deux processus de compensation<sup>8</sup>. D'une part, lorsqu'un biotope protégé est détruit, il doit être restauré ou recréé ailleurs, les mesures sont dites "de compensation". D'autre part, si des habitats essentiels (zones de reproduction, d'hivernage ou des couloirs de vol) pour des espèces animales ou végétales protégées sont endommagés, des mesures dites "d'atténuation", connues sous le nom de mesures "**CEF**" (Continuité Écologique Fonctionnelle), comme en Allemagne, doivent être mise en place.

Concernant le premier type de compensation, le maître d'ouvrage du projet ne porte pas la responsabilité de leur réalisation, il délègue cette tâche à l'État. Il est cependant tenu de fournir lors de sa demande auprès du ministère de l'environnement, un bilan écologique qui estime l'ampleur du préjudice sur le milieu naturel. Ce bilan est quantifié en "éco points", un éco-point équivaut à un euro<sup>8</sup>. L'Etat a d'ailleurs produit un guide complet qui décrit les modalités de calcul du préjudice en écopoints (MECB, 2019). Ce guide décrit le calcul de l'état initial et final des parcelles ainsi que du bilan qui devra être réalisé. Il donne une valeur en écopoints aux biotopes habitats et aux occupations du sol et explique comment tenir compte dans le calcul des espèces patrimoniales. Si le projet est accepté, il doit alors payer une taxe auprès de l'Etat, la taxe étant équivalente au bilan dressé. L'Etat réalise ensuite des compensations via des "pools compensatoires". Il existe deux catégories de pools nommées dans la loi : un pool compensatoire national, sous la gestion de l'Administration de la nature et des forêts (ANF), et des pools compensatoires régionaux, sous la gestion des communes. Ces pools rassemblent des terrains dédiés à la réalisation de futurs projets écologiques à des fins de compensation et sont de propriété publique. Ce système permet d'optimiser la compensation sur de grandes zones et d'assurer une cohérence écologique du réseau. Cette compensation pourrait à la fois être qualifiée de "**Fond de compensation**" et de "**compensation mutualisée**". Cependant, ce

---

<sup>8</sup> Portail de l'environnement officiel du Luxembourg, disponible en ligne à l'adresse suivante : [La compensation écologique - Natur - Portail de l'environnement - emwelt.lu - Luxembourg \(public.lu\)](https://www.natur.lu/fr/la-compensation-ecologique-natur-portail-de-l-environnement-emwelt.lu-luxembourg-public.lu)

système n'implique pas toujours que la compensation soit créée en amont, comme pour les cas de la France et de l'Allemagne, dans ce cadre, les biotopes peuvent être recréés après destruction<sup>9</sup>.

Le second type de compensation est lui de la responsabilité du porteur de projet<sup>9</sup>. Les mesures CEF, comme leur nom l'indique, permettent d'assurer la prospérité d'une variété d'espèces d'intérêt à proximité du site. La liste d'espèces nécessitant des mesures CEF est définie par l'article 3 de la loi sur la conservation de la nature de 2018 . Les CEF ont pour but d'assurer que le projet n'ait pas un impact significatif sur ces espèces. Ainsi aucune dérogation ne sera nécessaire. Le gouvernement a produit un guide d'application "Leitfaden CEF-Maßnahmen" (MECB, 2021), qui précise les modalités d'application de l'article 17 de la loi de 2018 sur la protection de la nature. Le document liste les espèces concernées par ces mesures et décrit sur base de la littérature les exigences écologiques pour chacune d'elles ainsi que les mesures de compensation les plus pertinentes. Il propose donc des CEF adaptées et renseigne les suivis possibles, les certitudes quant au succès des mesures de compensation et le temps nécessaire pour qu'elles soient effectives. Le porteur de projet peut proposer d'autres mesures de compensation, mais elles doivent être justifiées et approuvées par le ministère de l'environnement<sup>9</sup>. La dégradation de l'habitat et le début des travaux ne peut avoir lieu qu'une fois que les mesures CEF sont fonctionnelles. Elles sont jugées fonctionnelles selon différents suivis et différentes exigences en fonction de l'espèce et de la mesure. Durant le suivi il sera déterminé si elles sont suffisantes en termes de quantité et de qualité, et au besoin, modifiées. L'idée globale est d'assurer que les populations utilisent et s'acclimatent au nouvel habitat avant la destruction de l'ancien.

## Transparence de l'information concernant les projets éoliens et les mesures compensatoires à l'étranger

Afin d'augmenter au plus la transparence concernant les projets de grande envergure et pouvant avoir un fort impact pour les citoyens, le **Luxembourg**, la **France** et l'**Allemagne** ont développé divers outils.

La **France** a mis en place une cartographie de ses mesures de compensation à l'échelle nationale. Les géodonnées sont disponibles en ligne et accessibles à tous (GéoMCE)<sup>10</sup>. Il n'est cependant pas possible de lier une mesure de compensation à un projet en particulier.

---

<sup>9</sup> Portail de l'environnement officiel du Luxembourg

<sup>10</sup> Lien vers la plateforme GéoMCE : <https://erc.drealnpdc.fr/ressources-thematiques/toutes-thematiques/geomce-localisation-des-mesures-compensatoires-environnementales/>

Ces pays proposent chacun un site internet qui centralise tous les projets soumis à une EIE (Etude d'Impact Environnementale)<sup>11,12,13</sup>, ainsi qu'une cartographie associée dans les cas de l'Allemagne et de la France. Ceci permet une transparence totale entre le porteur de projet, le citoyen et l'administration. Divers documents sont disponibles, en plus d'une description détaillée de l'étude d'impact, une description poussée des projets y est également présente.

## Espèces ciblées et mesures compensatoires dans le cadre éolien à l'international

Les mesures compensatoires qui résultent des impacts éoliens visent en général le « renforcement de corridors écologiques, la création de zones favorables pour les espèces, la participation aux programmes de conservation, la réduction des mortalités causées par d'autres activités » (Perret, 2017). A noter que la création de milieux favorables n'est pas toujours aisée. En effet, une mesure pourra être propice à certaines espèces mais désavantageuse pour d'autres, comme c'est le cas avec l'ouverture du milieu qui peut être bénéfique à certains rapaces mais va défavoriser des espèces plus forestières (Gaultier et al., 2019).

Concernant les **chauves-souris**, en raison du manque d'études sur la mortalité des chiroptères sur le long terme, il est difficile voire impossible de proposer des mesures de compensation efficaces (Heitz & Jung, 2016) et c'est pourquoi les mesures d'**évitement** et de **réduction** doivent être privilégiées. C'est en particulier important pour les espèces migratrices dont les populations sources peuvent se trouver à une distance conséquente et être difficiles à identifier (C. C. Voigt et al., 2015). Malgré ces mesures, il subsiste bien souvent un effet résiduel négatif qui doit être compensé par des mesures de compensation pour atteindre le No Net Loss (Heitz & Jung, 2016).

Une étude de 2016 suggère que les meilleures solutions de compensation à adopter pour répondre à la mortalité accidentelle des oiseaux et des chiroptères sont les mesures de remplacement de l'habitat hors site (Arnett & May, 2016). Pour les chiroptères, diverses actions sont suggérées comme la gestion des forêts et la diversification des milieux agricoles monocultureux, la conservation et la création de gîtes ainsi que la mise en place de mares (Peste et al., 2015). Des solutions proposées pour les oiseaux sont de fournir des sites de repos et des perchoirs ou encore des sites de nourrissage (Arnett & May, 2016).

Afin de prendre connaissance des mesures compensatoires appliquées dans le cadre des projets éoliens et des espèces ciblées dans plusieurs pays, diverses sources ont été consultées. L'idée de contacter des bureaux d'étude a vite été abandonnée devant le faible taux de réponse auquel nous nous sommes confrontés. Il a donc été décidé de directement consulter leurs

---

<sup>11</sup> Plateforme recensant les projets soumis à EIE pour le Luxembourg : [https://environnement.public.lu/fr/emweltprozeduren/evaluation-incidences-eie/projets\\_eie.html](https://environnement.public.lu/fr/emweltprozeduren/evaluation-incidences-eie/projets_eie.html)

<sup>12</sup> Plateforme recensant les projets soumis à EIE pour la France : [https://www.projets-environnement.gouv.fr/explore/dataset/projets-environnement-diffusion/table/?disjunctive.dc\\_subject\\_category&disjunctive.dc\\_subject\\_theme&disjunctive.vp\\_status&disjunctive.dc\\_type&refine.dc\\_subject\\_category=Parcs+%C3%A9oliens+soumis+%C3%A0+autorisation+mentionn%C3%A9s+par+la+rubrique+ICPE+2980](https://www.projets-environnement.gouv.fr/explore/dataset/projets-environnement-diffusion/table/?disjunctive.dc_subject_category&disjunctive.dc_subject_theme&disjunctive.vp_status&disjunctive.dc_type&refine.dc_subject_category=Parcs+%C3%A9oliens+soumis+%C3%A0+autorisation+mentionn%C3%A9s+par+la+rubrique+ICPE+2980)

<sup>13</sup> Plateforme recensant les projets soumis à EIE pour l'Allemagne : <https://www.uvp-verbund.de/porta/?jsessionid=F2C8E0487958588FE69E432C431105A4>

recommandations en analysant un échantillon aléatoire d'études d'impacts disponibles en ligne pour la France et l'Allemagne. Pour le Luxembourg, on se base sur le "Leitfaden CEF-Maßnahmen", le guide d'application des mesures CEF du gouvernement Luxembourgeois. Les mesures présentées pour ces trois pays sont donc concrètes et fonctionnelles, dans le sens où elles ont été approuvées par les gouvernements des pays considérés comme pertinentes.

Le tableau présenté n'a absolument pas pour but d'être exhaustif, ni représentatif des mesures de compensation de chaque pays. Ces dernières sont bien trop nombreuses et spécifiques à chaque projet que pour être normalisées. Son but est plutôt d'exposer la diversité des mesures de compensation et des espèces concernées. Les valeurs qui y sont mentionnées ont pour but de donner un ordre de grandeur quant aux mesures de compensations. Vu la diversité des projets et des mesures, les dimensions n'ont été données que lorsqu'elles paraissaient pertinentes (ratio / mesures relatives / ...). Plusieurs projets ont été rassemblés pour une même mesure, mais les études desquelles elles proviennent peuvent être consultées aisément grâce aux notes de bas de page.

Tableau 1: Suivi, gestion, engagement et description de mesures compensatoires à l'étranger

Pays	Taxon ciblé	Type de mesure	Objectif de la mesure	Description des différents moyens mis en place pour satisfaire les objectifs des mesures	Suivi, gestion et engagement de la mesure
France	<p><i>Avifaune</i> : Oiseaux nicheurs des milieux bocagers<sup>14</sup></p> <p><i>Chiroptères</i> : Toutes les espèces</p>	<p>Création d'habitats de report</p> <p>Amélioration du milieu</p>	Créer un habitat de qualité à distance du parc pour le rendre moins attractif	<p>-Plantation de haies en deux lignes en quinconce</p> <p>-Plantation de haies multistrates, d'essences locales avec un arbre haut jet à intervalle régulier</p> <p>-Plantation des haies à distance du parc (variant de 200 mètres<sup>15</sup>, 500 mètres<sup>16</sup>, à plus de 600 mètres<sup>17</sup> mètres du parc)</p> <p>-Intégration des haies dans un réseaux logique avec le reste du paysage</p> <p>-Plantation valant le double de la quantité de haies détruites<sup>18</sup> / le triple<sup>19</sup></p>	<p>-Vérification de la reprise des plants la première année<sup>20</sup></p> <p>-Signature d'un contrat entre l'exploitant agricole détenteur du foncier et le porteur de projet impliquant l'entretien et le maintien durant toute la durée du projet de la mesure</p> <p>-Suivi sur les 5 premières années et replantation si nécessaire<sup>21, 22</sup></p> <p>-Taille tous les trois à cinq ans<sup>23</sup></p>
	<i>Biodiversité</i> en général	Restauration d'éléments de	Restaurer l'habitat détruit à	-Replantation de haies, de meilleure qualité (essences locales et strates multiples), là où elles ont été arrachées <sup>24</sup>	-Suivi tous les ans sur les 5 premières années et replantation au besoin <sup>25</sup>

<sup>14</sup> <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2022/11/28/D000000289/fichierEtudeImpact.pdf>

<sup>15</sup> <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2024/05/29/D001339546/fichierEtudeImpact.pdf>

<sup>16</sup> <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2022/11/28/D000000289/fichierEtudeImpact.pdf>

<sup>17</sup> <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2024/01/19/D001307995/fichierEtudeImpact.pdf>

<sup>18</sup> <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2022/11/28/D000000289/fichierEtudeImpact.pdf>

<sup>19</sup> <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2024/05/14/D000357855/fichierEtudeImpact.pdf>

<sup>20</sup> <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2022/11/28/D000000289/fichierEtudeImpact.pdf>

<sup>21</sup> <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2024/05/29/D001339546/fichierEtudeImpact.pdf>

<sup>22</sup> <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2024/05/14/D000357855/fichierEtudeImpact.pdf>

<sup>23</sup> <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2024/05/29/D001339546/fichierEtudeImpact.pdf>

<sup>24</sup> <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2024/05/29/D001339546/fichierEtudeImpact.pdf>

<sup>25</sup> <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2024/05/29/D001339546/fichierEtudeImpact.pdf>

Pays	Taxon ciblé	Type de mesure	Objectif de la mesure	Description des différents moyens mis en place pour satisfaire les objectifs des mesures	Suivi, gestion et engagement de la mesure
		biodiversité détruits	l'endroit de la destruction		- Taille de la haie tous les trois à cinq ans <sup>26</sup>  -Contrat avec l'agriculteur qui s'engage à respecter le cahier des charges fourni <sup>27</sup>
	<p><i>Avifaune</i> : Avifaune inféodée aux feuillus (e.g. Pouillot siffleur, Pigeon colombin, Bouvreuil pivoine)</p> <p><i>Chiroptères</i> : Chiroptères forestiers (e.g. Murin de Bechstein, Barbastelle d'Europe, noctules)</p>	Compensation du défrichement	Compenser les effets délétères du défrichement sur les espèces d'intérêt patrimoniales et plus globalement sur la faune	<p>-Amélioration forestière (laisser les arbres exploités sur le sol forestier pour procurer du bois mort)<sup>29</sup></p> <p>-Boisement feuillu d'une nouvelle zone avec des essences indigènes<sup>30</sup></p> <p>-Versement d'une indemnité au service public pour répondre à la perte forestière qui n'a pu être compensée par le reboisement<sup>31</sup></p>	/

<sup>26</sup> <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2024/05/29/D001339546/fichierEtudeImpact.pdf>

<sup>27</sup> <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2024/05/29/D001339546/fichierEtudeImpact.pdf>

<sup>29</sup> <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2024/05/14/D000357855/fichierEtudeImpact.pdf>

<sup>30</sup> <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2024/05/14/D000357855/fichierEtudeImpact.pdf>

<sup>31</sup> <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2024/05/14/D000357855/fichierEtudeImpact.pdf>

Pays	Taxon ciblé	Type de mesure	Objectif de la mesure	Description des différents moyens mis en place pour satisfaire les objectifs des mesures	Suivi, gestion et engagement de la mesure
	<i>Mammifères</i> : (Écureuils et Chat forestier) <sup>28</sup>				
	<p><i>Avifaune</i> : Rapaces et oiseaux des plaines<sup>32</sup> / Œdicnème criard, Busard Saint-Martin, rapaces<sup>33</sup> / Alouette Lulu, busards, bruants<sup>34</sup></p> <p><i>Chiroptères</i> : Toutes les espèces</p>	<p>Création d'habitats de report</p> <p>Mesures agro-environnementales</p>	<p>Créer un habitat de qualité à distance du parc pour le rendre moins attractif</p> <p>Favoriser la nidification des espèces cibles<sup>7</sup></p> <p>Offrir un terrain de chasse aux</p>	<p>-Mise en jachère d'une parcelle équivalent à deux fois la surface détruite par le projet (plateformes / chemins)<sup>35</sup></p> <p>-Conversion de parcelles agricoles en prairies à haut potentiel biologique<sup>36</sup></p> <p>-Gestion d'une parcelle en faveur de la biodiversité à 3 km de tous projets éoliens<sup>37</sup></p> <p>-Maintien d'une bande de 1 m à fauche tardive de part et d'autre des haies présentes dans la parcelle compensatoire<sup>38</sup></p>	<p>-Signature d'un contrat entre le porteur de projet et l'agriculteur, où ce dernier s'engage à appliquer les mesures durant toute la durée d'exploitation du projet (contrat de 20 ans)<sup>39, 8</sup></p> <p>-Suivi ornithologique pour les Œdicnèmes criards et les busards durant les 5 premières années du projet<sup>40</sup></p> <p>-Suivi de l'avifaune de manière générale une fois par an les trois premières années puis une fois tous les dix ans<sup>41</sup></p> <p>-Création d'un cahier des charges à appliquer aux parcelles compensatoires (interdiction des produits phytosanitaires / fauche tardives / mélange prédéfini /</p>

28 <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2023/09/25/D000000219/fichierEtudeImpact.pdf>

32 <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2022/11/28/D000000289/fichierEtudeImpact.pdf>

33 <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2023/11/28/D000357891/fichierEtudeImpact.pdf>

34 <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2022/09/26/D000000434/fichierEtudeImpact.pdf>

35 <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2022/11/28/D000000289/fichierEtudeImpact.pdf>

36 <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2023/11/28/D000357891/fichierEtudeImpact.pdf>

37 <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2022/09/26/D000000434/fichierEtudeImpact.pdf>

38 <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2024/01/19/D001307995/fichierEtudeImpact.pdf>

39 <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2022/11/28/D000000289/fichierEtudeImpact.pdf>

40 <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2023/11/28/D000357891/fichierEtudeImpact.pdf>

41 <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2022/09/26/D000000434/fichierEtudeImpact.pdf>

Pays	Taxon ciblé	Type de mesure	Objectif de la mesure	Description des différents moyens mis en place pour satisfaire les objectifs des mesures	Suivi, gestion et engagement de la mesure
			rapaces et aux chiroptères <sup>7</sup>		interdiction des interventions entre le 15 Mai et 15 Aout) <sup>42, 43</sup>
	<p><u>Avifaune</u> : Passereaux des milieux semi-ouverts (e.g. Bruant jaune / Pie-grièche écorcheur / Tarier pâtre/ Linotte mélodieuse) / rapaces (e.g. Buse variable / Faucon crécerelle)</p> <p><u>Mammifères</u> : Chat forestier</p> <p><u>Chiroptères</u><sup>44</sup> : Toutes les espèces</p>	Mesures agro-environnementales	<p>Proposer des zones de chasse et d'affût propice pour les rapaces</p> <p>Accueillir les aires de nidification</p> <p>Créer des zones refuges pour la faune</p>	<p>-Créer des prairies permanentes à 1 km du parc</p> <p>-Plantation éparsée d'arbres haut jet en milieu agricole</p> <p>-Plantation d'îlots boisés en milieu agricole</p> <p>-Définition des essences à planter et de leur position dans un cahier des charges</p>	-Contrat contraignant entre l'agriculteur et le porteur de projet sur toute la durée d'exploitation du parc

<sup>42</sup> <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2023/11/28/D000357891/fichierEtudeImpact.pdf>

<sup>43</sup> <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2022/09/26/D000000434/fichierEtudeImpact.pdf>

<sup>44</sup> <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2023/10/17/D000000400/fichierEtudeImpact.pdf>

Pays	Taxon ciblé	Type de mesure	Objectif de la mesure	Description des différents moyens mis en place pour satisfaire les objectifs des mesures	Suivi, gestion et engagement de la mesure
	<i>Reptiles / Entomofaune / Micromammifères</i> <sup>45</sup>	Amélioration du milieu	Créer des abris pour la petite faune	-Utilisation du bois généré par les haies arrachées / arbres coupés, lors du chantier, pour créer des tas de bois au soleil <sup>46, 47</sup>	/
	<p><i>Avifaune</i> : Avifaune en générale</p> <p>Chiroptères: <i>Chiroptères</i> en générale (e.g. Noctule commune)</p> <p><i>Amphibiens</i> : Salamandre tachetée, Triton palmé</p>	Amélioration du milieu	Gestion et amélioration d'une parcelle de compensation boisée par la création d'une mosaïque de milieux	<p>-Mise en sénescence de certains arbres sur la parcelle compensatoire, engagement sur le long terme pour assurer la création progressive de micro-habitats</p> <p>-Eclaircie du sous-bois pour favoriser la faune des lisières et des milieux semi-ouverts (mosaïque milieu ouvert / fermé dans la parcelle forestière)</p> <p>-Proscription de la chasse</p> <p>-Préservation des cours d'eau et libre évolution</p> <p>-Arrachage des espèces envahissantes</p>	<p>-Suivi faunistique et débroussaillage des milieux semi-ouverts tous les 5 ans sur la parcelle de compensation</p> <p>-Signature d'une ORE (Obligation Réelle Environnementale). Cet acte lie les pratiques de gestion durant les 99 prochaines années aux parcelles et non pas au propriétaire</p>

<sup>45</sup> <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2024/05/14/D000357855/fichierEtudeImpact.pdf>

<sup>46</sup> <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2024/05/14/D000357855/fichierEtudeImpact.pdf>

<sup>47</sup> <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2024/05/29/D001339546/fichierEtudeImpact.pdf>

Pays	Taxon ciblé	Type de mesure	Objectif de la mesure	Description des différents moyens mis en place pour satisfaire les objectifs des mesures	Suivi, gestion et engagement de la mesure
	<i>Reptiles</i> : Orvet fragile <sup>48</sup>				
	<i>Avifaune</i> : Busards <sup>49</sup> (e.g. Busard cendré, Busard des roseaux, Busard Saint-Martin) <sup>50</sup>	Protection directe d'espèces	Repérage des nids sur la parcelle exploitée et protection	-Identification des nids sur le site éolien et protection (îlots non exploités autour des nids) -Négociation avec l'agriculteur -Collaboration et travail avec les naturalistes locaux afin de partager la localisation des nids et d'assurer leur protection	-Suivi réalisé chaque année jusqu'à la fin de l'exploitation <sup>51</sup> / durant les trois premières années de l'exploitation <sup>52</sup> -Transmission de l'information aux associations naturalistes qui se chargent de la protection stricte des nids
	<i>Biodiversité</i> en général <sup>53</sup>  <i>Avifaune</i> : Busards <sup>54</sup>	Sensibilisation	Informers les agriculteurs et locaux aux bonnes pratiques en faveur de la biodiversité  Permettre la bonne mise en	-Réalisation de réunions -Ecoute et compréhension des inquiétudes des agriculteurs et des locaux -Répondre à des questions pratiques concernant les mesures de compensations <sup>55</sup>	-Réunion réalisée par le porteur de projet <sup>56</sup> ou par un bureau d'étude <sup>57</sup>

48 <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2024/05/29/D001339546/fichierEtudeImpact.pdf>

49 <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2022/11/28/D000000289/fichierEtudeImpact.pdf>

50 <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2024/01/19/D001307995/fichierEtudeImpact.pdf>

51 <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2024/01/19/D001307995/fichierEtudeImpact.pdf>

52 <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2022/11/28/D000000289/fichierEtudeImpact.pdf>

53 <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2022/11/28/D000000289/fichierEtudeImpact.pdf>

54 <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2023/11/28/D000357891/fichierEtudeImpact.pdf>

55 <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2023/11/28/D000357891/fichierEtudeImpact.pdf>

56 <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2022/11/28/D000000289/fichierEtudeImpact.pdf>

57 <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2023/11/28/D000357891/fichierEtudeImpact.pdf>

Pays	Taxon ciblé	Type de mesure	Objectif de la mesure	Description des différents moyens mis en place pour satisfaire les objectifs des mesures	Suivi, gestion et engagement de la mesure
			place des mesures de compensation et faciliter la collaboration entre les acteurs		
	<p><i>Chiroptères</i><sup>58</sup> : (Pipistrelle de Nathusius, Noctule commune, Noctule de Leisler Pipistrelle de kuhl, Pipistrelle pygmée et Sérotine commune, Barbstelle d'Europe)<sup>59</sup></p> <p><i>Avifaune:</i> Rapaces<sup>60</sup>, (Faucon crécerelle /</p>	Ajouts de structures bénéfiques à la faune	<p>Augmenter les gîtes disponibles pour les chiroptères</p> <p>Améliorer les performances de chasse des rapaces</p>	<p>-Pose de perchoirs</p> <p>-Pose de nichoirs pour les chiroptères (&gt;500 m du parc<sup>62</sup>)</p>	-Mise à disposition de l'administration locale des localisations des nichoirs

58 <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2022/11/28/D000000289/fichierEtudeImpact.pdf>

59 <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2022/09/26/D000000434/fichierEtudeImpact.pdf>

60 <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2024/01/19/D001307995/fichierEtudeImpact.pdf>

62 <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2022/11/28/D000000289/fichierEtudeImpact.pdf>

Pays	Taxon ciblé	Type de mesure	Objectif de la mesure	Description des différents moyens mis en place pour satisfaire les objectifs des mesures	Suivi, gestion et engagement de la mesure
	Chevêche d'Athéna) <sup>61</sup>				
	<i>Avifaune</i> et <i>Chiroptères</i> en général <sup>63</sup>	Don	Augmenter la survie des populations en finançant des centres de soins pour la faune	Don de valeur fixe à un centre de sauvegarde de la faune	/
<b>Luxembourg</b>	<i>Chiroptères</i> : Murin de Bechstein <sup>64</sup>	Ajout de structures bénéfiques à la faune  Amélioration du milieu	Proposer des habitats favorables aux Murins en prenant en considération toutes les exigences écologiques de l'espèce (site de repos / chasse / reproduction)	<p>-Pose de nichoirs pour compenser les gîtes perdus ou perturbés. Les nichoirs sont optimisés grâce à la littérature disponible pour l'espèce (densité à l'hectare / forme des caisses / hauteur / matériau de construction)</p> <p>-Création d'îlots de sénescence en forêt et bois mort laissé sur pied (idéalement supérieur à 3-5 ha)</p> <p>-Protection intégrale d'arbres désignés (utilisation d'arbres déjà endommagés par la foudre, le vent,...). Idéalement 8-10 arbres / ha</p> <p>-Amélioration horizontale et verticale des forêts (éclaircie du sous-bois / extraction des essences non-indigènes / création de plan d'eau / mosaïque de stades de développement (zones de forêts en fin et début de cycle) / broussailles en bordure de forêt sur 5-10m)</p> <p>-Développement d'un linéaire faisant le lien entre site de repos et site de chasse (plantations de haies / hautes tiges éparses / bande enherbées à fauche tardive / ...)</p>	<p>-Les arbres avec des nichoirs ne seront pas exploités</p> <p>-Nettoyage chaque année des nichoirs</p> <p>-Entretien du linéaire (fauche tardive / taille de la haie / ...)</p> <p>-Contrôle ponctuel par un membre de l'administration pour confirmer que les nichoirs sont conformes et posés. Suivi biologique pour s'assurer que les populations sont établies de manière stable dans l'habitat de compensation</p> <p>-Contrôle ponctuel par un membre de l'administration pour assurer que les mesures concernant le linéaire sont respectées. Une observation de l'espèce dans ces linéaires est également requise pour les valider</p> <p>-Contrôle de l'habitat (forêts), un expert assure que la compensation est quantitativement et qualitativement suffisante pour l'espèce en fonction des dégâts qui lui</p>

<sup>61</sup> <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2024/01/19/D001307995/fichierEtudeImpact.pdf>

<sup>63</sup> <https://sicodei.projets-environnement.gouv.fr/2024/05/29/D001339546/fichierEtudeImpact.pdf>

<sup>64</sup> [https://environnement.public.lu/content/dam/environnement/documents/natur/plan\\_action\\_especes/Leitfaden-CEF-Massnahmen-Dezember-2021.pdf](https://environnement.public.lu/content/dam/environnement/documents/natur/plan_action_especes/Leitfaden-CEF-Massnahmen-Dezember-2021.pdf)

Pays	Taxon ciblé	Type de mesure	Objectif de la mesure	Description des différents moyens mis en place pour satisfaire les objectifs des mesures	Suivi, gestion et engagement de la mesure
				-Les mesures doivent être situées à moins d'1,5 km du lieu des perturbations pour assurer la migration des individus mais également éloignée de toute autre perturbation anthropique	sont causés. Suivi biologique des populations dans l'habitat de compensation afin d'assurer leur stabilité
	Alouette lulu <sup>65</sup>	Création d'habitats	Proposer un habitat proche du site perturbé afin d'assurer une migration et de meilleure qualité pour l'espèce	<p>-Le milieu créé doit être proche du lieu des perturbations (&lt;4km)</p> <p>-Aménagement d'habitats semi-ouverts</p> <p>-Adaptation des pratiques en fonction des terrains disponibles et proches du site perturbé :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cas des anciennes zones minières à ciel ouvert : Créer des prairies maigres par fauchage et export ou pâturage extensif / mosaïque de milieux avec mise à nu et zones à végétation plus haute</li> <li>• Cas de vignobles : Créer des vignobles extensifs par la culture d'un rang sur deux seulement (un rang sur deux peut être maintenu à nu par un fin labour, l'autre est fauché tous les 5 ans pour éviter que la végétation ne devienne trop dense)</li> </ul>	<p>-Contrôle de l'habitat, un expert assure que la compensation est quantitativement et qualitativement suffisante pour l'espèce en fonction des dégâts qui lui sont causés.</p> <p>-Suivi biologique des populations dans l'habitat de compensation afin de vérifier leur stabilité</p>
Allemagne	<i>Avifaune</i> : Mésange des sapins / Mésange huppée / Mésange des marais / Mésange bleue / Sittelle torchepot / Gobemouche gris <sup>66</sup>	Ajouts de structures bénéfique à la faune  Amélioration du milieu	Compenser la perte de gîtes et d'habitats à la suite d'un défrichement pour un projet éolien	<p>-Une parcelle est choisie à deux kilomètres du parc. Les arbres qui possèdent une structure propice aux oiseaux et aux chauve-souris (nombreux micro-habitats) sont protégés de toute exploitation</p> <p>-Des nichoirs de tailles et de formes différentes sont posés dans la même parcelle. Ces arbres sont aussi protégés. Les nichoirs visent plusieurs espèces différentes aussi bien pour l'avifaune que pour les chiroptères. Les micro-habitats qui ont été détruits par la coupe des arbres sur le site ont été comptés et il a été posé le quintuple de nichoirs.</p>	-Les nichoirs sont nettoyés tous les deux ans pour une période de dix années

<sup>65</sup> [https://environnement.public.lu/content/dam/environnement/documents/natur/plan\\_action\\_especes/Leitfaden-CEF-Massnahmen-Dezember-2021.pdf](https://environnement.public.lu/content/dam/environnement/documents/natur/plan_action_especes/Leitfaden-CEF-Massnahmen-Dezember-2021.pdf)

<sup>66</sup> [https://www.uvp-verbund.de/documents-ige-ng/igc\\_bw/7bb4e490-f708-49b1-9a8e-5fb2db15a997/gesamt\\_locked.pdf](https://www.uvp-verbund.de/documents-ige-ng/igc_bw/7bb4e490-f708-49b1-9a8e-5fb2db15a997/gesamt_locked.pdf)

Pays	Taxon ciblé	Type de mesure	Objectif de la mesure	Description des différents moyens mis en place pour satisfaire les objectifs des mesures	Suivi, gestion et engagement de la mesure
	<i>Chiroptères</i> : Murin de Beschtein / Oreillard Brun				
	<i>Mammifère</i> : Muscardin <sup>67</sup>	Restauration du milieu  Ajout de structures bénéfiques à la faune	Assurer la pérennité du muscardin sur la parcelle exploitée	-Des niochirs sont posés afin de proposer des refuges au muscardin lorsqu'il sortira de son hibernation, cela permet de compenser la perte de refuges suite au défrichement  -Création de lisières étagées en bordure de forêt (utilisation d'essences arbustives indigènes et arborées à fort intérêt pour la faune)	Entretien de la lisière après 15 années
	<i>Amphibiens</i> : Sonneur à ventre jaune <sup>68</sup>	Amélioration du milieu	Augmenter les habitats disponibles pour le Sonneur à ventre jaune et augmenter son succès reproducteur	-Création de mares dans une parcelle proche où le Sonneur a été repéré  -Création d'une petite prairie sauvage avec des plans d'eau. Les plans d'eau sont recréés chaque année d'une manière aléatoire en faisant passer un engin lourd dans la prairie. La méthode développée permet de profiter au Sonneur tout en ne favorisant pas ses prédateurs	Suivi annuel du Sonneur à ventre jaune et entretien de la prairie chaque année pendant les six premières années de l'exploitation

<sup>67</sup> [https://www.uvp-verbund.de/documents-ige-ng/igc\\_bw/7bb4e490-f708-49b1-9a8e-5fb2db15a997/gesamt\\_locked.pdf](https://www.uvp-verbund.de/documents-ige-ng/igc_bw/7bb4e490-f708-49b1-9a8e-5fb2db15a997/gesamt_locked.pdf)

<sup>68</sup> [https://www.uvp-verbund.de/documents-ige-ng/igc\\_bw/7bb4e490-f708-49b1-9a8e-5fb2db15a997/gesamt\\_locked.pdf](https://www.uvp-verbund.de/documents-ige-ng/igc_bw/7bb4e490-f708-49b1-9a8e-5fb2db15a997/gesamt_locked.pdf)

Pays	Taxon ciblé	Type de mesure	Objectif de la mesure	Description des différents moyens mis en place pour satisfaire les objectifs des mesures	Suivi, gestion et engagement de la mesure
	<p><i>Avifaune :</i></p> <p>Bécasse des bois<sup>69</sup></p>	Amélioration du milieu	Proposer un habitat de qualité à la Bécasse	<p>-Ouverture des points d'eau qu'elle fréquente par coupe des résineux qui les entourent</p> <p>-Fermeture des drains sur la parcelle compensatoire par bouchons d'argiles de 3-4 m afin d'augmenter la rétention de l'eau en forêt et profiter à la Bécasse</p>	<p>-Suivi et au besoin, destruction des espèces végétales invasives (passage deux fois par an pendant trois ans)</p> <p>-Maintien du milieu ouvert par coupe tout les trois ans</p>

<sup>69</sup> [https://www.uvp-verbund.de/documents-ige-ng/igc\\_bw/7bb4e490-f708-49b1-9a8e-5fb2db15a997/gesamt\\_locked.pdf](https://www.uvp-verbund.de/documents-ige-ng/igc_bw/7bb4e490-f708-49b1-9a8e-5fb2db15a997/gesamt_locked.pdf)

## Le suivi des mesures compensatoires à l'étranger

Le suivi des mesures de compensation est essentiel car il permet d'assurer que les objectifs escomptés ont été atteints. Le contrôle par l'autorité publique est crucial. Effectivement une étude en Bavière (Ecker & Pröbstl-Haider, 2016), dans le cadre Allemand, a démontré que 44% des mesures, pourtant écrites dans des plans d'aménagement, n'avaient pas été mises en œuvre et que seulement 24% étaient jugées satisfaisantes d'un point de vue écologique.

La France stipule que les mesures de compensation sont soumises à une obligation de résultats au travers de l'article L.163-1, §9, du Code de l'environnement. Les contrôles sont réalisés par les services de l'Etat ou l'OFB. Le pays a publié un guide visant à aider les porteurs de projets à proposer des mesures de suivi pertinentes (LEGENDRE & GUERIN, 2019). L'article R122-5 du code de l'environnement précise en effet que c'est à l'exploitant d'apporter les modalités de suivi des mesures ERC qu'il propose dans son étude d'impact. C'est alors l'autorité compétente qui décide d'approuver, de modifier ou de refuser le suivi proposé. S'il est approuvé, l'exploitant sera responsable d'assurer son bon déroulement et de transmettre à l'Etat des bilans réguliers des mesures.

Cependant, dans le cas de l'éolien, les mesures compensatoires ne sont pas évaluées en tant que telles mais plus globalement au sein de la séquence ERC. L'article L554-1 du code de l'environnement régit les suivis environnementaux éoliens. L'article 12 de l'arrêté ministériel du 26 août 2011 stipule qu'"*Au moins une fois au cours des trois premières années de fonctionnement de l'installation puis une fois tous les dix ans, l'exploitant met en place un suivi environnemental permettant notamment d'estimer la mortalité de l'avifaune et des chiroptères due à la présence des aérogénérateurs*". L'exploitant bien que libre de définir tout suivi doit donc au minimum respecter les exigences précédentes en termes de récurrence.

Depuis 2018 le ministère a établi un protocole de suivi de l'avifaune et des chiroptères afin de normaliser les résultats. En pratique, l'article 12 est mis en place par un suivi de la mortalité des deux groupes et un suivi des chiroptères à hauteur de la nacelle sur le site exploité. Le succès des mesures ERC, et donc de compensation, est donc estimé par comparaison avec les données récoltées sur l'état initial du site. Les mesures ERC sont alors modifiées si les résultats ne sont pas concluants (GOUZERH, 2023). Cela permet une gestion adaptative des risques et impacts durant la phase d'exploitation du projet. Les mesures de compensations en tant que telles ne sont donc pas obligatoirement suivies. A ce titre, la compensation mutualisée semble être un outil mieux contrôlé car les SNCRR sont évalués et certifiés par l'Etat avant que leurs UC puissent être vendues (Andreadakis, Berthault, et al., 2021). Par conséquent, l'incertitude sur l'efficacité des mesures de compensation est levée.

Pour le Luxembourg, dans le cas des mesures mises en œuvre par l'Etat dans les pools compensatoires, les articles 6 et 7 du Règlement grand-ducal du 1er août 2018, stipulent qu'il doit y avoir un entretien sur au moins les 25 premières années. Le suivi est assuré par une personne agréée (autre que l'Etat), lors de la réalisation du projet et ensuite, une fois tous les cinq ans. Le gestionnaire du pool compensatoire transmet alors un rapport pour chaque suivi au Ministère, et au besoin, adapte sa gestion.

La législation est plus contraignante pour les mesures CEF (MECB, 2021). Tout d'abord, en raison de l'article 27 de la loi sur la protection de la nature et des ressources naturelles, toute mesure CEF doit être approuvée par le ministère avant de pouvoir être mise en œuvre. Les mesures sont uniquement acceptées lorsqu'il est scientifiquement validé qu'elles sont efficaces et pertinentes pour l'espèce, avec un effet à court terme. Leur efficacité doit ensuite être prouvée avant que les travaux puissent commencer. Les méthodes d'évaluation varient en fonction du statut de protection de l'espèce et de l'incertitude des mesures mises en place.

Quatre modalités pouvant être cumulatives sont utilisées :

- Un contrôle à la conception (vérifie que la MC suit bien le cahier des charges) (e.g. Mesures compensatoires dont on est certain des effets)
- Un contrôle de l'habitat (vérifier que l'habitat est fonctionnel / de qualité pour l'espèce cible, mais également présent en quantité suffisante pour assurer la pérennité à long terme de l'espèce)
- Un contrôle de l'espèce (l'espèce doit avoir été observée au moins une fois sur la placette compensatoire)
- Un contrôle des populations (le contrôle assure que la population de l'espèce est stable et ne se détériore pas)

Un dernier point crucial à aborder dans le suivi des mesures compensatoires est le lien entretenu avec le détenteur du foncier, bien souvent, un agriculteur. Il serait logique que les durées des contrats se basent sur le plein effet des mesures. Par exemple, une méta analyse révèle que la biodiversité dans une forêt libre de gestion devient supérieure à celle d'une forêt gérée seulement lorsque l'abandon est supérieur à 20 ans (Paillet et al., 2010). Elle précise également que l'effet est différent en fonction des taxons, un effet significatif n'est trouvé pour les champignons et les coléoptères saproxyliques qu'entre 50 et 160 ans d'abandon.

En pratique, dans la plupart des législations, les exploitants sont tenus de maintenir les mesures de compensation aussi longtemps que le projet porte préjudice. Dans le cadre éolien ces contrats sont bien souvent de 20 à 30 années. Plusieurs types de contrats sont envisageables pour lier l'exploitant et le détenteur du foncier. A titre d'exemple il est mentionné les ORE (Obligation réelle environnementale) qui sont des contrats liant les mesures au site et non au propriétaire et pouvant aller jusqu'à 99 années. Ainsi, les obligations doivent être respectées même si un changement de propriétaire à lieu (Andreadakis, Berthault, et al., 2021).

## 2.2 Le cas de la Wallonie : Inventaire des mesures de compensation

En Wallonie, les mesures de compensation écologique sont majoritairement mises en place dans le cadre de projets éoliens. Cela s'explique notamment par l'absence d'un cadre législatif clair qui définirait les cas précis nécessitant la mise en place d'une mesure de compensation. Nous aborderons ce point dans la partie « Statut juridique ». En Wallonie, aucun fond de

compensation n'est existant et la compensation se pratique au cas par cas. Elle vise à protéger les espèces ou habitats potentiellement détériorés.

## Mesures de compensation installées dans le contexte éolien

Le document "Procédures d'inventaire et mesures à prendre en faveur de la biodiversité dans le cadre des projets éoliens en Wallonie 2024.02" réalisé par la SPW-ARNE fixe un cadre pour identifier les éventuelles mesures d'évitement, d'atténuation, de compensation et les recommandations à prévoir dans le cadre d'un projet éolien (Évaluation de l'importance de l'enjeu du projet, cas de figure nécessitant des mesures de compensation, types de mesures de compensation, etc.) (SPW-ARNE, 2024).

Afin d'inventorier les types de mesures de compensation installées dans le cadre éolien, 9 promoteurs éoliens, 7 bureaux d'étude et 2 départements du SPW ont été sollicités. La liste des structures contactées est présentée dans le tableau suivant :

**Tableau 2: Récapitulatif des structures contactées**

Promoteurs éoliens	Bureaux d'étude	Départements SPW
Renner Energies	CSD ingénieurs	Département de la Nature et des Forêts, SPW
Elawan Energy	Faune & Biotopes	Département de l'étude du milieu naturel et agricole, SPW
Eneco	Biotopes environnement	
EDP Renewables	Sertius	
Aspiravi	Serge Potvin	
Engie	Embridge	
Luminus	Arcadis	
Eoly Energy		
Ventis		

### Les types de mesures de compensation

Sur base des informations reçues, les différents types de mesure de compensation ont été identifiés et sont listés dans le tableau ci-après. Pour plus de clarté, il a été choisi de ne présenter que les mesures de compensation installées et non celles contractualisées (non encore installées).

Ce rapport ne prend pas en compte les compensations planologiques qui ne sont pas d'ordre environnemental. Les compensations planologiques sont mises en place dans le cadre de

révisions du plan de secteur<sup>70</sup>. Elles garantissent l'équilibre historique<sup>71</sup> entre les zones non destinées à l'urbanisation et les zones destinées à l'urbanisation. Dans le respect du principe de proportionnalité, l'inscription de toute nouvelle zone destinée à l'urbanisation et susceptible d'avoir des incidences non négligeables sur l'environnement en lieu et place d'une zone non destinée à l'urbanisation, est compensée, pour au moins 85% de sa superficie, par la modification d'une zone existante destinée à l'urbanisation ou d'une zone d'aménagement communal concerté en zone non destinée à l'urbanisation.

Outre les mesures de compensation imposées via les permis, certains promoteurs réalisent à leur initiative, d'autres aménagements similaires aux mesures de compensation, généralement appelées mesures d'accompagnement.

---

<sup>70</sup> Art. D.II.45, Code du développement territorial (CoDT)

<sup>71</sup> Cet équilibre n'en a que le nom dans la mesure où les plans de secteur datent des années 80 et où les enjeux d'environnement et de biodiversité étaient très largement ignorés.

**Tableau 3 : Types de mesures de compensation installées dans le contexte éolien et leurs caractéristiques**

Type de mesure de compensation	Description du type de la mesure <sup>72</sup>	Espèces ciblées	Surface en Wallonie <sup>73</sup>	Pourcentage (surf)
COA1 en association avec COA2	<p><i>Cahier des charges établi par le SPW et Faune et Biotopes :</i></p> <p>Couvert nourricier maintenu durant l’hiver, associé d’un couvert enherbé permanent</p>	Busard Saint-Martin, Busard des roseaux, Busard cendré, Hibou des marais, Perdrix grise, Bruant proyer, Bruant jaune, Bergeronnette printanière, Alouette des champs, Caille des blés	347,8 ha	57,4%
Couvert enherbé <sup>74</sup>	<p>Couvert enherbé permanent comprenant les sous-catégories suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bande herbeuse</li> <li>- Tournière enherbée</li> <li>- Couvert enherbé permanent</li> <li>- Nichoir à busards</li> <li>- Pâturage extensif</li> <li>- Prés fleuris</li> <li>- Prairie humide de fauche</li> <li>- Prairie extensive</li> </ul>	Perdrix grise, Pie-grièche écorcheur, Busard Saint-Martin, Busard des roseaux, Busard cendré, Hibou des marais, Bruant proyer, Bruant jaune, Bergeronnette printanière, Alouette des champs, Caille des blés	96,0 ha	15,8%

<sup>72</sup> La description du type de mesure et les espèces cibles sont issues du document « Procédures d’inventaire et mesures à prendre en faveur de la biodiversité dans le cadre des projets éoliens en Wallonie 2024.02 » (SPW-ARNE, 2024) et des retours des structures sollicitées.

<sup>73</sup> Données issues de la cartographie “Mesures de compensation CMDD 2190, novembre 2023”

<sup>74</sup> Rem : Les mesures milan étant des mesures d’atténuation malgré qu’elles soient dans certains cas assimilées à des mesures de compensation n’ont pas été considérées dans le rapport.

Type de mesure de compensation	Description du type de la mesure <sup>72</sup>	Espèces ciblées	Surface en Wallonie <sup>73</sup>	Pourcentage (surf)
Aménagements forestiers	Aménagement en milieu forestier comprenant les sous-catégories suivantes : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Désenrésinement</li> <li>- Mise à blanc</li> <li>- Aménagement de lisières</li> <li>- Îlot de vieillissement</li> <li>- Autres aménagements forestiers (parcelles laissées en libre évolution, ...)</li> </ul>	Chiroptères, Cigogne noire, Pic noir	68,20 ha	11,3%
	Variante : Mesure Cigogne noire  Ex: association création de mares et désenrésinement de fonds de vallées	Cigogne noire		
Haies ou alignements d'arbres	Plantation de haies ou d'arbres avec ou sans banquette herbeuse	Haies : Chiroptères, Perdrix grise, milans, Bruant jaune, fauvettes  Alignements d'arbres : Chiroptères	25,9 ha	4,3%
Zones humides	Création d'une zone humide au sein d'une plaine agricole	Limicoles	18,8 ha	3,3%
Mesure goélands	Plateforme flottante sur plan d'eau pour favoriser la nidification  Bacs placés sur des toitures, support de nidification	Goéland cendré et sternes	20,0 ha (surface de la toiture, plan d'eau)	3,3%

Type de mesure de compensation	Description du type de la mesure <sup>72</sup>	Espèces ciblées	Surface en Wallonie <sup>73</sup>	Pourcentage (surf)
Friche	Couvert enherbé permanent comprenant les sous-catégories suivantes : - Jachère faune - Friches	Espèces inféodées aux couverts enherbés fauchés tardivement	10,2 ha	1,7%
Réserve naturelle	Parcelles achetées par les porteurs de projet, rétrocédées à des associations de conservation de la nature	Biodiversité en général	8,5 ha	1,4%
Verger	Plantation de vergers haute-tige d'essences indigènes	Chiroptères	6,5 ha	1,1%
Mare	Création ou restauration de mares	Chiroptères, Cigogne noire, Crapaud calamite, Tritons spp.	2,2 ha	0,3%
Mesure vanneaux	Travail sur la structure du sol de terres arables et/ou du niveau de drainage des prairies permanentes.	Vanneau huppé	1,8 ha	0,3%

Pour un seul type de mesures de compensation, COA1 en association avec COA2, un cahier des charges établi par le Service Public de Wallonie en collaboration avec Faune & Biotopes détaille l'aménagement et sa gestion attendus. Pour les autres types de mesures, l'aménagement et sa gestion sont proposés à l'initiative du bureau d'étude en fonction des espèces ou habitats ciblés.

Actuellement, toutes les mesures de compensation installées sont destinées à compenser des impacts potentiels sur des espèces. Aucune mesure connue n'a été installée pour compenser une perte d'habitat. Néanmoins, plusieurs autres types de mesures proposant la compensation d'impacts sur des habitats ainsi que sur des espèces ont déjà été proposées par des bureaux d'étude, voire même contractualisées mais non encore installées.

Plusieurs autres types de mesures sont proposés dans le document « Procédures d'inventaire et mesures à prendre en faveur de la biodiversité dans le cadre des projets éoliens en Wallonie 2024.02 »(SPW-ARNE, 2024). Ceux-ci ne sont, à notre connaissance, pas encore installés. Ils sont détaillés au tableau 4 « Types de mesures de compensation complémentaires ».

**Tableau 4 : Types de mesures de compensation complémentaires et leurs caractéristiques, proposées dans le document « Procédures d'inventaire et mesures à prendre en faveur de la biodiversité dans le cadre des projets éoliens en Wallonie »**

Type de mesure de compensation	Description du type de la mesure <sup>75</sup>	Espèces ciblées
Mesure perdrix	Restructuration du paysage : Association de couverts nourriciers, enherbés, de terres sarclées et de haies, aménagements linéaires de bords de chemins et parcelles	Perdrix grise
Mesure caille de blé	Bandes fleuries constituées d'espèces prairiales indigènes, fauchées une fois par an, en dehors de la période de reproduction	Caille des blés

D'autres espèces que celles listées dans les tableaux 3 et 4 peuvent faire l'objet de mesures de compensation spécifiques : Cygne sauvage et de Bewick, Grande aigrette, anatidés, laridés. Le type de mesure et le cahier des charges sont alors proposés à l'initiative du bureau d'étude. A notre connaissance, actuellement, aucune mesure spécifique en faveur de ces espèces n'a été mise en place.

<sup>75</sup> La description du type de mesure et les espèces cibles sont issues du document « Procédures d'inventaire et mesures à prendre en faveur de la biodiversité dans le cadre des projets éoliens en Wallonie 2024.02 » et des rapportages des structures sollicitées (SPW-ARNE, 2024).

## Répartition géographique des mesures de compensation

Sur base de la cartographie réalisée par le SPW-ARNE “Mesures de compensation CMDD 2190, novembre 2023”<sup>76</sup>, la Wallonie compte 605,9 ha de surface de mesures de compensation pour un total de 448 parcelles.

Considérant qu’il y a un total de 596 éoliennes construites en Wallonie<sup>77</sup>, le ratio de la surface de mesures de compensation par éolienne à l’échelle de la Wallonie est de 1,0 ha. En considérant uniquement les éoliennes qui sont concernées par des mesures de compensation, le ratio correspond alors à 1,7 ha de mesures de compensation/éolienne<sup>78</sup>.

Il est pertinent de comparer ce ratio avec les surfaces de compensation recommandées dans le document « *Procédures d’inventaire et mesures à prendre en faveur de la biodiversité dans le cadre des projets éoliens en Wallonie 2024.02* »(SPW-ARNE, 2024). Ce document propose les surfaces de compensation suivantes, en fonction des niveaux de sensibilité environnementale :

- Enjeux de niveaux 1 et 2 : aucune surface de compensation recommandée
- Niveau 3 : 1 hectare par éolienne
- Niveau 4 : 1 à 2 hectares par éolienne
- Niveau 5 : site à haute sensibilité, pouvant mener à un avis défavorable

On observe que le ratio de « surface de mesures de compensation par éolienne » est élevé en Wallonie. À ce stade, nous ne disposons pas de suffisamment d’éléments pour en identifier précisément les causes. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées, bien qu’elles restent pour l’instant spéculatives :

- Par le passé, on recommandait généralement entre 3 et 4 hectares de compensation par éolienne, ce qui pourrait influencer encore le ratio actuel.
- Les projets éoliens de taille moyenne seraient souvent situés sur des sites avec au moins un enjeu environnemental majeur.
- Certains projets se situeraient sur des sites de sensibilité très élevée, entraînant des besoins de compensation importants par éolienne, augmentant ainsi le ratio pour l’ensemble de la Wallonie.
- Par précaution, des surfaces de compensation plus grandes que celles recommandées seraient parfois installées.

Les mesures de compensation sont majoritairement représentées en région limoneuse par rapport aux autres régions. En effet, la région limoneuse compte plus de 57% des surfaces de mesures de compensation. Cette densité est à mettre en lien avec la présence d’un plus grand nombre d’éoliennes dans cette région.

En fonction des régions, le type de mesures de compensation diffère, répondant notamment :

- Aux enjeux liés aux espèces et habitats présents,

---

<sup>76</sup> Cartographie obtenue suite à une demande auprès des autorités compétentes (DEMna CMDD)

<sup>77</sup> Rapportage DEMNA (Octobre 2023)

<sup>78</sup> En considérant 366 éoliennes concernées par des mesures de compensation. Source: Rapportage DEMNA (Octobre 2023)

- Aux recommandations spécifiques de l'administration.

Le type de mesure de compensation le plus installé est l'association COA1/COA2 avec un total de 347,8 ha toutes régions confondues.

La région comptant la plus grande surface de mesures de compensation toutes confondues est la région limoneuse avec 66,2%.

Les parcelles de mesures de compensation ayant une affectation agricole (COA1/2, couverts enherbés, vergers, etc.) sont très présentes en région limoneuse, tandis qu'en Ardenne, les aménagements forestiers sont majoritaires.

Les régions limoneuse et condrusienne présentent une grande diversité de mesures, avec jusqu'à 9 types différents par région. La Lorraine quant à elle ne dispose que de 3 types de mesures de compensation différentes.

La carte et le tableau ci-après détaillent la répartition des parcelles de mesures de compensation installées en fonction de leurs types et régions.

**Tableau 5 : Caractéristiques quantitatives des mesures de compensation installées en Wallonie, par région et par type (milieux agricoles en orange, milieux aquatiques en bleu et milieux forestiers en vert).**

Mesure de compensation par région	Somme de Surface (ha)	Pourcentage Surf	Nombre de parcelles	Pourcentage Nb
<b>Région limoneuse</b>	<b>401,4</b>	<b>66,2%</b>	<b>261</b>	<b>58,3%</b>
COA1/COA2	311,1	51,3%	179	40,0%
COUVERTS ENHERBÉS	24,1	4,0%	29	6,5%
MESURES GOELAND	20,0	3,3%	3	0,7%
ZONES HUMIDES	16,4	2,7%	7	1,6%
HAIES OU ALIGNEMENTS ARBRES	13,8	2,3%	30	6,7%
FRICHE	8,7	1,4%	6	1,3%
VERGER	3,4	0,6%	2	0,4%
MARES	2,1	0,3%	4	0,9%
MESURES VANNEAUX	1,8	0,3%	1	0,2%
<b>Ardenne</b>	<b>100,3</b>	<b>16,6%</b>	<b>76</b>	<b>17,0%</b>
AMÉNAGEMENTS FORESTIERS	64,5	10,6%	32	7,1%
COUVERTS ENHERBÉS	21,2	3,5%	10	2,2%
RÉSERVE	8,5	1,4%	4	0,9%
HAIES OU ALIGNEMENTS ARBRES	6,1	1,0%	30	6,7%
<b>Condroz et sillon Sambre-Mosan</b>	<b>53,7</b>	<b>8,9%</b>	<b>53</b>	<b>11,8%</b>
COA1/COA2	27,3	4,5%	12	2,7%
COUVERTS ENHERBÉS	21,1	3,5%	14	3,1%
HAIES OU ALIGNEMENTS ARBRES	1,7	0,3%	14	3,1%
AMÉNAGEMENTS FORESTIERS	1,3	0,2%	1	0,2%
FRICHE	1,1	0,2%	1	0,2%
VERGER	0,9	0,1%	1	0,2%
ZONES HUMIDES	0,2	0,0%	1	0,2%
MARES	0,1	0,0%	9	2,0%
<b>Fagne-Famenne-Calestienne</b>	<b>26,1</b>	<b>4,3%</b>	<b>23</b>	<b>5,1%</b>

COUVERTS ENHERBÉS	11,5	1,9%	7	1,6%
COA1/COA2	9,4	1,6%	7	1,6%
AMÉNAGEMENTS FORESTIERS	2,4	0,4%	2	0,4%
ZONES HUMIDES	2,2	0,4%	1	0,2%
FRICHE	0,4	0,1%	1	0,2%
HAIES OU ALIGNEMENTS ARBRES	0,2	0,0%	5	1,1%
<b>Lorraine</b>	<b>24,4</b>	<b>4,0%</b>	<b>35</b>	<b>7,8%</b>
COUVERTS ENHERBÉS	18,1	3,0%	10	2,2%
HAIES OU ALIGNEMENTS ARBRES	4,1	0,7%	23	5,1%
VERGER	2,2	0,4%	2	0,4%
<b>Total général</b>	<b>605,9</b>	<b>100,0%</b>	<b>448</b>	<b>100,0%</b>

## Localisation des mesures de compensation - Région wallonne

Source données: SPW novembre 2023

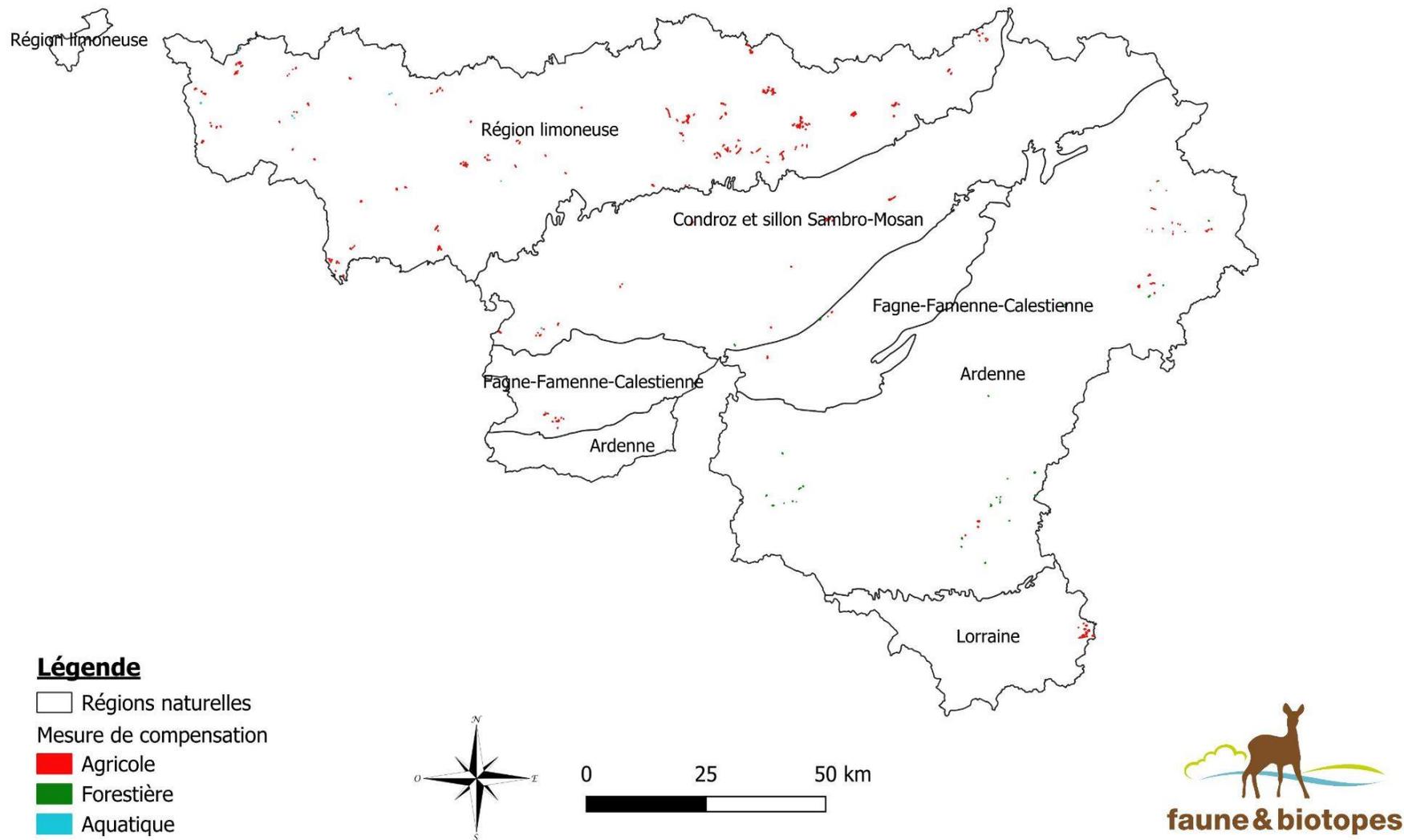


Figure 2 : Mesures de compensation présentes en Wallonie

## Mesures de compensation installées hors contexte éolien

Même si elles sont moins fréquemment prévues dans des projets hors contexte éolien, plusieurs mesures ont été installées dans le cadre d'autres types de projets (création de carrières, construction d'infrastructures, création de zones économiques, etc.). Afin d'établir la liste du type de mesures de compensation et les suivis qui les concernent, deux fédérations, 21 bureaux d'études membres de la Fédération des bureaux d'étude, ainsi que les autres structures listées ci-dessous ont été contactées :

**Tableau 6 : Récapitulatif des structures contactées**

Fédérations	Bureaux d'étude	Autres structures	Départements SPW
Fédération de l'industrie extractive (FEDIEX)	Agora	RAVeL et Véloroutes en Wallonie	Département de la Nature et des Forêts, SPW
Fédération des bureaux d'étude (FEDEIE)	ABV	ELIA	Département de l'étude du milieu naturel et agricole, SPW
	Arcadis		
	Arcea acenis		
	CSD		
	SGS		
	Biotopes environnement		
	Apitree		
	Antea group		
	Aqua conseil		
	Aquale		
	Aries consultants		
	Artesia		
	DR(EA)2M		
	ECOBEL		
	Irco (Embridge)		
	Pissart AE		
	Sertius		
	Stratec		
	Tauw		
	Serge Potvin		

Hors contexte éolien, aucun document de référence ne fixe la démarche à suivre pour définir la nécessité, le type et l'importance des mesures de compensation à mettre en place dans le cadre d'un projet. Des propositions à la carte en fonction des enjeux sont adressées par les bureaux d'étude ou porteurs de projet à l'administration ou dans certains cas, l'administration fait le choix du type mesures de compensation.

Le tableau ci-après reprend les différentes mesures de compensation connues. Il n'a pas pour but d'être exhaustif, ni représentatif des mesures de compensation hors contexte éolien. Ces dernières sont spécifiques à chaque projet/impact. L'objectif est plutôt d'exposer la diversité des mesures de compensation et des espèces concernées.

La nature de la mesure de compensation imposée ne dépend en général pas du type de projet, mais du type d'impact (type de milieu impacté à restauration ou création du même biotope, aménagements favorables aux espèces impactées, etc.).

Tout comme dans le cadre de projets éoliens, de nombreux aménagements favorisant la biodiversité sont mis en place à l'initiative des porteurs de projet. Même s'il ne s'agit pas de mesures de compensation à proprement parler (car non imposées via le permis), ces aménagements complémentaires visent à compenser les potentiels impacts du projet. Exemples des aménagements : création de mares temporaires ou permanentes pour favoriser les amphibiens, reptiles, odonates, création de talus meubles pour favoriser les abeilles solitaires, création de pelouses pionnières, etc.

Tableau 7 : Types de mesures de compensation installées en Wallonie et leurs caractéristiques (hors contexte éolien) Erreur ! Signet non défini.

Type de mesure de compensation	Description du type de la mesure	Espèces ciblées	Type de projet concerné
Création de mares/plans d'eau (temporaires ou permanentes selon les espèces visées) /plans d'eau/réseau de mares	Exigences en termes de pente, profondeur, aménagements	Amphibiens, (notamment Crapaud calamite, odonates, characées, chiroptères)	Création de plateformes multimodales Création/Extension de carrière
Création d'un front sableux ou d'un mur à hirondelles artificiel	Cahier des charges précis	Hirondelles des rivages	Création/Extension de carrière
Mise en place de nids artificiels à hirondelles		Hirondelles de fenêtre notamment	Projets de construction ou de restauration/réaménagement de façades
Mise en place de nichoirs		Oiseaux, chauves-souris	Divers
Financement de radeaux flottants	Mise en place de radeaux flottants à un endroit propice pour favoriser la colonie (par rapport aux prédateurs notamment) et la délocaliser d'un autre endroit où il y a conflit d'usage. Achat de matériel pour autrui	Mouettes rieuses	
Mise en place de tas de sable		Hyménoptères sabulicoles	Divers (projets de construction, extension de carrières...)
Mise en place de tas de bois mort et/ou de chronoxyles		Certaines espèces protégées, notamment de l'entomofaune	Divers

Type de mesure de compensation	Description du type de la mesure	Espèces ciblées	Type de projet concerné
Création d'un terrier de blaireau	Création de zones propices à l'installation d'un terrier (tas de sable aménagé) dans une zone de quiétude afin de favoriser sa délocalisation d'une zone de chantier	Blaireau européen	Non précisé
Plantation d'un mélange de ligneux indigènes	La zone de compensation doit réhabiliter une zone forestière de X fois la zone déboisée. Ce facteur multiplicatif dépend de la zone déboisée et de son intérêt pour la biodiversité.	Espèces forestières dépendant de la station. Ex: Epipactis helleborine et espèces associées à son écologie	Extension de carrière
Plantation de haies/alignements d'arbres, aménagement de lisières, création d'un verger de variétés anciennes		Chiroptères, Avifaune	Construction de lotissements Création de champs de panneaux photovoltaïques Extension de carrière
Achat de plants pour autrui	Achat et cession gratuite d'arbres d'essences indigènes pour un tiers (public)	Avifaune	Projet immobilier avec déboisement
Aménagement d'une ancienne gare pour les reptiles		Lézard des murailles	Aménagement de ligne Ravel

Type de mesure de compensation	Description du type de la mesure	Espèces ciblées	Type de projet concerné
Création de pierriers		Lézards et amphibiens	Extension de carrière
	Variante: création de pierriers souterrains	Reptiles (orvet, coronelle lisse, lézard, ...)	Création de champs de panneaux photovoltaïques
Création de zones calcaires			Extension de carrière
Déplacement d'orchidées		Plusieurs espèces d'orchidées	Non précisé
Restauration de prés de fauche alluviaux, ou d'autres habitats (prairies, vergers) lorsqu'un habitat d'une espèce protégée est détruit	Création d'un habitat similaire à celui détruit		Installation de collecteurs Divers
Création d'habitats de reproduction pour les amphibiens et insectes ou pour la conservation d'espèces végétales aquatiques		Crapaud calamite, Alyte accoucheur, Triton alpestre, Triton ponctué, Grenouille rousse, Grenouille verte, Limoselle, Criquet à ailes bleues et d'autres espèces menacées/protégées	Création d'un parc scientifique (destruction d'une mare) Reprise d'exploitation et le remblaiement d'un teruil
Recréation de milieux favorables à une espèce donnée	Création d'habitats favorables au Damier de la succise	Damier de la succise	Projet de zoning industriel, de lotissement et d'une prison
Adaptation de l'éclairage public	Temporalité (détecteur de présence, période d'éclairage)	Chiroptères, oiseaux, petite faune	Construction de lotissements

Type de mesure de compensation	Description du type de la mesure	Espèces ciblées	Type de projet concerné
	<p>Suppression de certains éclairages</p> <p>Adaptation des caractéristiques de l'éclairage (température, couleur chaude, faisceau de lumière dirigé vers le sol)</p>		

## 2.3 Les suivis des mesures de compensation

Les suivis des mesures de compensation sont réalisés soit par obligation via le permis, soit à l'initiative du porteur de projet (privé ou public). Dans tous les cas, elles sont à charge financière du porteur de projet.

Les protocoles sont définis de commun accord entre le porteur de projet et le prestataire responsable du suivi. Dans le cas d'un suivi imposé par l'administration, certains permis imposent la validation des protocoles par le SPW.

Les suivis peuvent porter sur la vérification de la mise en place de la mesure de compensation ou sur l'évaluation de son efficacité. Dans tous les cas, il n'y a pas de contrôle systématique de l'administration pour vérifier la bonne mise en place de la mesure.

### Suivi des mesures de compensation installées dans le contexte éolien

Sur base des retours reçus des promoteurs éoliens, bureaux d'étude et autres structures contactées (Liste des structures contactées voir chapitre « Liste des mesures de compensation »), le tableau ci-après présente les suivis connus réalisés sur les mesures de compensation installées dans le contexte éolien.

Les suivis d'efficacité des mesures sont dans la grande majorité des cas à l'initiative du promoteur éolien. Quelques cas de permis récents exigent des suivis de l'avifaune.

Les suivis d'efficacité de mesures les plus fréquemment réalisés par les porteurs de projet sont les suivis de l'avifaune au sein des COA1/COA2 par comptage brut au printemps et en hiver. Les quelques mesures goélands ont également été suivies pour vérifier leur efficacité auprès des espèces cibles. Les autres types de suivis restent en grande majorité des suivis occasionnels.

Il est intéressant de noter que la vérification de la bonne mise en place des mesures de compensation n'est pas systématique. Même si la mise en place de la mesure de compensation et le respect du cahier des charges sont obligatoires, les promoteurs vérifient sur 62% des parcs éoliens (53<sup>79</sup> des 86<sup>80</sup> parcs concernés par les mesures de compensation en Wallonie) que la mesure de compensation est respectée par l'agriculteur/propriétaire.

NB : Les suivis réalisés dans le cadre du projet NoNetLoss ne sont pas considérés dans le tableau et seront détaillés dans la suite du rapport.

---

<sup>79</sup> Source : Rapportage DEMNA, Août 2024 & (Goffart, 2012)

<sup>80</sup> Source : Rapportage DEMNA, octobre 2024

Tableau 8 : Suivis de mesures de compensation et fréquence

Taxon concerné par le suivi	Mesure concernée et type de suivi réalisé	Fréquence des suivis par type de mesure <sup>81</sup>
Respect du cahier des charges	COA1/COA2 : Vérification du respect du cahier des charges et de la qualité des couverts	Fréquent (62% des parcs)
	Haies : Vérification du respect du cahier des charges et du taux de reprise après plantation	
Flore	Aménagement forestier : Inventaire de la flore via placettes	Occasionnel
	Pré fleuri : Suivi flore via quadrats	Occasionnel
Avifaune	COA1/COA2 : - Comptage brut de l'avifaune au printemps et en hiver : parcours de la mesure	Peu fréquent
	- Suivi comportemental de l'avifaune visant à mettre en évidence l'utilisation qui est faite des mesures par les espèces cibles présentes	Occasionnel
	- Présence de nidification de busards dans l'environnement proche des mesures : observation à distance	Peu fréquent
	- Rapaces nocturnes : via pièges photos et recensement à l'aide d'une caméra thermique	Occasionnel
	- Bruant proyer : inventaire des mâles chanteurs et toute autre observation de l'espèce	Occasionnel
	- Pluvier doré, Pluvier guignard : présence de l'espèce	Occasionnel
	- Vanneau huppé : attractivité des mesures pour l'espèce	Occasionnel
	Mesure cigogne (mare et restauration de vallées) : Présence de l'espèce : via pièges photos	Occasionnel

<sup>81</sup> Fréquence des suivis par type de mesure : occasionnel, peu fréquent, fréquent, très fréquent, systématique

Taxon concerné par le suivi	Mesure concernée et type de suivi réalisé	Fréquence des suivis par type de mesure <sup>81</sup>
	Mesure goélands : Dénombrement des couples, taille des pontes, taux d'éclosion, taux de survie des poussins, taux de survie post-envol	Très Fréquent
	Aménagement forestier : inventaire de l'avifaune via placettes	Occasionnel
<i>Amphibiens</i>	Mare : - Observation de la présence de Crapaud calamite	Occasionnel
	- Inventaire des amphibiens : pose de nasses à amphibiens	Occasionnel
	Aménagement forestier : Inventaire de l'herpétofaune via placettes	Occasionnel
<i>Insectes</i>	Pré fleuri : Inventaires des insectes via parcours avec filet, pose de pièges	Occasionnel
	Aménagement forestier : inventaire des insectes via placettes	Occasionnel
<i>Micromammifères</i>	COA1/2 : Suivi des micromammifères via pièges et technique capture, marquage, recapture	Occasionnel
<i>Chiroptères</i>	/	/

### Suivi des mesures de compensation installées hors contexte éolien

Sur base des retours reçus des bureaux d'étude et autres structures contactées (Liste des structures contactées voir chapitre « Liste des mesures de compensation »), le tableau ci-après présente les suivis connus réalisés sur les mesures de compensation installées hors contexte éolien.

Tout comme pour les mesures de compensation installées dans le cadre éolien, aucun suivi des mesures de compensation n'est obligatoire hors cadre éolien. Dans le cas d'une dérogation à la Loi sur la conservation de la nature, un plan de gestion des mesures de compensation est dans certains cas imposé.

Un suivi de l'efficacité des mesures de compensation via des relevés biologiques est parfois imposé, mais rare.

**Tableau 9 : Suivis de mesures de compensation et fréquence (hors contexte éolien)**

<b>Taxon/Habitat concerné par le suivi</b>	<b>Mesure concernée et type de suivi réalisé</b>	<b>Fréquence des suivis <sup>82</sup></b>
<i>Respect du cahier des charges</i>	Installation de la mesure : Vérification du respect du cahier des charges Rapport d'application à transmettre au DNF dans le cas d'une dérogation à la Loi sur la conservation de la nature	Systematique
	Gestion : Vérification du respect du cahier des charges et de la qualité de la mesure, adaptation de la gestion à long terme des aménagements, dans certains cas plans de gestion imposé	Très Fréquent
<i>Flore</i>	Orchidées : comptage et recommandations de gestion (entretien des zones ouvertes) et adaptation du plan de circulation (pour éviter les compactations)	Non précisé

<sup>82</sup> Fréquence des suivis : occasionnel, peu fréquent, fréquent, très fréquent, systématique

## 2.4 Les protections juridiques des mesures de compensation dans le monde

Les fondements juridiques de la compensation écologique sont nombreux et dispersés, tant en droit international qu'en droit européen. Il convient de donner une vision globale au travers des fragments de loi qui l'encadrent. Au niveau international plusieurs conventions imposent explicitement une compensation. Par souci de clarté, nous avons directement explicité la participation de la Belgique/Wallonie à ces conventions internationales le cas échéant.

Les références juridiques sont extraites ou citées (par souci de concision) en note de bas de page.

### Droit international

#### *Convention de Ramsar*

Focalisée sur les zones humides et invoquant la protection des oiseaux d'eau, la convention impose de compenser tout retrait ou modification d'un tel site (Article 4.2<sup>83</sup>). La Belgique est partie contractante à la Convention de Ramsar depuis 1986 et comprend 9 sites Ramsar, pour une superficie totale de 46 944 ha. 4 sont localisées en Wallonie. A notre connaissance, aucune d'entre-elles n'a fait l'objet de mesures compensatoires

#### *Convention de Bonn*

Cette convention, en vigueur depuis 1983, a pour objectif de conserver les espèces migratrices terrestres, aquatiques et aériennes le long de leur itinéraire habituel de migration au niveau mondial. L'Annexe I et II fait état des espèces concernées. Cette convention explicite également la nécessité de compenser ou de minimiser les effets négatifs des activités ou des obstacles qui gênent la migration des espèces<sup>84</sup>. Certaines grandes puissances mondiales n'en font pas partie, comme la Chine, les Etats-Unis ou le Canada. La Belgique est également membre de la Convention de Bonn depuis 1990.

Pour ces deux conventions, l'emploi de termes « conditionnels » (autant que possible, partie convenable, s'efforcer, lorsque cela est approprié, ...) affaiblissent ces obligations et donc l'imposition de mesures compensatoires.

---

<sup>83</sup> **Article 4.2 :** « Lorsqu'une Partie contractante, pour des raisons pressantes d'intérêt national, retire une zone humide inscrite sur la Liste ou en réduit l'étendue, elle devrait compenser autant que possible toute perte de ressources en zones humides et, en particulier, elle devrait créer de nouvelles réserves naturelles pour les oiseaux d'eau et pour la protection, dans la même région ou ailleurs, d'une partie convenable de leur habitat antérieur »

<sup>84</sup> **82/461/CEE :** « Pour protéger les espèces migratrices menacées, les parties à la convention s'efforcent (...) de prévenir, d'éliminer, de compenser ou de minimiser les effets négatifs des activités ou des obstacles qui gênent la migration des espèces. »

## Convention sur la diversité biologique

La convention sur la diversité biologique encourage les Parties contractantes à intégrer des mesures de compensation lors d'évaluations d'impact sur l'environnement<sup>85</sup>, notamment via l'article 14, §1 a). Elle apporte une aide technique et des recommandations à travers des cas d'études (Ledec, 2020). Mais la mise en place de compensation se fait sur base volontaire et le cadre législatif reste très flou.

Par ailleurs, c'est à travers la Convention sur la Diversité Biologique que la Belgique fait état de sa stratégie nationale où figure notamment le principe d'action préventive. Ce dernier peut être assimilé au respect de la séquence ERC avec une prévention des nuisances environnementales plutôt qu'en y remédiant ou en les compensant. Il y est également évoqué le principe du pollueur-payeur (dont nous parlerons ci-dessous) et le principe de compensation, qui explicite que si *« en dépit d'une évaluation négative des implications pour la biodiversité et en l'absence de solutions alternatives, un plan ou projet devait, malgré tout, être réalisé pour des raisons impérieuses ou ne considérant pas l'intérêt public, les autorités publiques devraient prendre toutes les mesures compensatoires nécessaires pour veiller à ce qu'aucune perte nette de biodiversité ne survienne lors de la mise en œuvre ou de l'exécution du plan ou projet. »*

## Droit européen

### Mise en place obligatoire de mesures

#### Directives Habitats et Oiseaux

Les directives européennes Oiseaux (1979) et Habitats (1992) visent à renforcer la préservation de la biodiversité dans les États membres en identifiant les espèces et habitats d'intérêt communautaire à protéger (Akerboom et al., 2019). Ces directives sont les fondements de la législation européenne en matière de protection de la nature, ayant conduit à la création du réseau Natura 2000 (Bas & Dieckhoff, 2021). Ce réseau rassemble des sites naturels désignés par les États pour protéger les espèces et habitats concernés.

Plusieurs articles prévoient une **forme de compensation écologique obligatoire** dans certains cas. La directive « Habitats » consacre un régime préventif général en ce qui concerne le réseau de sites Natura 2000<sup>86</sup>. Plus spécifiquement, l'article 6, § 3<sup>87</sup> prévoit l'interdiction de porter atteinte de manière significative à l'intégrité des sites N2000. Cette interdiction peut cependant être levée (selon l'article 6, § 4), pour des raisons impératives d'intérêt majeur et *« en l'absence de solutions alternatives »* pour autant que l'autorité compétente prenne en compte la protection

---

<sup>85</sup> **Décision V/18, art 14, § 1(a)** : *« la possibilité de mesures de compensation dans les évaluations d'impact sur l'environnement »*

<sup>86</sup> Composé des « zones de protection spéciale » (ZPS) et des « zones spéciales de conservation » (ZSC).

<sup>87</sup> **§3.** *« (...) Compte tenu des conclusions de l'évaluation des incidences sur le site et sous réserve des dispositions du paragraphe 4, les autorités nationales compétentes ne marquent leur accord sur ce plan ou projet qu'après s'être assurées qu'il ne portera pas atteinte à l'intégrité du site concerné et après avoir pris, le cas échéant, l'avis du public. »*  
**§4.** *« Si, en dépit de conclusions négatives de l'évaluation des incidences sur le site et en l'absence de solutions alternatives, un plan ou projet doit néanmoins être réalisé pour des raisons impératives d'intérêt public majeur, y compris de nature sociale ou économique, l'État membre prend toute mesure compensatoire nécessaire pour assurer que la cohérence globale de Nature 2000 est protégée »*

de la cohérence globale du réseau Natura 2000 notamment via la mise en place de mesures compensatoires, devant être rapportées à la Commission européenne. La directive « Habitats » prévoit également l'interdiction de perturber les espèces animales protégées (autres que reprises dans la directive « Oiseaux ») et de détériorer les sites de reproduction et aires de repos. Comme précédemment, une dérogation peut être accordée à condition qu'aucune autre solution satisfaisante n'existe et que la dérogation ne nuise pas au maintien dans un état de conservation favorable des populations des espèces concernées<sup>88</sup>. Par ailleurs, une obligation de résultat est attendue lorsqu'un plan impacte le réseau Natura2000. Une surcompensation peut être exigée si la Commission déduit qu'une atteinte du même niveau de fonction écologique n'est pas possible. Cette surcompensation consiste en une superficie plus grande allouée à la mesure, de l'ordre d'un à trois (voir quatre).

Ces Directives ont été transposées dans la législation de chacun des Etats membres et peuvent être complétées par des dispositifs nationaux.

#### Directive 2004/35/CE

Par ailleurs, la directive 2004/35/CE, connue sous le nom de Directive sur la Responsabilité Environnementale (DRE) consacre différents modes de réparations de certains types de dommages écologiques dits « purs » comprenant tout dommage « grave » causé aux sols, aux eaux, aux espèces ou habitats naturels protégés et aux services liés à ces ressources. Cette directive européenne couvre les dommages causés aux espèces et habitats d'intérêt communautaire, ainsi qu'aux habitats des espèces d'oiseaux, même situés en dehors du réseau Natura 2000. Une confusion est cependant de mise dans cette même directive. En cas de responsabilité, la réparation doit viser la remise à l'état initial de l'environnement via une réparation dite primaire. C'est donc une réparation-équivalence en nature comme dans le cadre d'une compensation. La réparation « compensatoire » désigne « *toute action entreprise afin de compenser les pertes intermédiaires de ressources naturelles ou de services qui surviennent entre la date de survenance d'un dommage et le moment où la réparation primaire a pleinement produit son effet* »<sup>89</sup>. Etonnamment, ce qui est qualifié de réparation est plutôt d'ordre compensatoire et inversement.

En outre, la directive 2004/35/CE stipule qu'un exploitant ne peut pas être tenu responsable des dommages environnementaux lorsqu'il peut prouver qu'ils sont survenus en raison du respect de l'autorisation ou du permis délivré par une autorité compétente, pourvu que les conditions de ce permis aient été respectées<sup>90</sup>. Par conséquent, si un dommage est constaté, en dépit du respect du permis, il n'y aura aucune sanction envers l'exploitant, et donc les dommages ne seront jamais compensés.

#### Directive Red III

En parallèle à ces lois européennes, le plan européen RepowerEU et la Directive Red III prévoient la mise en place de zones nécessaires et d'accélération administrative, notamment au niveau de

---

<sup>88</sup> Art. 16 de la Directive « Habitats »

<sup>89</sup> Annexe II, 1, c), dir. 2004/35.

<sup>90</sup> Art. 8 (4) (a)

l'octroi de permis, pour la mise en place d'installations d'énergies renouvelables. Les Etats membres sont tenus de réaliser des examens préalables rapides afin de déterminer si le projet est susceptible d'avoir une incidence négative importante imprévue. Le cas échéant, les États membres devraient, à la suite de cet examen préalable soumettre le projet à une évaluation des incidences sur l'environnement en application de la directive 2011/92/UE et, si nécessaire, à une évaluation en application de la directive 92/43/CEE du Conseil. Ils devraient également justifier leur motivation quant à la soumission de ces projets à évaluation qui devraient être réalisées dans un délai de 6 mois suivant lesdites décisions (avec prolongation possibles en cas de circonstances extraordinaires). Des dérogations à cette évaluation seraient prévues lorsque ces projets devraient fournir la grande majorité de l'électricité renouvelable d'ici à 2030. La directive précise également “ *Dans pareil cas, le promoteur du projet devrait adopter des mesures d'atténuation proportionnées ou, à défaut, des mesures compensatoires, qui, si d'autres mesures compensatoires proportionnées ne sont pas disponibles, peuvent prendre la forme d'une compensation financière, afin de remédier à l'incidence négative importante imprévue mise en évidence au cours de l'examen préalable*”<sup>91</sup>.

### Loi sur la Restauration de la Nature

Par ailleurs, la loi sur la restauration de la nature, adoptée le 17 juin 2024, soutient la séquence ERC et la compensation écologique de différentes manières. Elle explique notamment à l'article 4, que “(...) les États membres peuvent, en l'absence de solutions alternatives, appliquer les exigences de non-détérioration prévues par ces paragraphes au niveau de chaque région biogéographique de leur territoire pour chaque type d'habitat et chaque habitat d'espèces, pour autant que l'État membre concerné notifie à la Commission son intention d'appliquer le présent paragraphe (...)” Il faut comprendre par là que les habitats concernés par la loi peuvent être dégradés, dans des cas justifiés, à condition de ne pas nuire à l'état de conservation à l'échelle de la biorégion, et que cette obligation peut être réalisée par des mesures d'atténuation (exigences de non-détérioration).

Cependant la loi stipule également “(...) les États membres devraient présumer que les installations de production d'énergie à partir de sources renouvelables (...) relèvent d'un intérêt public majeur” “ Considérer que ces installations relèvent d'un intérêt public majeur et, le cas échéant, limiter l'obligation d'évaluer des solutions de remplacement moins préjudiciables permettrait à ces projets de bénéficier d'une évaluation simplifiée en ce qui concerne les dérogations à l'évaluation de l'intérêt public majeur au titre du présent règlement.”. L'article 4 confirme également la souplesse de la législation envers les projets éoliens en précisant aux §14,15, que les objectifs décrits aux §11,12 ne leur sont pas applicables. Ces objectifs sont : la restauration et le maintien dans un état favorable des habitats annoncés à l'annexe 1.

Cette même loi spécifie également, d'après la directive (UE) 2018/2001, qu'en vue de soutenir le déploiement des énergies renouvelables, « *les États membres sont autorisés à adopter un ou plusieurs plans visant à désigner des zones d'infrastructures spécifiques destinées au développement de projets de réseau ou de stockage nécessaires à l'intégration de l'énergie renouvelable dans le système électrique, lorsque ce développement ne devrait pas avoir*

---

<sup>91</sup> JO L du 31.10.2023; Art. 35

*d'incidence importante sur l'environnement ou lorsque cette incidence peut être dûment atténuée ou, si ce n'est pas possible, compensée. ».*

Elle informe aussi les Etats membre du contenu du plan national de restauration à délivrer pour 2026, ce dernier devant contenir « *une explication du système de mesures compensatoires à prendre pour chaque cas de détérioration significative, ainsi que du suivi et de l'établissement de rapports nécessaires concernant la détérioration significative des types d'habitats et des habitats des espèces et les mesures compensatoires prises* ». Les Etats membres doivent assurer le suivi de l'étendue et la localisation des habitats et habitats d'espèces détériorés et faisant l'objet de mesure compensatoires<sup>92</sup> ainsi que l'efficacité des mesures afin de garantir la non-détérioration de ces habitats selon les régions biogéographiques<sup>93,94</sup>.

Les Etats membres se sont engagés selon l'article 21, §1, b) à fournir à la Commission Européenne un rapport pour 2028 qui précise l'étendue des zones faisant l'objet de mesure de compensation. Le paragraphe deux de ce même article exige pour 2031 une localisation des zones faisant l'objet de telles mesures et une description de leur efficacité. Cela a pour but de garantir les articles 1,4 et 5 qui visent un rétablissement sur le long terme et de manière durable de la biodiversité, une résilience des écosystèmes et une atténuation du changement climatique.

### *Mise en place facultative de mesures compensatoires*

Les **directives 2014/52/UE** et **2001/42/CE** concernant l'évaluation des incidences environnementales des projets et des plans/programmes stipulent que l'évaluateur doit fournir une description des mesures prévues pour éviter, réduire et, si possible, compenser les effets négatifs importants sur l'environnement. En outre, la directive 2014/52/UE explicite que les Etats membres doivent veiller « *à ce que les caractéristiques du projet et/ou mesures envisagées pour éviter, prévenir ou réduire et, si possible, compenser les incidences négatives notables sur l'environnement soient mises en œuvre par le maître d'ouvrage* »<sup>95</sup>. La directive 2001/42/CE contient des exigences similaires.

## **Droit national des pays Européens**

En **France** et en **Allemagne**, les lois relatives à la protection de la nature de 1976 (respectivement la loi n°76-629 inscrite dans le Code de l'environnement et la Bundesnaturschutzgesetz) ont introduit l'évaluation environnementale qui intègre le principe de non-perte nette de biodiversité et pose ainsi les bases de la compensation écologique (Bas & Dieckhoff, 2021).

En **France**, la Loi pour la Reconquête de la Biodiversité, de la Nature et des Paysages de 2016 est venue renforcer l'application de la stratégie « éviter, réduire, compenser » (ERC) pour atteindre l'objectif de préservation de la biodiversité sans pertes nettes, ainsi que l'objectif « Zéro Artificialisation Nette des sols » (ZAN)(Andreadakis, Berthault, et al., 2021). La démarche ERC est inscrite dans le Code de l'environnement (article L.110-1) et est énoncée comme suit : « Ce

---

<sup>92</sup> Selon l'Art. 4, § 13

<sup>93</sup> Selon les objectifs énoncés aux Art. 1, 4, 5 de la même loi

<sup>94</sup> Art. 20, § 1 j)

<sup>95</sup> Art. 8 bis, 4.

*principe implique d'éviter les atteintes à la biodiversité et aux services qu'elle fournit ; à défaut, d'en réduire la portée ; enfin, 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* » (Art L. 110-1-II.2 du Code de l'environnement) (Andreadakis, Berthault, et al., 2021). Il est spécifié dans le Code de l'environnement que « *tout projet entraînant une dégradation de la qualité environnementale des sites sur lesquels il s'installe doit intégrer des **mesures**, par priorité, pour éviter, puis réduire, et en dernier lieu compenser ses impacts* » (LEGENDRE & GUERIN, 2019). La loi de 2016 a permis notamment l'institutionnalisation de la compensation mutualisée, l'obligation de résultats ou encore la géolocalisation des mesures compensatoires (GeomCE). Il y a obligation de suivi des mesures ERC par le porteur de projet ou par la structure qu'il a mandatée (LEGENDRE & GUERIN, 2019).

En ce qui concerne la compensation mutualisée, les sites naturels de compensation (SNCR) doivent être validés par l'État sous la forme d'un agrément juridique. L'opérateur du site, c'est-à-dire la tierce partie responsable de sa gestion, s'engage à entretenir les écosystèmes restaurés pour une période au moins équivalente à celle des impacts compensés par le SNCR ; la durée minimale étant de 30 ans. Cependant, la législation stipule que la garantie de succès de la compensation ne repose pas sur l'opérateur du site mais sur le porteur de projet qui se doit d'assumer la responsabilité légale et le succès de la compensation. L'opérateur est chargé lui de mettre en œuvre, de gérer et de suivre les actions compensatoires. Finalement, comme pour la compensation en général, il y a l'obligation de suivre l'efficacité des opérations de restauration. Dans le cadre des projets éoliens terrestres, ce sont le Code de l'environnement ainsi que le Code forestier qui reprennent les procédures de la stratégie ERC à suivre (Bas & Dieckhoff, 2021).

Du côté de l'**Allemagne**, on parle de la stratégie de non-perte nette de biodiversité dont l'application découle de dispositifs fédéraux, les « Länder » (Etats fédérés disposant d'une certaine autonomie politique et législative) ainsi que de la transposition des directives européennes.

Cinq lois fédérales posent le cadre de cette stratégie, à savoir la loi sur l'évaluation environnementale (Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung ou UVPG), la loi sur la protection de la nature (Bundesnaturschutzgesetz ou BNatSchG), le Code de la construction (Baugesetzbuch ou BauGB), la loi sur l'eau (Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts) et la loi sur la forêt (Bundeswaldgesetz ou BWaldG)(Bas et al., 2021; Bas & Dieckhoff, 2021).

La loi fédérale sur l'évaluation environnementale décrit le cadre d'application des EIE nommées "Umweltverträglichkeitsprüfung" ou "UVP". La logique de non perte nette de la biodiversité a été introduite par la loi sur la conservation de la nature dès 1976. Elle se décline selon trois scénarios. Le législateur considère de manière différente l'atteinte aux sites Natura 2000, aux espèces protégées ("Artenschutzrecht") et finalement, à la biodiversité en générale (hors des deux cadres précédents, nommé "Eingriffsregelung"). Le système Allemand considère, par ce dernier cas, également la biodiversité non protégée. Les espèces tombant sous l'Artenschutzrecht doivent obligatoirement avoir une compensation "au cas par cas".

Au niveau des Länder, tous les guides et directives prévoient des mesures d'atténuation pour s'assurer qu'un projet ne dépasse pas le seuil de « risque significatif » de mortalité pour une

espèce protégée, afin d'éviter que l'interdiction de tuer ces espèces ne soit enfreinte (Akerboom et al., 2019). Les tribunaux ont eux-mêmes reconnu que les mesures ERC pouvaient favoriser l'approbation d'un projet, même en présence régulière d'espèces protégées et sensibles aux éoliennes. Plusieurs de ces mesures ont été examinées par la justice et jugées appropriées. Lorsque l'efficacité des mesures n'a pas été prouvée, un suivi complémentaire pour évaluer leur succès est souvent requis pour l'octroi du permis (Akerboom et al., 2019).

Concernant la **compensation mutualisée**, il existe deux types d'éco-comptes (Ökokonten) en Allemagne, chacun étant régulé par une législation spécifique : l'un est lié à la loi sur la protection de la nature (Ökokonto selon le BNatSchG, *naturschutzrechtliches Ökokonto*) et l'autre au Code de la construction (Ökokonto selon le BauGB, *baurechtliches Ökokonto*). Dans les deux cas, la compensation mutualisée doit avoir des effets durables et être accompagnée de suivi et de maintenance, bien que la réglementation ne soit pas très détaillée à ce sujet. En pratique, les engagements de compensation via l'Ökokonto se prolongent généralement sur une période de 25 à 30 ans (Bas & Dieckhoff, 2021). La localisation des projets va définir la législation en application et donc le choix de l'Ökokonto utilisé. Pour les projets situés en zone urbanisées, par exemple un projet d'habitations ou un nouveau centre commercial, c'est l'Ökokonto relevant du code de la construction qui sera utilisé. Si le projet se trouve en dehors de ces zones, c'est alors la BNatSchG (loi sur la protection de la nature) qui s'applique. Les projets éoliens se trouvant souvent en dehors des zones urbanisées, c'est le *naturschutzrechtliches Ökokonto* qui est le plus utilisé (DIECKHOFF & IMBERT, 2022).

Au **Luxembourg**<sup>9</sup>, la compensation écologique est pour rappel divisée en deux mécanismes : les mesures compensatoires (via des pools compensatoires) et les mesures d'atténuation (mise en œuvre par le maître d'ouvrage). Pour les *mesures compensatoires*, la loi sur la conservation de la nature de 2018 renseigne quatre points clés, à savoir l'obligation de compenser dans les pools compensatoires, le recours à un système d'évaluation et de compensation et à des bilans écologiques (cf le système d'écopoints), le recours obligatoire à l'application numérique « Ecopoints » pour la réalisation de bilans écologiques ainsi que la comptabilisation et l'enregistrement des mesures compensatoires à l'aide d'un registre national des mesures compensatoires. La loi admet l'obligation de compenser dans différentes situations, à savoir la destruction de biotopes, d'habitats d'intérêt communautaire ou destruction d'habitats d'espèces d'intérêt communautaire, le changement d'affectation de fonds forestiers, la destruction d'habitats essentiels d'espèces protégées ou encore dans le cas de projets entraînant des impacts significatifs sur des zones Natura 2000. Concernant les *mesures d'atténuation*, le porteur de projet doit « vérifier le plus tôt possible si son projet de construction porte atteinte aux habitats essentiels des espèces protégées. Selon l'article 27, ce n'est que lorsque les mesures CEF sont fonctionnelles et qu'elles ont été approuvées par le ministère de l'Environnement que le maître d'ouvrage peut détruire les habitats concernés »<sup>9</sup>.

Dans un article de 2019, une synthèse a été réalisée sur la transposition des directives européennes en termes de protection des espèces dans différents États membres et de leur application dans le cadre de projets éoliens (Akerboom et al., 2019). Cet article énonce la place des mesures ERC dans la législation et démontre aussi que l'interprétation et l'application de ces mesures peut varier au sein des différents pays. Ce sont les **Pays-Bas** qui présentent la mise en

application la plus stricte de la législation européenne concernant les espèces protégées. En effet, les porteurs de projet doivent apporter des preuves (basées sur avis d'experts) que les infrastructures n'engendrent ni la perturbation ni la mort d'un seul spécimen supplémentaire d'une espèce strictement protégée. S'il y a une probabilité que le projet engendre de tels impacts, l'activité ne peut être approuvée qu'après l'octroi d'une dérogation. Une telle dérogation peut être octroyée si des mesures ERC sont mises en place et se montrent efficaces dans la réduction des impacts du projet considéré.

Au **Royaume-Uni**, il n'y a pas de mesure ERC spécifique prescrite dans le cadre de projets éoliens. Les directives gouvernementales peuvent préconiser des mesures d'atténuation lors des procédures d'aménagement du territoire et il y a des obligations d'atténuation qui peuvent être renseignées au sein des études d'impacts environnementales (EIE) (Akerboom et al., 2019).

Au **Danemark**, les mesures ERC ne sont prescrites en général que si elles sont nécessaires pour empêcher les effets négatifs significatifs d'un projet sur l'état de conservation d'une espèce (Akerboom et al., 2019). Ces mesures peuvent être décrites dans une EIE et inscrites dans le permis d'obtention du projet. Elles peuvent concerner à la fois la période de construction et d'exploitation.

## 2.5 Cadre légal d'application en Wallonie

Si le principe de la mesure compensatoire est énoncé dans la stratégie nationale de la Belgique pour la biodiversité (2006-2016)<sup>96</sup>, le cadre juridique des mesures en Wallonie n'est pas clairement défini, notamment étant donné l'absence d'uniformité législative autour de ces dernières. Cette partie du rapport a pour objectif de donner un aperçu non exhaustif de la disparité législative entre les différents niveaux juridiques et des différents articles de loi d'application en Wallonie. Nous discuterons dans un premier temps des différents fondements juridiques européen et interne où est explicitée et transposée la compensation écologique, de manière obligatoire et facultative. Nous évoquerons ensuite la législation relative à la fixation des mesures compensatoires, ce comprenant les critères de détermination, de mise en place et de suivi et contrôle des compensations.

De manière générale, on notera qu'en l'absence de protection juridique spécifique, la biodiversité ordinaire et certains éléments remarquables comme les Sites de grand intérêt biologique (SGIB) non protégés, peuvent recevoir une protection par l'obligation de compensation en cas de destruction, ce qui est un point favorable fort à la mise en place des mesures compensatoires. La directive 2004/35/CE, discutée ci-dessus, renforce cette protection en imposant la réparation des détériorations graves des services écosystémiques.

---

<sup>96</sup> p.27: « Si, en dépit d'une évaluation négative des implications pour la biodiversité et en l'absence de solutions alternatives, un plan ou projet devait, malgré tout, être réalisé pour des raisons impérieuses ou allant outre l'intérêt public, les autorités publiques devraient prendre toutes les mesures compensatoires nécessaires pour veiller à ce qu'aucune perte nette de biodiversité ne survienne lors de la mise en œuvre ou de l'exécution du plan ou projet »

## Fondements juridiques

### *Transposition du droit européen et interne*

#### Mise en place Obligatoire des mesures de compensation

Il n'y a pas de cadre juridique unique régissant la compensation en droit interne, à l'exception de l'article 23, alinéa 3, 4<sup>o</sup> de la Constitution consacrant un droit à un environnement sain, qui peut être assimilé à une forme de fondement constitutionnel de la compensation. Il existe cependant des dispositions dispersées qui, ensemble, forment une base légale pour l'application des mesures de compensation.

#### Transposition en droit wallon des directives Habitats et Oiseaux

Pour rappel, la directive "Habitats" prévoit l'interdiction de porter atteinte de manière significative à l'intégrité des sites N2000 sauf pour des raisons impératives d'intérêt majeur et en prenant en compte la cohérence du réseau N2000 notamment via la fixation de mesures compensatoires. Cette disposition est transposée presque littéralement en droit wallon mais n'a fait l'objet d'aucun arrêté d'exécution à notre connaissance puisqu'il n'y a aucun cas de la mise en place de ces mesures. La directive « Oiseaux » et sa transposition prévoit l'obligation du rétablissement des biotopes détruits<sup>97</sup> ainsi que la protection et l'interdiction de perturber significativement les espèces de l'avifaune<sup>98,99</sup>. Une dérogation est délivrable si aucune autre solution alternative n'existe. Elle n'est cependant pas explicite sur la condition de ne pas mettre en danger la population concernée lors de l'octroi d'une dérogation, ce qui aurait normalement justifié l'imposition de mesures compensatoires dans la directive. Cependant, cette condition est bien inscrite dans le droit wallon<sup>100</sup>.

En Wallonie, les mesures de compensation écologique sont principalement liées aux exigences de ces deux directives.

#### Transposition de la directive 2004/35/CE

Pour rappel, la directive 2004/35/CE stipule qu'un exploitant ne peut pas être tenu responsable des dommages environnementaux lorsqu'il peut prouver que les dommages sont survenus en raison du respect de l'autorisation ou du permis délivré par une autorité compétente, à condition que les conditions de ce permis aient été respectées<sup>101</sup>. Le droit wallon qui fait usage de la clause de « permit defence » transpose donc la directive sur ces différents points. Le « permit defence »

---

<sup>97</sup> **Art. 3.b, dir. « Oiseaux »**

<sup>98</sup> *C.J.U.E., 2 août 1993, Commission c. Espagne ('Marismas de Santona'), C-355/90, Rec., p. I-4221, pt. 15; C.J.U.E., 13 juin 2002, Commission c. Irlande ('Lagopède des saules'), C-117/00, Rec., p. I-5335, pts. 15 à 21.*

<sup>99</sup> **Art. 1er et 5 de la Directive « Oiseaux »**

<sup>100</sup> **Art. 5, § 1er, de la loi**

<sup>101</sup> **Art. 8 (4) (a)**

permet à un exploitant d'être exonéré de sa responsabilité potentielle « polluante » s'il montre qu'il agit selon le respect d'une autorisation spécifique<sup>102</sup>, comme une dérogation.

Ce point souligne l'influence cruciale des permis et dérogations basés sur les EIE de bureaux d'étude. Entre autres, les EIE se basent elles-mêmes sur un cadre juridique parfois flou, impliquant des fiches techniques peu claires et laissant beaucoup de place aux initiatives causant un manque de cohérence dans les propositions de mesures de compensation.

#### Transposition de la directive Red III (2023/2413) en droit wallon

Cette directive a fait l'objet d'une proposition de décret avec comme objectif la transposition partielle de ladite directive. Elle a reçu un avis positif du Pôle Aménagement du territoire, du Pôle Energie et du Pôle Environnement (en prenant en compte une série de commentaires). Elle modifie les articles 1er, 2, 32, 83, 92 du décret du 11 mars 1999 relatif au permis d'environnement et insérant un article 86bis. Cette proposition ne fait pas état de ce qui est relatif aux compensations.

#### Loi sur la Restauration de la Nature

Les différents articles relatifs à la Loi sur la Restauration de la Nature explicitées précédemment devraient permettre un éclaircissement quant à la situation de la compensation écologique en Belgique. Il convient désormais d'examiner la stratégie mise en place par le gouvernement belge pour atteindre ces objectifs.

#### Selon Le Code du Développement territorial (CoDT)

En dehors du droit européen, d'autres mécanismes internes au droit wallon permettent l'application obligatoire de mesures compensatoires. Entré en vigueur le 1<sup>er</sup> juin 2017, le **Code du Développement Territorial** (CoDT-dernière mise à jour 4/08/2024) remplace le CWATUP et révisé le Plan de Secteur (PdS). Cette révision comprend, le cas échéant, des propositions de compensations. L'article D.II.45, § 3, explicite que lorsqu'une nouvelle zone destinée à l'urbanisation (ZDU) est inscrite dans un plan de secteur et qu'elle remplace une zone qui n'était pas prévue pour l'urbanisation, cette inscription doit respecter le principe de proportionnalité. Concrètement, au moins 85% de la superficie de cette nouvelle zone urbanisable doit être compensée par la transformation d'une zone déjà urbanisable ou d'une zone d'aménagement communal concerté en une zone non urbanisable, appelée compensation planologique. Si la compensation de la première zone ne couvre pas l'intégralité de la superficie de la nouvelle zone urbanisable, il faut alors prévoir des mesures compensatoires alternatives sur le plan opérationnel, environnemental, énergétique ou de la mobilité, en tenant compte de l'impact de la nouvelle zone sur son voisinage. Les modalités et la nature des compensations alternatives sont définies par le Gouvernement<sup>25</sup>. Ces compensations, qu'elles soient planologiques ou alternatives, peuvent être réalisées par phases, ce qui implique qu'il peut exister une période où

---

<sup>102</sup> François, T. (22/10/2021). Vers de nouvelles responsabilités en droit de l'environnement. Lexgo.be. Consulté 2 août 2024, à l'adresse <https://www.lexgo.be/fr/actualites-et-articles/339-vers-de-nouvelles-responsabilites-en-droit-de-l-environnement>

les fonctionnalités de l'habitat détruit ne sont pas maintenues de manière équivalente. Au total, l'affectation de 3868 ha a été modifiée entre mars 2005 et octobre 2016, conduisant à une augmentation nette de 732 ha de ZDU (Révisions partielles des plans de secteur). Selon les Révisions partielles des plans de secteur, une partie de cette superficie a fait l'objet de compensations soit alternatives, soit transitoires.

### *Mise en place facultative de mesures compensatoires*

Les directives 2014/52/UE et 2001/42/CE concernant l'évaluation des incidences environnementales des projets et des plans/programmes sont transposées en droit wallon.

Les exigences de la directive 2014/52/UE sont transposées avec des variations<sup>103</sup>, mais celles-ci n'obligent pas l'autorité à imposer les mesures compensatoires proposées bien qu'il soit suggéré que le maître d'ouvrage adopte des mesures pour compenser les impacts négatifs identifiés. L'autorité doit considérer les informations de l'évaluation et indiquer formellement dans sa décision les mesures prises pour annuler les incidences négatives les plus importantes. La directive 2001/42/CE contient des exigences similaires.

### **La fixation des mesures compensatoires et les limites associées**

Une fois le projet approuvé, la fixation concrète des compensations s'effectue selon différents critères. Dans ce rapport, nous faisons état de ce que nous estimons être les critères de détermination, de mise en place, de suivi et contrôle des mesures compensatoires. Ces critères sont référencés via le Code de l'Environnement, les lois européennes, ou des arrêtés du gouvernements wallons.

### *Détermination*

#### Hiérarchie

L'article D.56, §3. 7° du Droit de l'Environnement explicite que les EIE doivent comprendre « *les mesures envisagées pour éviter, réduire et, dans la mesure du possible, compenser toute incidence négative non négligeable de la mise en œuvre du plan ou du programme sur l'environnement* ». Les mesures compensatoires doivent donc être envisagées en dernier recours, après avoir épuisé toutes les solutions alternatives<sup>3</sup>. Si l'autorité sur laquelle repose la charge de la preuve ne peut démontrer l'absence de telles solutions alternatives, elle se doit de refuser le plan ou le projet<sup>104</sup>. Il convient de souligner que, si le principe est clair, les directives encadrant l'application de cette hiérarchie sont manquantes, notamment en ce qui concerne la distinction entre les dommages « évitables » et « inévitables », conduisant à une flexibilité parfois abusive dans l'application des mesures de compensation (Dupont et al., 2018).

---

<sup>103</sup> **Art. D. 76 Droit de l'Environnement**

<sup>104</sup> C.J.U.E., 26 octobre 2006, *Commission c. Portugal ('CastroVerde')*, C-239/04, pt. 39

## Intérêt général

Seuls certains motifs d'intérêt général supérieur peuvent normalement conduire à l'autorisation de dommages à la biodiversité. Ainsi, les projets à but privé et n'apportant par exemple aucun bénéfice d'ordre économique ou social pour la région ne devraient pas être autorisés<sup>2</sup>. Les projets éoliens sont considérés dans ce cadre, car l'indépendance énergétique est un objectif d'intérêt général (CUVELIER, 2018).

## Nécessité légale – dérogation

Ce critère fait appel à tous les articles de loi qui explicitent l'obligation légale des mesures compensatoires. Nous les avons d'ores et déjà explicités dans la partie *Fondements juridiques – Droit européen et interne - Obligation*.

Nous profitons de cette partie pour expliciter les limites du régime de dérogation aux mesures de protection aux espèces, cas majoritaire des compensations à l'heure actuelle. En effet, dans ce régime, ni le droit européen de la protection des espèces, ni les dispositions qui le transposent, ne détaillent la façon dont la compensation doit être fixée et mise en œuvre. Bien que la loi belge sur la conservation de la nature (LCN), adopté en 1973, ait pour but de préserver l'essence, la variété et l'ensemble de l'équilibre du milieu naturel, en mettant en place des dispositions de préservation pour les différentes formes de vie végétale et animale, leurs groupements et environnements, ainsi que pour le sol, le sous-sol, les eaux et l'air. Elle n'impose pas de cadre juridique et ne sanctionne pas l'imposition des mesures compensatoires à titre de conditions d'acceptation des dérogations (Petit & Terr, 2024). De la même manière, seules les espèces protégées sont encadrées juridiquement alors que la biodiversité ordinaire n'est pas prise en considération dans les dérogations "espèces".

Par ailleurs, les dérogations aux dispositions de protection des espèces ne sont pas systématiquement soumises à la participation du public puisque ne sont pas forcément incluses dans un permis. Pourtant, cet aspect est contre-intuitif avec des projets invoquant l'intérêt général supérieur.

## Conformité avec les plans de gestion

Les mesures compensatoires doivent être alignées aux différents plans de gestion, notamment ceux des sites Natura 2000, comme explicité dans l'article 4.3 et 4.4 de la Direction « Habitat ». L'Annexe III au livre Ier du Code de l'Environnement, fait par ailleurs état des critères permettant de déterminer la nécessité d'une étude des incidences sur l'environnement, ce comprenant la sensibilité environnementale des zones géographiques susceptibles d'être affectées par le projet notamment celles du réseau N2000, les réserves et parcs naturels, etc<sup>105</sup>.

## Responsabilité et financement des mesures de compensation

Conformément au principe du pollueur-payeur, c'est l'auteur du plan ou du titulaire du permis/dérogation, responsable de l'impact environnemental, qui est chargé de la mise en œuvre

---

<sup>105</sup> **Annexe III au livre Ier du Code de l'Environnement** [conformément à l'article D.64, § 2] [Décret 11.04.2024], 2.

de la compensation. Si les mesures ne sont pas réalisées, il engage sa responsabilité pénale, civile et environnementale. Il peut sous-traiter la mise en place de mesures, mais reste juridiquement responsable. Ce principe est énoncé en droit wallon<sup>106</sup> et dans l'actualisation de la SNB comme l'un des 10 principes directeurs pour l'interprétation et la mise en œuvre de la stratégie nationale. Il joue un rôle de dissuasion contre la violation de la législation environnementale et contribue ainsi à la réalisation des objectifs et à l'application de la politique environnementale de la Région Wallonne.

Cependant, en droit européen, les mesures compensatoires pour Natura 2000 sont définies par l'État membre selon les articles 6, § 4, et 16 de la directive «Habitats», sans préciser qui en est responsable dans l'ordre interne. En droit wallon, l'article 29, § 2, de la loi sur la conservation de la nature, qui transpose l'article 6, § 4 de la directive, prévoit que c'est l'autorité compétente qui prend les mesures nécessaires afin de conserver la cohérence du réseau. Pour les dérogations de protection des espèces, l'article 5, § 2 et 3 de la même loi laisse une marge d'appréciation à l'autorité sur la responsabilité de la compensation en soulignant uniquement l'interdiction de mettre en danger la population de l'espèce en question, sans précision.

Cette flexibilité permet d'envisager un transfert de responsabilité, comme avec un Fonds "nature" ou un marché de biodiversité. Cette seconde approche de la responsabilité implique le transfert de la mise en œuvre de la mesure compensatoire à un tiers (public ou privé) par le titulaire du permis tout en finançant la dite-mesure. Selon *Born et al. (2012)*, cette méthode est plus efficace et durable, à condition que les responsabilités des tiers soient clairement définies et respectées. Cependant, aux yeux de la directive 2004/35/CE, c'est à l'exploitant de réparer les dommages environnementaux, ce qui complique un potentiel transfert de responsabilité. Par ailleurs, cette souplesse conduit à un manque de clarté et finalement une confusion générale quant à la responsabilité de la mesure compensatoire.

## Mise en place

### Proportionnalité et équivalence

Le principe de proportionnalité *lato sensu* est intrinsèquement lié au principe d'équivalence écologique. D'un point de vue scientifique et opérationnel, la surface endommagée mais aussi tout autre élément écosystémique atteint, comme la structure et les fonctions écologiques, sont difficiles à quantifier, notamment par l'impact diffus à l'échelle du paysage d'un endommagement. Par conséquent, la restitution équivalente de ces composantes de l'environnement est tout autant compliquée.

D'autre part, la proportionnalité sous-entend la prise en compte des exigences socio-économiques lors de l'adoption de mesures de conservation<sup>107</sup>. Autrement dit, une évaluation du « coût-bénéfice » devrait être réalisée. Cette étude implique que des coûts disproportionnés par rapport aux bénéfices environnementaux générés par la mesure compensatoire, annulent le projet. Force est de constater que dans la pratique, il existe quelques cas de projets éoliens

---

<sup>106</sup> **Art D. 3, 2° du Livre Ier du Code de l'Environnement**

<sup>107</sup> **Art.2, § 3, de la directive «Habitats»**

terminés et fonctionnels alors même que les mesures compensatoires ne sont pas mises en place, car trop coûteuses.

Le principe d'équivalence n'est, à ce jour, établi que pour certains cas de compensation obligatoire. Les compensations facultatives (voir partie *Mise en place facultative de mesures compensatoires* dans *Statut Juridique*) ont quant à elles une large marge d'appréciation à l'autorité. Les exigences du droit positif concernant la fixation de la nature et de l'ampleur des mesures compensatoires sont tout autant imprécises, alors que de cette décision dépend l'absence de perte nette pour la biodiversité. Bien que cela permette une adaptabilité dans le processus de mesure des pertes et gains de biodiversité, il en résulte un manque d'homogénéité dans les processus compensatoires<sup>2,22,25</sup>. Par ailleurs, les notes de références indiquent également que le type de compensation peut être de nature similaire ou différente de la zone impactée dans un objectif de conservation global de la biodiversité. Par conséquent, de nombreuses mesures de compensation pourraient potentiellement ne pas être à la hauteur de la détérioration des habitats et habitats d'espèces causée et *a contrario*, des mesures compensatoires pourraient être parfois exigées par les autorités compétentes sans réelle justification (SPW-ARNE, 2024).

### Temporalité

Les mesures compensatoires doivent être inscrites comme conditions dans les permis et devraient donc être mises en place dans les délais appropriés pour compenser les dégâts résiduels du plan ou projet. Cependant, la loi wallonne ne l'explique pas et caractérise même la mesure compensatoire comme : *“toute action entreprise afin de compenser les pertes intermédiaires de ressources naturelles ou de services qui surviennent entre la date de survenance d'un dommage et le moment où la réparation primaire a pleinement produit son effet”* (Art. 94, 14°)

### Suivi et contrôle

#### Durabilité et pérennité

La compensation doit être mise en place au moins aussi longtemps que les dégâts perdurent. Ce critère est notamment repris dans l'Actualisation de la Stratégie nationale de la Belgique. Il est cependant parfois difficile à exécuter puisque des périodes particulièrement longues peuvent être engagées. A titre d'exemple, une éolienne est généralement installée pour un permis de près de 30 ans, ce qui techniquement imposerait une compensation de même durée. Force est de constater que peu d'agriculteurs s'engagent pour une période aussi longue. En pratique, il n'est pas rare d'être confronté à des ruptures de “contrats” des exploitants agricoles (convention non-contraignante dans la plupart des cas), notamment pour des COA1/COA2. Cela implique une coupure nette dans l'établissement des populations, des fonctions écologiques et des services écosystémiques en cours à une localisation donnée et risque de compromettre ainsi l'équivalence écologique.

## Suivi, gestion à long terme et contrôle

A notre connaissance, la loi ne prévoit pas de suivis et contrôles obligatoires et systématiques. De la même manière, les sanctions relatives à l'absence de compensation sont floues. L'Art. D.76 prévoit uniquement que « *l'autorité compétente veille à ce que les caractéristiques du projet et/ou mesures envisagées pour éviter, prévenir ou réduire et, si possible, compenser les incidences négatives notables sur l'environnement soient mises en œuvre par le bénéficiaire du permis et détermine les procédures de suivi des incidences négatives notables sur l'environnement. Les types de paramètres devant faire l'objet d'un suivi et la durée de suivi sont proportionnés à la nature, à la localisation et à la dimension du projet et à l'importance de ses incidences sur l'environnement.* », ce qui peut finalement se limiter aux suivis menés dans le cadre des EIE.

Par ailleurs, en pratique, on notera un manque de contrôles et de sanction. Ces manquements témoignent de la confusion globale qui règne au niveau des mesures compensatoires et de la nécessité d'un règlement plus clair et pertinent pour prévoir et organiser l'accompagnement, le suivi et l'évaluation réguliers des mesures sans quoi la pérennité écologique ne saurait être respectée (Goffart, 2012). Si, selon le principe du pollueur-payeur, c'est l'exploitant qui est responsable du financement de la mesure compensatoire, il est crucial que, de leur côté, les autorités publiques octroient les moyens légaux et opérationnels au renforcement des contrôles et des sanctions de la compensation écologique.

## Conclusion du benchmarking à l'étranger et de la mise en application en Wallonie

Les mesures compensatoires souffrent donc d'un cadre législatif et juridique aux échelles supérieures, internationales, européennes, peu contraignant et flou laissant beaucoup de liberté aux Etats membres. La Belgique et plus particulièrement la Wallonie souffre d'une législation actuelle des mesures de compensation dispersée, parfois divergente, voire contradictoire. La loi wallonne se concentre principalement sur la protection des espèces et des habitats protégés via la transposition de lois européennes (dont les Directives Habitat et Oiseaux), laissant de côté d'autres composantes de la biodiversité, alors même que le déclin des espèces ordinaires n'est plus à prouver. Le manque d'uniformité causée notamment par l'absence d'obligation impliquant les types de mesure (verger, COA1/2, etc.), les espèces s'y trouvant, les procédures d'adoptions (via EIE, dérogation, etc.), la participation du public, et tant d'autres critères peuvent différer d'une disposition juridique à l'autre et conduire à des contradictions et/ou incohérences entre les mesures. En conséquence, les mesures compensatoires restent souvent facultatives, sauf certains cadres bien établis (e.g éolien) et soumises à la discrétion des autorités compétentes, sans directives claires pour guider leur mise en œuvre, leurs suivis, leur contrôle. En Wallonie, les exemples pratiques montrent qu'elles sont souvent négociées de manière consensuelle entre les différentes parties mais qu'elles peuvent parfois manquer de rigueur scientifique et de précision<sup>26</sup>. Les contrôles à posteriori de l'octroi du permis font également défaut, bénéficiant sans doute d'un cadre trop souple et devenant sujet à interprétation. L'investigation d'un Fonds de compensation par la Belgique serait une potentielle solution afin de contrôler plus localement les actions compensatoires mais ses risques et aboutissements devraient être étudiés plus en profondeur. Par ailleurs, la Wallonie bénéficierait d'un cadre plus

systematique permettant un contrôle plus important à différents échelons (Bureaux d'études, exploitant, ...) et une facilitation de l'application de mesures compensatoires. Cependant, il faudrait faire attention à ce que ce cadre ne soit pas contraignant au principe d'équivalence.

Par ailleurs, en dépit du manque d'instructions provenant des instances supérieures, il a été vu que certains pays avaient réussi à mettre en œuvre des systèmes de compensation divers et variés. L'exemple le plus parlant est sans doute celui de l'Allemagne qui a légiféré sur les mesures de compensation dès 1976. Forte de son expérience, elle possède aujourd'hui un système déclinant la compensation sous trois formes visant chacune à compenser un pan particulier de la biodiversité. Ce système prévoit même une compensation pour la biodiversité ordinaire. L'étude des systèmes de compensation et de la législation pour la France, le Luxembourg et l'Allemagne ont montré dans cette première partie que les possibilités étaient nombreuses et applicables. Si la Belgique veut satisfaire aux exigences de la loi sur la restauration de la nature de 2024, elle se devra d'incorporer des changements profonds dans sa législation et sa vision de la compensation en s'inspirant des pratiques étrangères. L'échéance de 2026, pour laquelle elle s'est engagée à transmettre son plan national de restauration, qui se doit d'expliquer les mesures compensatoires à prendre pour chaque cas de détérioration significative, devrait s'inspirer des systèmes déjà existants.

## 3. Protocoles de suivis biologiques des mesures de compensation

### 3.1 Contexte

L'un des objectifs du projet **NoNetLoss** est d'évaluer l'efficacité des mesures à large échelle selon des protocoles standardisés. Par conséquent, il a été décidé de se concentrer sur les mesures COA1 associées avec une COA2 (COA1/COA2). En effet, ce sont les mesures majoritaires en Wallonie (348 ha de COA1/COA2 implantés au total sur l'ensemble de la Wallonie). Le nombre de parcelles concernées permet d'ambitionner un échantillonnage solide et des résultats fiables. De plus, ces mesures sont supposées remplir leur rôle quasi immédiatement, contrairement à certaines mesures qui nécessitent plusieurs années avant d'être pleinement efficaces (ex : les haies). Chaque parcelle de mesure de compensation échantillonnée a été pairée à un « témoin », permettant de comparer cette dernière à une situation sans compensation (dans le même paysage environnant ; plus de détails dans "Structuration de l'échantillonnage des parcelles en MC").

Les mesures COA1/COA2 sont généralement proposées ensemble et ont pour objectif la compensation des impacts éoliens sur les espèces suivantes : Busard Saint-Martin (*Circus cyaneus*)<sup>108,109</sup>, Busard cendré (*Circus pygarnus*)<sup>108,109</sup>, Busard des roseaux (*Circus aeruginosus*)<sup>108,109</sup>, Hibou des marais (*Asio flammeus*)<sup>108,110</sup>, Bruant proyer (*Emberiza*

---

<sup>108</sup> Espèces ciblées directement par le COA1

<sup>109</sup> Espèces ciblées directement par le COA2

*calandra*)<sup>108,110</sup>, Bruant jaune (*Emberiza citrinella*)<sup>108,110</sup>, Bergeronnette printanière (*Motacilla flava*)<sup>110,111</sup>, Alouette des champs (*Alauda arvensis*)<sup>108,110</sup>, Caille des blés (*Coturnix coturnix*)<sup>110,111</sup>, Perdrix grise (*Perdix perdix*)<sup>108,109</sup>.

Le COA1 correspond à un mélange d'herbacées semé chaque année aux alentours du 15 avril. Il existe un total de quatre mélanges alternant d'une année à l'autre. On retrouve dans ces mélanges par exemple : le froment de printemps, le radis fourrager, le pois protéagineux, l'orge de printemps, etc. Selon les conditions et/ou les situations locales, des adaptations peuvent être réalisées. Les couverts sont laissés sur pieds tout l'hiver et détruits à la fin de ce dernier, vers le 15 mars. Cette mesure apporte donc de la nourriture aux espèces granivores tout au long de l'hiver, période où les ressources alimentaires sont généralement faibles. Elle est presque toujours associée à un COA2, qui correspond à un couvert enherbé pérenne, semé une seule fois et puis fauché chaque année. Les semences doivent être à 50% des légumineuses dont par exemple le dactyle aggloméré, la luzerne commune, le trèfle blanc. Le but premier du COA2 est d'offrir un espace propice de chasse et d'abris. Ainsi, l'association des deux mesures permet d'offrir le gîte et le couvert aux espèces cibles tout au long de l'année. Au printemps, des effets positifs sont également possibles avec la floraison des différentes plantes du mélange du COA1 et présentes dans le COA2, ce qui rend l'association de mesures attractives pour les insectes et dès lors pour les oiseaux, leur oisillons et chiroptères qui s'en nourrissent. Etant donné le peu d'activités agricoles sur le COA2, la colonisation des micromammifères est favorisée, représentant une source alimentaire considérable pour les rapaces. Les précisions quant à la largeur des bandes, les bonnes pratiques et gestions des couverts sont disponibles dans le cahier des charges (CAHIER DES CHARGES MESURES COA1 COA2). La période couverte par le projet *NoNetLoss* a permis de réaliser des suivis biologiques pendant la période printanière. L'efficacité des mesures en période hivernale n'a par contre pas pu être évaluée.

### 3.2 Note générale sur les suivis

Les différents protocoles établis ont été réfléchis de manière (i) à refléter et évaluer au mieux l'efficacité des mesures de compensation et (ii) à être comparés dans l'optique d'une standardisation et d'une répliquabilité de ceux-ci. Les protocoles présentés ci-après sont les protocoles expérimentés dans le cadre du projet. La partie recommandations précise sur base des expériences de l'étude les protocoles standardisés que nous recommandons d'utiliser.

L'efficacité est notamment mesurée par plusieurs protocoles sur base de la présence des espèces cibles et plus largement de la diversité et l'activité de l'avifaune. En parallèle, nous avons également mesuré la diversité et l'activité des chiroptères qui pourraient profiter des mesures comme terrain de chasse. Afin d'expliquer au mieux la présence des différents taxons sur les mesures, nous avons également évalué le respect du cahier des charges et la présence de micromammifères.

---

<sup>110</sup> Espèce ciblée **indirectement** par le COA2

<sup>111</sup> Espèce ciblée **indirectement** par le COA1

## 3.3 Protocoles floristiques et faunistiques

### Flore - respect du cahier des charges

Le protocole flore a pour objectif d'évaluer le respect du cahier des charges et peut être également répliqué aisément. Pour chaque parcelle de mesure compensatoire, la méthode consiste en une appréciation visuelle de la qualité de la parcelle (couvert nourricier et couvert enherbé) et sa conformité au cahier des charges. L'appréciation a été réalisée par Amandine Delalieux (Faune & Biotopes), chargée de mission affectée aux suivis botaniques et agronomiques de mesures compensatoires. L'échelle utilisée est la suivante : 0 (parcelle très médiocre), 1 (parcelle médiocre), 2 (parcelle de qualité moyenne), 3 (parcelle de bonne qualité) et 4 (parcelle de très bonne qualité). Les critères évalués sont la présence des espèces listées par le cahier des charges, la proportion d'adventices présentes et l'état (hauteur du couvert, densité au sol, présence d'adventices) du couvert enherbé.

### Oiseaux

Pour rappel, l'association des mesures COA1 et COA2 cible certaines espèces d'oiseaux des plaines : Busard Saint-Martin, Busard cendré, Busard des roseaux, Hibou des marais, Bruant proyer, Bruant jaune, Bergeronnette printanière, Alouette des champs, Caille des blés, Perdrix grise.

Quatre méthodes ont été appliquées pour le suivi des oiseaux : la méthode du point d'écoute par l'humain, la méthode de transect au sein de la parcelle (détection à la vue et au chant/crî), la méthode du point d'écoute via des enregistreurs acoustiques, et la méthode d'enregistreur acoustique sur 3 jours. A noter que ces suivis, décrits ci-dessous, sont réalisés sur chaque paire de la parcelle de compensation et son site témoin. La sélection de ces protocoles s'est faite sur base de la bibliographie, ce qui est communément pratiqué et suivant les contraintes de saison et de ressources humaines. Les résultats comparant ces méthodes sont disponibles dans la partie résultats.

#### *Méthode du point d'écoute*

La méthode du **point d'écoute** pour recenser les oiseaux est utilisée notamment par Natagora dans le cadre du « programme de Surveillance des Oiseaux Communs en Wallonie » (SOCWAL) (Aves, Natagora, 2022). Le point dit « d'écoute » est un point d'observation fixe de 5 minutes qui consiste à identifier tous les oiseaux entendus et vus sur et en-dehors de la parcelle étudiée, permettant la prise en compte d'un effet diffus de cette dernière. Il doit être effectué durant la matinée car c'est à cette période de la journée que l'activité des oiseaux est la plus forte (Robbins, 1981), après le lever du soleil cependant afin d'éviter « le chœur matinal de certaines espèces ». En ce qui concerne la météo, il est préférable d'éviter les jours où le vent est fort et/ou les jours de pluie.

La distance conseillée entre les points d'écoute en milieu ouvert est de 500 m. Cela permet d'éviter les doubles comptages. Dans le cadre du projet, un point unique est réalisé en bord de

site (MC et site témoin) pour éviter de faire fuir des espèces présentes sur la zone étudiée et perdre leur donnée de présence dans le recensement.

### *Méthode du transect*

D'après l'expertise de terrain de Faune&Biotopes, certaines espèces cibles d'oiseaux qui peuvent s'abriter dans la parcelle de compensation sont plus discrètes, restent tapies dans la végétation et leurs chants moins fréquents. Elles sont donc plus difficiles à identifier lors d'un point d'écoute à l'extérieur de la parcelle. Il est cependant possible de les détecter à vue et à l'ouïe en traversant la mesure après le point d'écoute, en réalisant un transect standardisé selon la longueur de la parcelle.

Tant pour les points d'écoute que pour les transects, le nombre de visites d'une parcelle est établi à 3 relevés pour la période printanière-estivale. Ces passages sont réalisés en avril, mai et juin.

En pratique, pour les suivis réalisés dans le cadre de ce projet, un programme GIS de terrain tel que QField a été utilisé pour enregistrer directement les données du point d'écoute, sur une tablette. L'observateur a noté l'espèce contactée, indiqué la position la plus précise possible de l'individu sur la carte.

### *Méthode des enregistreurs acoustiques*

La méthode des enregistreurs acoustiques permet d'enregistrer le chant des oiseaux pendant plusieurs jours afin de capter les oiseaux sur une temporalité plus importante que lors d'un point d'écoute.

Dans le cadre du projet, des enregistreurs ont été posés pendant une période de 3 jours. Les enregistrements acoustiques peuvent par la suite être analysés à l'aide d'une intelligence artificielle telle que « BirdNET »(Toenies & Rich, 2021). Comme pour la méthode des points d'écoute, les enregistreurs sont placés sur les mesures échantillonnées et les sites témoins à trois reprises : en avril, en mai et en juin.

Deux modèles d'enregistreurs sont utilisés, l'un à faible coût et l'autre à coût élevé. Cela permet d'évaluer la performance de ces deux types d'enregistreurs aux coûts différents, en vue de la création d'un protocole répliquable.

- Le premier modèle, UR-09 LCR Shenzhen, est un enregistreur sonore sous forme de clé USB (Farina et al., 2014). Afin d'assurer un enregistrement jusqu'à 96h, cet enregistreur doit être relié à une batterie portable de 5000mAh tout au long de l'enregistrement (Valentini, 2023). Le modèle est paramétré pour enregistrer des fichiers consécutifs de 4 heures. Sur le terrain, l'ensemble (microphone USB et la batterie) est placé dans un sac plastique hermétique et peut être posé à même le sol.



**Figure 3 : Modèle d'enregistreur acoustique à faible coût UR-09 LCR de ShenZhen HNSAT Industrial Co. Ltd (Chine) ; source de la photo : (Farina et al., 2014).**

Le second modèle est un enregistreur passif également utilisé pour enregistrer les ultrasons de chauves-souris et qui, à l'aide d'un microphone acoustique ajouté au boîtier (Figure 5), permet aussi de capter les chants d'oiseaux (Toenies & Rich, 2021). Cependant, pour ce dernier, les enregistrements acoustiques et ultra-sonores ne peuvent se réaliser simultanément, ce qui signifie que l'enregistrement des oiseaux n'est que diurne puisque l'on souhaite par ailleurs enregistrer les chiroptères la nuit. Ce dispositif est fixé à un piquet de 75 cm de manière à être positionné à hauteur de végétation.



**Figure 4 : Enregistreur passif de chez Wildlife Acoustics qui permet d'enregistrer les ultrasons, notamment des chiroptères, mais aussi les sons audibles à l'aide d'un microphone acoustique (source : Song Meter Mini BAT Wildlife Acoustics (enregistreur ultra-sonore) (leclub-biotope.com)).**

Les deux appareils ont également été activés lors du point d'écoute de 5 minutes afin de comparer les trois méthodes : enregistreur passif microUSB, enregistreur passif batbox et l'humain. La comparaison portait sur les espèces captées par la méthode du point d'écoute (PE) et par l'enregistrement (batbox et micro-USB) afin d'avoir une idée du rayon d'action des microphones mais aussi de l'efficacité de la méthode des enregistreurs et du traitement par BirdNET.

## *Complémentarité des méthodes*

Les quatre méthodes décrites ci-dessus (d'une part les 3 points d'écoute microUSB, batbox et humain & d'autre part le transect et la méthode passive des enregistreurs bioacoustiques sur 72h) sont complémentaires. Durant le PE et le transect, l'observateur peut estimer une direction et une distance au chant qu'il entend, ainsi qu'une abondance. De son côté, l'intérêt de l'enregistreur acoustique est d'avoir une plus grande temporalité d'écoute et d'intercepter les événements plus ponctuels. Ainsi, on capte hypothétiquement une liste plus exhaustive des espèces présentes sur la mesure.

## *Identifier l'apport des mesures de compensation*

Pour les parcelles échantillonnées, des enregistreurs seront placés à la fois sur la parcelle de compensation et sur le site témoin (décrit plus en détail au paragraphe « Structuration de l'échantillonnage des parcelles MC), situé à environ 500 m de la mesure de compensation, afin de comparer les richesses spécifiques des deux zones. Grâce aux facteurs d'échantillonnage (décrits plus bas), il sera possible d'identifier l'influence des éléments du paysage sur la richesse spécifique présente sur la mesure (ex : influence d'un paysage avec des éléments de diversification biologique ou paysage de plaine agricole).

## *Traitement des données d'enregistrement*

Pour la méthode des enregistreurs acoustiques, les enregistrements sont traités dans le logiciel BirdNET-Analyzer afin d'identifier les espèces en présence. Le choix s'est basé sur ce logiciel de reconnaissance automatisée des oiseaux car d'un point de vue de la réplicabilité de la méthode, c'est un outil libre et gratuit dont l'interface est assez intuitive. BirdNET s'appuie sur une vaste base de données de sons d'oiseaux, ce qui en fait un outil polyvalent et il démontre une certaine précision dans les résultats, bien que la performance de BirdNET puisse varier selon les espèces et les contextes. C'est un outil en open-source qui est souvent mis à jour et amélioré par la communauté scientifique qui l'utilise. Certains logiciels peuvent être plus adaptés à des contextes ou régions spécifiques, mais BirdNET reste un choix polyvalent et fiable pour une grande variété de projets de surveillance acoustique.

Les fichiers audios enregistrés via les Batbox sont sous un format .wav, lisible par BirdNET. Ce n'est pas le cas pour les fichiers audios sortis des micros-USB qui sont sous format .WAV, illisible pour BirdNET. La conversion au préalable au format .wav via un logiciel de traitement et d'édition audio, comme Audacity, est donc nécessaire.

Les fichiers audios sont donc traités par **BirdNET-Analyzer.GUI**<sup>112</sup>. Les fichiers audios sont rassemblés dans un dossier unique, afin d'être chargés simultanément dans l'onglet « Batch analysis ». BirdNET divise les fichiers audios en segments de 3 secondes, pour chacun desquels il attribue une identification d'espèce(s) avec un certain score de confiance (voir ci-dessous).

---

<sup>112</sup> Téléchargeable via un lien dans l'article (Symes et al., 2023) ou sur le site suivant : [GitHub - kahst/BirdNET-Analyzer: BirdNET analyzer for scientific audio data processing.](https://github.com/kahst/BirdNET-Analyzer)

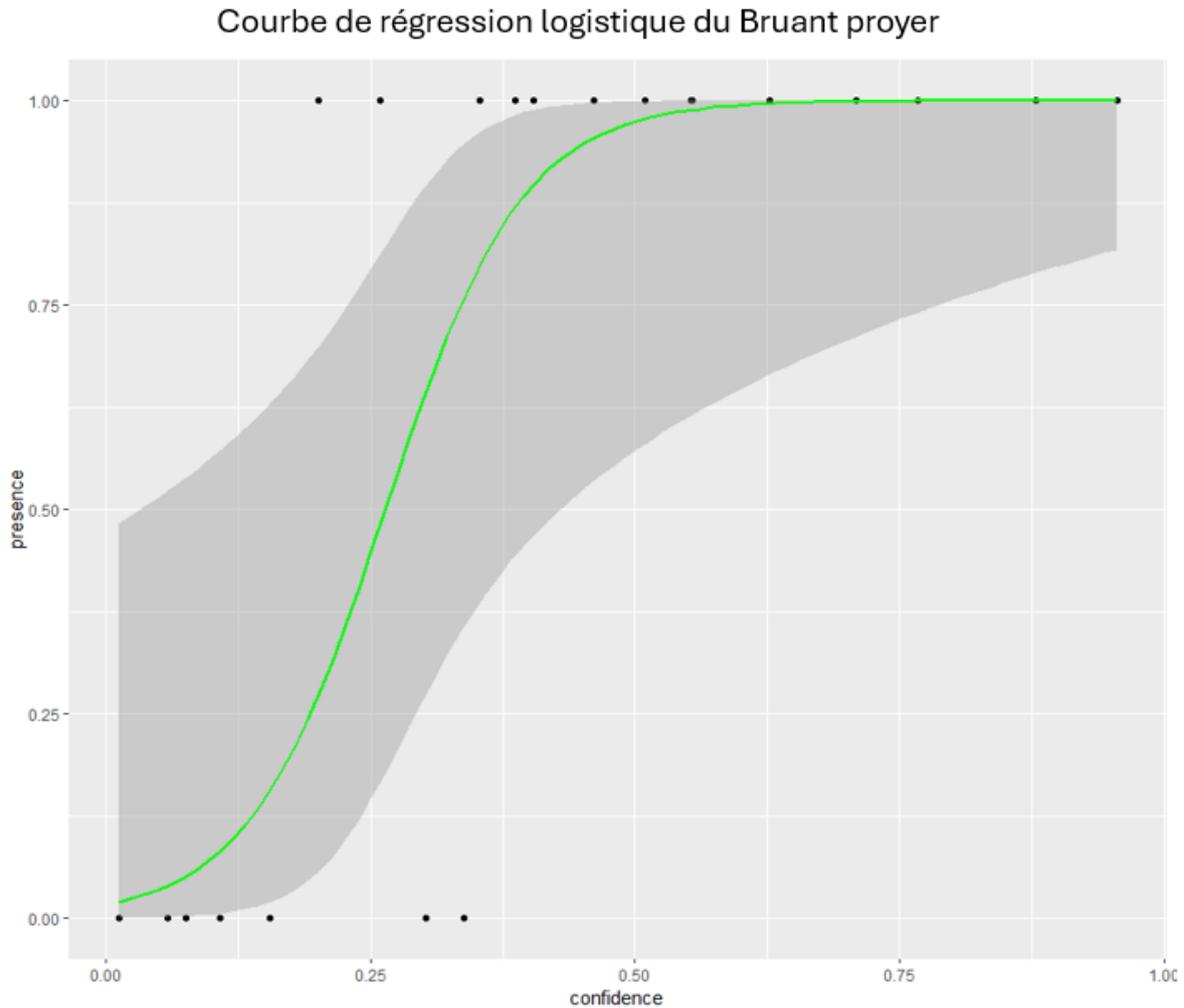
Différents éléments peuvent être précisés (paramètres d'inférence, la sélection des espèces, paramètres de sortie).

Trois **paramètres d'inférence** peuvent être ajustés. Tel que suggéré par Symes et al. (2023), il n'est pas nécessaire de modifier ces paramètres pour la plupart des applications du logiciel (Symes et al., 2023). Les valeurs par défaut ont été conservées pour les paramètres « sensitivity » et « overlap ». Pour le minimum de confiance ou « minimum confidence », la valeur a été descendue à 0,1 afin d'obtenir toutes les identifications par BirdNET à partir de 1% de score de confiance. Le **score de confiance** est un indicateur qui reflète le degré de certitude de l'algorithme d'identification par rapport à une espèce d'oiseau détectée (sur un segment de 3 secondes). Il s'agit d'un pourcentage ou d'une valeur numérique qui exprime la probabilité que le son enregistré corresponde effectivement à l'espèce proposée. Un score de confiance élevé (par exemple, au-dessus de 80 %) signifie que l'algorithme est relativement sûr que le chant ou le cri identifié appartient à l'espèce indiquée. Un score plus bas, en revanche, indique que l'algorithme est moins certain de l'identification.

Cependant, un score de confiance donné ne correspond pas nécessairement à la même probabilité d'avération de l'identification pour toutes les espèces. En effet, le score de confiance dépend de la capacité de BirdNET à reconnaître certaines espèces. Selon la littérature, la fixation d'un seuil de score de confiance 70-80% semble suffisant dans la plupart des cas pour un rapport optimal entre la perte de données et le nombre de faux positifs (Pérez-Granados & Traba, 2021). Cependant, dans la mesure du possible, Symes et al. (2023) proposent de déterminer un seuil de confiance pour chaque espèce, à l'aide d'une *courbe de régression logistique*, à partir de laquelle la probabilité que l'identification par BirdNET soit un vrai positif s'approche de 100% (Symes et al., 2023). Pour ce faire, et pour chaque espèce dont le seuil de confiance doit être déterminé, un certain nombre d'identifications doit être retenu (au minimum 20 à 30 enregistrements), couvrant des scores de confiance de 1% à 100% à intervalles similaires. Ces sons (segments de 3 minutes) doivent être écoutés manuellement pour valider ou non l'identification par BirdNET (vrais et faux positifs) et ainsi construire la courbe de régression. Cette analyse permet de déterminer la probabilité qu'une prédiction donnée, et son taux de confiance, soit un vrai positif et donc de fixer le score à partir duquel les identifications de l'espèce considérée sont conservées pour l'étude.

En fonction des priorités et objectifs de l'étude, le choix d'un seuil de confiance optimal peut varier. En effet, si un seuil de confiance élevé permet d'augmenter le pourcentage d'identification de vrais positifs, il va également réduire la proportion de contacts et d'espèces d'oiseaux détectés (Pérez-Granados & Traba, 2021). Il y a donc un compromis à trouver entre précision et perte de données.

Les mesures de compensation COA1/COA2 visent certaines espèces cibles. Pour les espèces cibles qui ont été détectées dans les enregistrements, des courbes de régression ont été réalisées pour fixer un seuil de confiance par espèce. Pour toutes les autres espèces identifiées par BirdNET, un seuil de 75% a été fixé.



**Figure 5 : Courbe de régression logistique du Bruant proyer pour les enregistrements de la batbox. Les autres régressions sont disponibles à l'annexe A.5**

A titre d'exemple, la courbe de régression pour le Bruant proyer, pour les enregistrements réalisés par les batbox, est reprise à la Figure 5. Il est possible d'estimer visuellement vers quel pourcentage de confiance la courbe se stabilise. Pour appuyer ce premier constat, l'AUC (Area Under the Curve) est calculée et permet de déterminer le seuil de confiance optimal pour s'approcher d'un maximum de vrais positifs. En effet, l'AUC est une mesure couramment utilisée pour évaluer l'efficacité d'un modèle de classification binaire (ici vrais positifs = 1 et faux positifs = 0), offrant une vue d'ensemble de la capacité du modèle à différencier les classes. Plus l'AUC est proche de 1, plus le modèle est performant. Elle est associée à la courbe ROC (Receiver Operating Characteristic), qui trace le rapport entre le taux de faux positifs (axe des x) et le taux de vrais positifs (axe des y) pour différents seuils de décision d'un modèle de classification binaire.

**Tableau 10 : Valeur seuil pour chaque protocole et chaque espèce cible détectée**

Espèce cible	Seuil de confiance Batbox	Seuil de confiance micro-USB
Alouette des champs	1% (toutes les observations)	1% (toutes les observations)
Bruant proyer	48%	31%
Bruant jaune	50%	19%
Busard des roseaux	aucune des identifications n'a été validée manuellement	aucune des identifications n'a été validée manuellement
Vanneau huppé	70%	76%
Bergeronnette printanière	52%	36%

Ces seuils de confiance dépendent du type d'enregistreur mais aussi de l'environnement dans lequel les sons sont récoltés (bruit parasite, etc). Ils ne sont donc pas applicables dans d'autres contextes (plaines agricoles vs milieux forestiers p.ex.). Il est recommandé de réaliser des courbes de régression pour déterminer ces seuils dans d'autres cas de figures. Particularité pour l'alouette des champs dont toutes les détections (à partir du seuil de 1% appliqués dans BirdNET) sont conservées, autant avec les batbox qu'avec les micros-USB. A l'inverse, pour le busard des roseaux, toutes les détections faites par BirdNET s'avèrent fausses, aucune observation n'est donc conservée. Notez que si le seuil de confiance est plus bas pour le micro-USB comparativement à la batbox pour certaines espèces, il est notamment lié au faible nombre d'observations et à une plus forte probabilité de détection de vrais positifs, dû à un rayon de détection des micros plus faible.

Dans la fenêtre « Species selection », l'option « Species by location » a été retenue et permet d'indiquer au logiciel la gamme d'espèces qu'il est possible de détecter étant donné la géolocalisation et la période de l'année.

Finalement, il est possible d'obtenir les résultats de l'analyse par BirdNET selon différents types de fichier (Output settings), dont des fichiers csv, option qui a été choisie ici afin de faciliter le traitement des données (dans R notamment) par la suite.

## Chiroptères

Les chiroptères est un groupe globalement très impacté par les éoliennes et pour lequel les mesures de compensation sont difficiles à mettre en place. La restauration des habitats de chasse, tels que les milieux bocagers, peut s'avérer efficace, mais son succès dépend également de la mise en œuvre simultanée d'autres mesures externes au parc, telles que la restauration des gîtes et l'amélioration générale du maillage écologique (SPW-ARNE, 2024). Les chauves-souris

peuvent être un indicateur de la connectivité des éléments du paysage (e.g Hale et al., 2012; Sundberg, 2022).

Si elles ne sont pas directement visées par les mesures de compensation de couverts nourriciers pour l'hiver (COA1) et de bandes enherbées permanentes (COA2), il est intéressant et innovant d'étudier leur éventuelle présence sur ces mesures. Ces dernières pourraient constituer un terrain de chasse (présence d'insectes), plus ou moins attractifs, selon la proximité d'éléments du paysage favorisant leur présence (bocages, mares, forêts, etc).

L'objectif du suivi est d'avoir une idée de la présence des chiroptères et de leur activité sur les mesures de compensation COA1 et COA2 et donc de voir si ces dernières sont mobilisées par les chauves-souris.

Pour ce faire, la méthode sélectionnée pour recenser les chauves-souris est celle de l'écoute passive. Cette méthode offre la possibilité d'une grande durée d'écoute, pour un temps de travail réduit sur le lieu de suivi. En outre, il s'agit d'une méthode utilisée couramment par le DEMna (SPW).

### *Méthode de l'écoute passive*

Le suivi d'écoute passive réalisé selon les standards du DEMNA consiste à poser des enregistreurs automatiques d'ultrasons dans la zone à recenser, durant une période de minimum de 3 jours, entre avril et octobre (hors période hivernale). Trois répétitions par site échantillonné sont souhaitées. La standardisation de cette méthode à l'échelle de la Wallonie peut amener à l'obtention d'un jeu de données homogène qui pourrait permettre d'établir de manière systématique la présence de chaque espèce, mesurer son activité nocturne de manière quantitative, et enfin, améliorer la caractérisation de la répartition de leurs habitats (Flipo, 2018)

Durant la période d'échantillonnage, la mesure COA2 est hypothétiquement la plus propice à la présence d'insectes, source de nourriture pour les chauves-souris. Or, les enregistreurs passifs ont une sphère de détection des ultrasons de 7 à 16 m (Adams et al. 2012), voire 5m pour certaines fréquences, ce qui fait que l'enregistreur doit être placé dans la zone propice. L'enregistreur sera donc placé sur la COA2, à la frontière avec la COA1.

Trois répétitions se répartissent sur cette période printanière-estivale : en avril, en mai et en juin. Dans l'idée de répliquer ce protocole avec une période de terrain plus étendue, une ou plusieurs répétitions sont à envisager durant la période de migration des chauves-souris, de la mi-août à la mi-septembre. Notons qu'à partir de la mi-juillet, le chant des orthoptères pourrait venir saturer les enregistrements et compliquer l'identification des ultrasons des chiroptères.

Les enregistreurs utilisés sont de la même gamme que ceux utilisés par le DNF et DEMna, c'est-à-dire le modèle SM Mini Bat<sup>113</sup> (nouvelle version SM Mini Bat2; Figure 7). Les ultrasons enregistrés sur carte mémoire seront ensuite analysés sur un logiciel spécialisé (logiciel Kaleidoscope)<sup>114</sup>.

---

<sup>113</sup> [Song Meter Mini BAT Wildlife Acoustics \(enregistreur ultra-sonore\) \(leclub-biotope.com\)](#)

<sup>114</sup> [Comment réaliser un inventaire de chauves-souris ? - Dervenn](#)

La paramétrisation de la batbox est détaillée en annexe dans le tableau 1 et suit les recommandations usuelles des études de suivis des chauve-souris (Vigie-Nature<sup>115</sup>).



**Figure 6 : Modèle d'enregistreur passif « Song Meter Mini BAT Wildlife Acoustics » pour capter les ultrasons émis par les chiroptères (source: Song Meter Mini BAT Wildlife Acoustics (enregistreur ultra-sonore) (leclub-biotope.com)).**

### *Traitement des données d'enregistrement*

Plusieurs moulinettes et logiciels d'identification existent et sont utilisés en Wallonie. Après comparaison des possibilités sur la fiabilité de l'identification, la facilité d'utilisation et le coût, il a été choisi d'utiliser Kaléidoscope Pro. Les données sont sauvegardées sur des cartes SD en format wav. Ceux-ci sont lus dans la moulinette de Kaleidoscope Pro<sup>116</sup>, permettant d'une part de scinder les fichiers sons en fichiers de 5 secondes et d'autre part de réaliser l'identification automatique des espèces, avec un taux de certitude associé.

Différents paramètres de Kaleidoscope peuvent être réglés de manière à optimiser l'identification automatique.

Un des paramètres concerne la sensibilité pour l'identification. Pour 210 enregistrements, nous avons comparé les 3 modes de sensibilité (conservateur, normal, sensible). De manière surprenante, la paramétrisation dite "sensible", permettant un plus grand nombre d'identification d'espèces, présentait un taux d'erreur plus faible, à savoir 24,3% contre 29,1% pour le mode balanced. La paramétrisation "conservatrice" témoignait d'une trop grande perte d'information et n'a pas été étudiée davantage (voir tableau 2 en annexe). C'est le mode sensible qui a finalement été sélectionné car l'erreur était faible comparativement à l'augmentation du nombre d'identification. En supplément, d'autres réglages sont également ajustables et sont résumés dans l'annexe 3.

---

<sup>115</sup> <https://www.vigienature.fr/fr>

<sup>116</sup> Nous avons utilisé ce logiciel pour son prix avantageux et une efficacité relativement bonne en plus d'être le logiciel prédestiné des modèles d'enregistreurs.

Les sons de 15 secondes issus de l'enregistreur sont segmentés en fichiers de 5 secondes. Un contact consiste en au moins deux pulses (cris) détectés durant ces 5 secondes selon la méthode explicitée par Michel Barataud (Barataud, 2015).

### Traitement de la diversité et de l'activité

L'objectif du traitement de données est la production de deux fichiers, l'un comportant la diversité spécifique par site et par répétition, l'autre faisant état du nombre de contacts par groupe de chiroptères par site et par répétition.

Pour ce deuxième fichier, étant donné l'importante quantité de données, une vérification manuelle de chaque contact n'aurait pas été possible. Nous avons donc opté pour une méthode automatique permettant de filtrer les contacts par groupe d'espèces, comme réalisé dans les EIE. Les espèces ont donc été reprises dans 6 groupes décrits ci-dessous :

- Les **Pipistrelles (PIP)** : pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*), pipistrelle de Nathusius (*Pipistrellus Nathusius*), pipistrelle de Kuhl (*Pipistrellus kuhlii*), pipistrelle pygmée (*Pipistrellus pygmaeus*)
- Les **Sérotules (SER)** comprennent deux groupes parfois difficiles à distinguer : les noctules et sérotines avec la noctule commune (*Nyctalus noctula*), la noctule de Leisler (*Nyctalus Leisleri*), la sérotine commune (*Eptesicus serotinus*), la sérotine bicolor (*Vespertilio murinus*), la sérotine de Nilsson (*Eptesicus nilssonii*) et la grande noctule (*Nyctalus lasiopterus*)
- Les **Murin (MYO)** : le murin de Daubenton (*Myotis daubentonii*), le grand murin (*Myotis myotis*), le murin à moustache (*Myotis mystacinus*), le murin de Brandt (*Myotis brandtii*), le murin de Bechstein (*Myotis bechsteini*), le murin à oreilles échancrées (*Myotis emarginatus*), le murin de Natterer (*Myotis nattereri*), le murin des marais (*Myotis dasycneme*) et le murin d'Alcathoe (*Myotis alcathoe*).
- les **Rhinolophes (RHI)** : le petit rhinolophe (*Rhinolophus hipposideros*), le grand rhinolophe (*Rhinolophus ferrumequinum*).
- les **Oreillards (PLE)** : l'oreillard roux (*Plecotus auritus*), l'oreillard gris (*Plecotus austriacus*).
- les **Barbastelle (BAR)** avec une seule espèce, la barbastelle d'Europe (*Barbastella barbastellus*)

Nous avons ensuite réalisé des régressions logistiques permettant de juger de la fiabilité de Kaléidoscope pour l'identification du groupe de chiroptères associé à chaque contact selon son taux de certitude. Le principe est le même que celui explicité dans la partie relative au traitement des données de l'avifaune sur Birdnet et a également été réalisé en R. Pour 1935 contacts identifiés automatiquement par Kaléidoscope, le groupe de chiroptères est validé manuellement. Cela permet de définir un seuil de confiance sur base des taux de certitude d'identification de Kaleidoscope. Ce travail implique la confirmation ou infirmation de l'identification automatique du logiciel pour une série de taux de certitude donnée, permettant la construction de régressions logistiques pour chaque groupe. Les régressions sont présentées sur les graphiques de la figure 7. En supplément à ces graphes, nous avons également produit un document Excel avec différentes données des modèles des régressions logistiques par tranche

de 10%. Cette complémentarité de méthodes (visuelles et numériques) nous permet une sélection des seuils de confiance de chaque groupe de chiroptères.

Pour le groupe des Sérotules et des Pipistrelles, nous avons défini les seuils suivants, meilleurs rapports entre la perte d'information et le taux d'erreur :

- **Pour les Sérotules** : seuil de confiance fixé à 60% (perte de 51% de l'information; avec un taux d'erreur de 15%)
- **Pour les Pipistrelles** : seuil de confiance fixé à 70% (perte de 43,5% de l'information; avec un taux d'erreur de 13%)

Tous les contacts de Sérotules et Pipistrelles présentant un taux de certitude supérieur au-delà de 60% et 70% respectivement ont donc été comptabilisés.

A la vue des résultats, il apparaît évident que les contacts identifiés automatiquement comme rhinolophes et barbastelles par le logiciel doivent tous être vérifiées manuellement car aucun contact ne s'est avéré être validé. De la même manière, à cause de la rareté des contacts, les enregistrements de Plecotus ont également tous été vérifiés manuellement et ce malgré un taux de certitude fixé à 100% dans Kaleidoscope. Les Murins présentent un résultat inattendu avec une augmentation des erreurs alors que le taux de confiance du logiciel augmente également. Les contacts identifiés par kaléidoscope comme étant des Murins ont donc également tous été vérifiés manuellement.

Le fichier produit permet l'étude de l'activité des chauves-souris sur les parcelles.

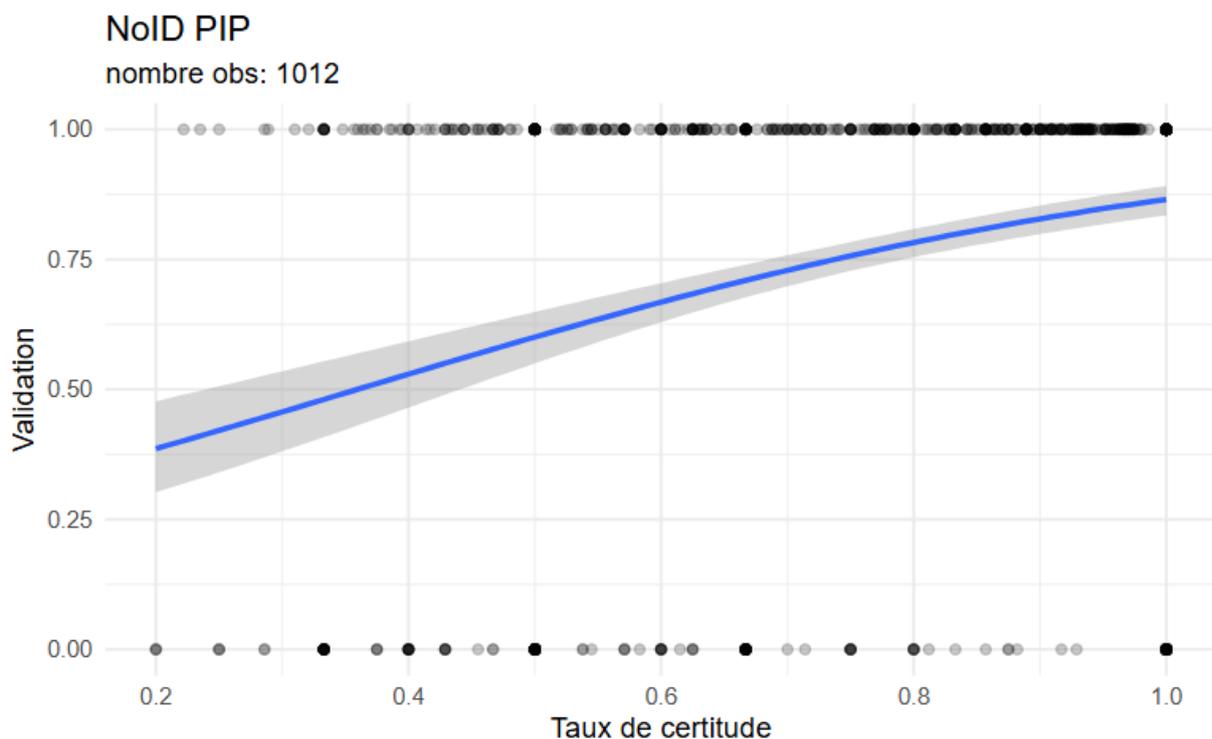


Figure 7 : Courbe de régression pour le groupe des Pipistrelles. « nombre obs » correspond au nombre de validations manuelles réalisées. Les autres régressions sont disponibles à l'annexe A.4

### Traitement de la diversité spécifique

Comme explicité précédemment les contacts identifiés comme Rhinolophes, Barbastelle, Plecotus et Murin ont été systématiquement vérifiés manuellement. Aucun contact de Rhinolophe et Barbastelle n'a été validé. Lorsque cela était possible, les Murins et Plecotus détectés par kaléidoscope ont été identifiés manuellement jusqu'à l'espèce. Pour les Pipistrelles et Sérotules, chaque espèce identifiée automatiquement a été confirmée manuellement.

Les résultats ont été enregistrés en format de présence/absence (1/0) (par site par répétition) et permettent l'étude de la diversité de chauves-souris sur les différentes parcelles.

Le tableau ci-dessous synthétise les informations comparatives des différents protocoles sur l'avifaune et les chiroptères. La comparaison quantitative se trouve dans les résultats.

Tableau 11 : Synthétisation des protocoles utilisés pour l'avifaune et les chiroptères selon l'appréciation qualitative et logistique.

Protocole	Taxon concerné	Efficacité qualitative	Logistique	
			Points positifs	Points négatifs
<b>Point d'Ecoute (PE)</b>	<i>Avifaune</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bonne détection d'espèces chantant peu ou pas</li> <li>Diversité spécifique d'espèces cibles sous-estimée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Temps de travail sur site : faible</li> <li>Temps de traitement des données : faible</li> <li>Coût en matériel : faible (jumelles)</li> <li>Coût global du protocole<sup>117</sup> : faible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Quantité des données : faible</li> <li>Applicable uniquement à certains horaires (matin)</li> </ul>
<b>Transect (TR)</b>	<i>Avifaune</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bonne détection d'espèces chantant peu ou pas et discrètes</li> <li>Diversité spécifique d'espèces cibles bien détectée.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Temps de traitement des données : faible</li> <li>Coût en matériel : faible (jumelles)</li> <li>Coût du protocole<sup>1</sup>: faible à modéré</li> <li>Bonne compréhension de la réalité sur site</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Temps de travail sur site relativement élevé à la taille du site</li> <li>Quantité des données : faible à moyen</li> <li>Applicable uniquement à certains horaires (matin)</li> <li>Dérangement potentiel de la faune</li> </ul>
<b>Batbox+ Birdnet/Kaléidoscope</b>	<i>Avifaune + Chiroptère</i>	Détection des espèces ne chantant pas impossible	<ul style="list-style-type: none"> <li>Temps de travail sur site : faible</li> <li>Quantité de données : Importante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Temps de traitement des données : élevé</li> <li>Coût en matériel : élevé (batbox + logiciel de traitement des enregistrements)</li> </ul>

<sup>117</sup> Cout comprenant le matériel, les ressources humaines à la récolte et au traitement des données

Protocole	Taxon concerné	Efficacité qualitative	Logistique	
			Points positifs	Points négatifs
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualité des enregistrements récoltés : très bonne</li> <li>• Fiabilité du logiciel de traitement des enregistrements Kaléidoscope + validation opérateur : bonne</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Superposition des plages d'enregistrements avifaune et chiroptères impossible</li> <li>• Risque de vol du matériel</li> <li>• Fiabilité du logiciel de traitement des enregistrements Birdnet : modéré</li> <li>• Coût du protocole<sup>1</sup> : élevé (en particulier pour les chiroptères qui nécessite une vérification manuelle)</li> </ul>
<b>MicroUSB + Birdnet</b>	<i>Avifaune</i>	Détection des espèces ne chantant pas impossible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temps de travail sur site : faible</li> <li>• Besoins en matériel : faible (micro et logiciel de traitement peu coûteux)</li> <li>• Coût du protocole<sup>1</sup> : faible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temps de traitement des données : élevé</li> <li>• Quantité de données : variable</li> <li>• Qualité des enregistrements récoltés : médiocre</li> <li>• Fiabilité du matériel (micros) : médiocre</li> <li>• Pas de possibilité de paramétrer les enregistrements</li> <li>• Fiabilité du logiciel de traitement des enregistrements : modéré</li> </ul>

## Micromammifères

Si les micromammifères ne sont pas directement visés par les mesures de compensation, ils constituent une ressource primordiale pour les rapaces ciblés par les mesures, à savoir les Busards cendré, Busard Saint-Martin et Busard des roseaux. La présence des micromammifères témoigne de la potentielle attractivité de la mesure pour ces rapaces et est donc pertinente à étudier. Celle-ci est évaluée selon la densité de micromammifères.

Pour ce faire, la méthode proposée pour mesurer la présence de micromammifères est le comptage de trous. Ce protocole a été réalisé par Siméon Hillewaert, stagiaire chez Faune et Biotopes et avec l'expertise de Vinciane Schockert (DEMna).

Le comptage de trous consiste à compter les galeries de micromammifères sur un transect de 100 mètres composés de 6 points équidistants, chacun de ces derniers ayant un rayon de 1,5 m. Ce transect est réalisé sur les mesures de compensation à la limite entre le couvert enherbé et le couvert nourricier et au travers de sites témoins. Sur les mesures compensatoires, les surfaces de chaque point se retrouvent divisées en trois parties : celle où se trouve le couvert nourricier, celle où l'on retrouve le couvert enherbé et enfin le milieu, correspondant à la limite des deux couverts. Lors du comptage de trous de micromammifères, on distingue les trous bouchés des trous ouverts afin de distinguer les trous occupés et utilisés de ceux abandonnés. Pour les différencier, il faut insérer deux doigts dans une galerie de micromammifères pour vérifier si l'on parvient à toucher le fond. Si oui, le trou est compté comme fermé ; sinon, il est compté comme ouvert. Le protocole de comptage de trous est mis en place sur 8 mesures de compensation (2MC en culture-connectées ; 2 MC en culture-isolées ; 2 MC en diversifié-connectées et 2 MC en diversifié-isolées, voir chapitre suivant pour explication), ainsi que sur 8 sites témoins (champ de céréales moissonnés). Les parcelles concernées (mesures et témoins) sont différentes de celles sélectionnées pour les autres protocoles pour des raisons logistiques. Les relevés ont été effectués de la mi-août jusqu'au début de septembre, période durant laquelle la population de micromammifères atteint son maximum. Cette période implique cependant que certains témoins sélectionnés furent déchaumés ou labourés et ce avant que les deux répétitions y soient effectuées. Dans ce cas, le comptage a tout de même été effectué sur ces parcelles témoins et également sur une bande enherbée longeant les témoins, de manière à maximiser l'obtention de données.

### 3.4 Structuration de l'échantillonnage

Le but de la structuration est d'avoir suffisamment de répétitions pour répondre aux attentes du projet tout en contrôlant un certain nombre de facteurs externes qui peuvent expliquer une plus grande diversité biologique.

## Mesures de compensation

Dans le cadre du projet NoNetLoss, l'attention a été dirigée vers les mesures COA1/COA2.

Les parcelles ont été échantillonnées au nord du Sillon Sambre-Mosan étant donné que la majorité des mesures COA1 et COA2 s'y trouvent (88%) et que la région est relativement homogène.

Comme presque toutes les mesures COA1 sont associées à une mesure COA2, on étudie l'association de ces mesures COA1/COA2 car leur rôle respectif ne peut être dissocié.



Figure 8 : Mesure de compensation COA1/COA2

## Diversité et complexité des paysages

Afin de décrire le paysage aux alentours de chacune des parcelles, une zone tampon standard de 500 mètres autour de ces dernières permet d'identifier leur contexte paysager à l'aide des écotopes<sup>118</sup>.

Au travers d'une ACP (Analyse des Composantes Principales), on constate que deux types de paysages contrastés se distinguent selon l'axe 1 de l'ACP : d'une part les zones homogènes de

---

<sup>118</sup> « En biogéographie, l'**écotope** est le plus petit élément du paysage écologiquement distinct dans un système de cartographie et de classification du paysage. En tant que tel, il représente une unité fonctionnelle de paysage assez homogène, spatialement explicite. Les écotopes sont utiles pour stratifier les paysages en éléments écologiquement distincts, des géotopes dans les biotopes, pour la mesure et la cartographie de la structure, de la fonction et du changement du paysage. » ([Écotope : définition et explications \(aquaportail.com\)](http://aquaportail.com))

plaine agricole (cultures intensives) et d'autre part les zones où l'environnement offre une plus grande hétérogénéité (paysage diversifié). L'analyse du dendrogramme met en évidence un troisième type de paysage intermédiaire. Il pourra être utilisé si nécessaire pour compléter l'échantillonnage des deux groupes ci-dessus mais sera dans un premier temps écarté.

Dendrogramme des groupes de mesures COA1 et COA2 (dissolves)

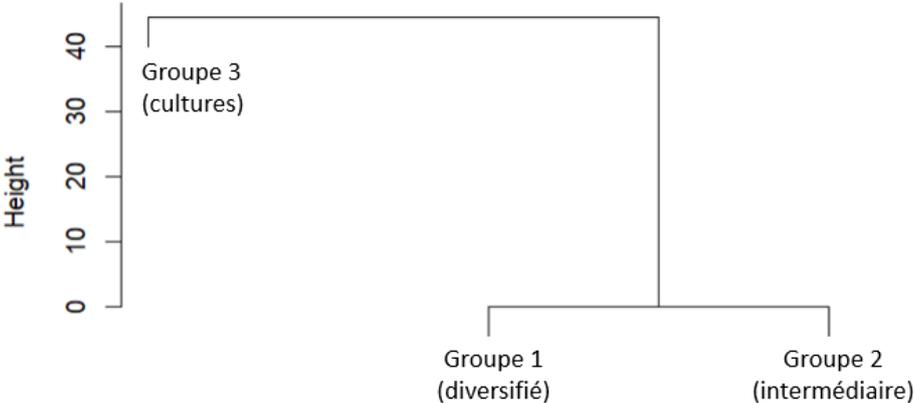


Figure 9 : Dendrogramme obtenu par la méthode de groupement Ward, montrant les trois groupes formés pour l'association COA1/COA2 par les écotopes.

ACP sur les COA1/COA2 selon les écotopes

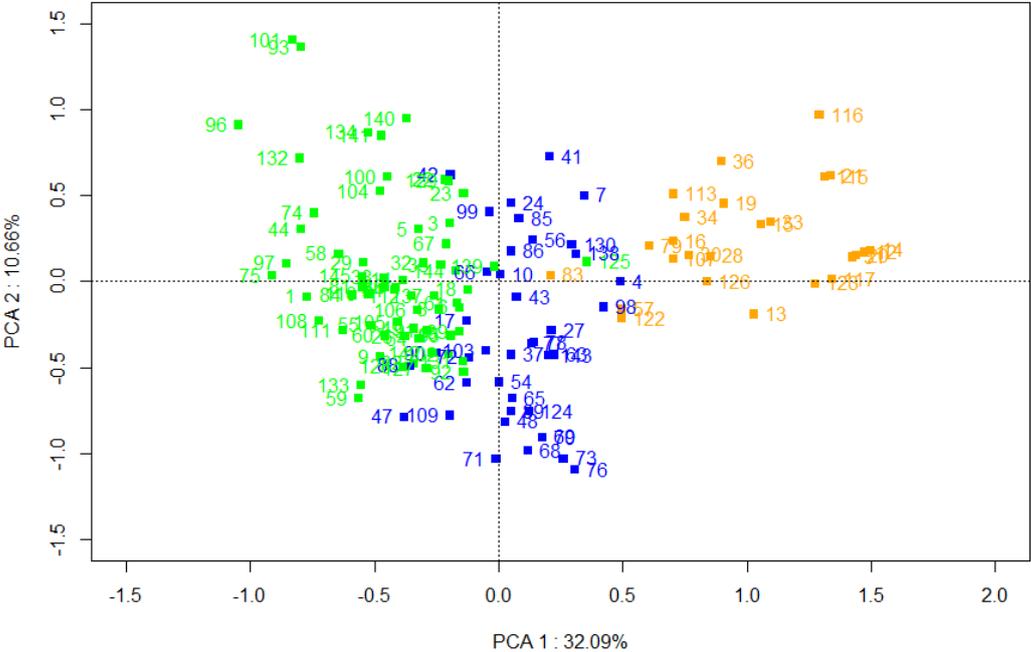
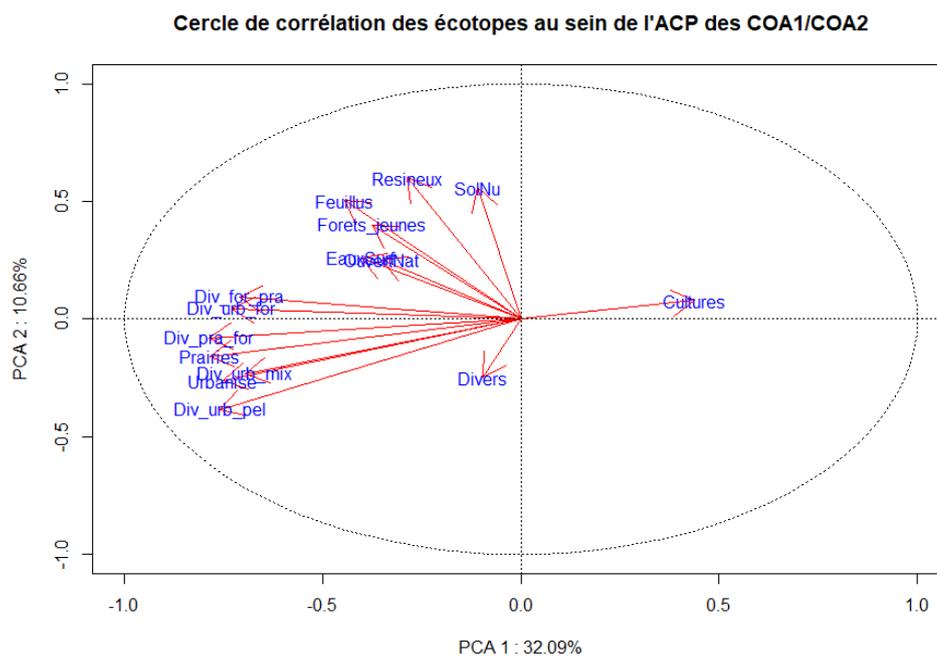


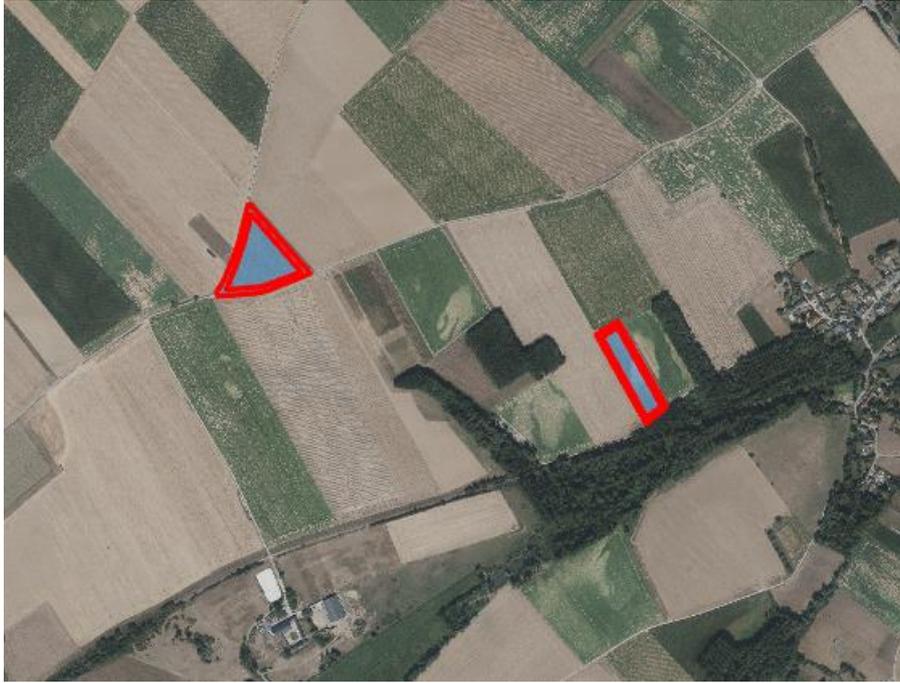
Figure 10 : Graphique produit par l'ACP (dimensions 1 et 2) reprenant les dissolves des parcelles en COA1 et COA2. Ils sont répartis en fonction de la proportion des différents écotopes environnants les parcelles dans un périmètre de 500 m autour de chaque dissolve. Les groupes sont ceux créés par la méthode de groupement euclidienne avec les paysages diversifiés (groupe 1 en vert), des paysages intermédiaires (groupe 2 en bleu) et les paysages de grandes cultures (groupe 3 en orange).



**Figure 11 : Cercle de corrélation repris dans le graphique de l'ACP montrant la répartition des différents écotopes au sein de l'ACP (dimensions 1 et 2). Deux noms d'écotopes se superposent sur le graphique et sont « Eau\_Surf » et « Ouvert\_Nat ».**

L'axe 1 de l'ACP, oppose très clairement les paysages diversifiés à gauche des grandes cultures ou openfields à droite (Figures 9 et 10). Les parcelles se trouvant dans le groupe de droite sont dans un paysage culturel très homogène comme le montre la direction de la variable Culture dans le cercle des corrélations. A gauche, tout un groupe d'écotopes se rassemblent à l'opposé des cultures sur l'axe 1 et sont des écotopes divers hétérogènes comprenant différentes occupations du sol (Div\_for\_pra = divers forêt et prairie ; Div\_urb\_for = divers urbain et forêt ; Div\_urb\_pel = divers urbain pelouse ; Div\_urb\_mix = divers urbain mixte). Les parcelles étudiées sont choisies selon ce gradient de complexité et de diversité du paysage.

Les mesures de compensation seront échantillonnées à part égale entre ces deux types de milieux (voir paragraphe ci-dessous « Stations sélectionnés »).



*Figure 12 : Deux parcelles de compensation COA1/COA2 (à Perwez) avec la parcelle de gauche en contexte paysager de « cultures » et la parcelle de droite en contexte paysager « diversifié ».*

### La connectivité et l'isolement des parcelles

Pour l'analyse de ce facteur, on prend en compte les parcelles COA1/COA2 et les MAEC de type « prairies » (prairies permanentes) et « cultures » (tournières, parcelles aménagées, céréales sur pieds). Ces MAEC (MB2, MC4, MB5, MC7 et MB12) peuvent en effet s'apparenter aux COA1 et COA2 dans le rôle qu'elles jouent pour la biodiversité. Le facteur Isolement permet d'évaluer l'intérêt de parcelles en réseau par rapport à des parcelles isolées.

L'isolement de la parcelle de compensation est défini via la méthode des plus proches distances relatives à d'autres COA1/COA2 et MAEC. Un classement des sites en fonction de leur distance aux COA1/COA2 et MAEC est ensuite réalisé et permet de choisir les sites les plus isolés d'une part et ceux avec une forte connexion d'autre part.

Les mesures de compensation seront échantillonnées à part égale entre ces deux types de connexion (voir paragraphe ci-dessous « Sites sélectionnés »).

### Structure de la parcelle

La taille des parcelles est variable et peut influencer sur l'efficacité du site à rencontrer les résultats attendus pour la biodiversité. Idéalement c'est un paramètre qu'il faudrait également cibler avec une palette de tailles variée. Cependant, cet ajout de variable aurait causé une augmentation de sites à prospecter que nous n'aurions pu évaluer dans les temps. La surface a dès lors été étudiée pour son rôle explicatif potentiel dans les analyses.

Par ailleurs, nous avons donc fait une présélection par laquelle quelques sites (moins de 5%) sont retirés car présentent des formes quelconque, compliquées à mettre en lien avec nos futurs résultats.

## Stations témoins

Dans chaque site, la parcelle de compensation (MC) est pairée à un site témoin (ST). Ce type d'échantillonnage pairé est plus puissant statistiquement qu'une comparaison avec des points aléatoires dans les deux paysages car on intègre et on contrôle de ce fait les variations paysagères ou d'autres facteurs qui peuvent générer des réponses biologiques différentes.

Ces témoins reflètent le contexte paysager dans lequel se situe la parcelle de compensation et seront donc définis comme une parcelle de céréales d'hiver située à environ 500 m de la parcelle de compensation étudiée. Cette distance permet un contrôle des différences entre MC et ST dans un paysage similaire et est suffisamment grande que pour éviter une contamination (double comptage, etc) des observations entre les sites.

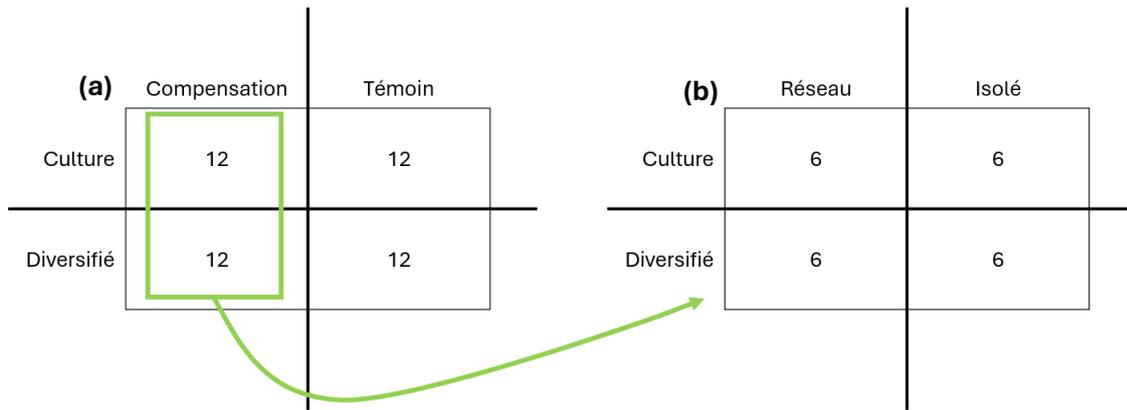
Les sites témoins bénéficient du même effort de prospection que la parcelle de compensation à laquelle ils sont associés afin de travailler à une même intensité pour l'obtention des données (e.g. même probabilité du nombre d'individus enregistrés sur la parcelle).

## Sites sélectionnés

Sur base de ces critères, une sélection de parcelles de compensation est réalisée.

Au départ, le protocole prévoit d'échantillonner 8 à 10 parcelles de compensation (association COA1/COA2) par semaine ainsi que leur site témoin pairé, soit entre 16 et 20 sites par semaine. L'échantillonnage est réalisé sur deux à trois jours en début de semaine. La fin de semaine est consacrée au relevé des enregistreurs, éventuellement aussi à des points d'écoute qui n'auraient pu être réalisés lors de l'échantillonnage (pour raison de météo par exemple).

Si 8 parcelles sont échantillonnées par semaine, cela donne 24 parcelles de compensation (12 en **culture** et 12 en **diversifié**) et les 24 sites témoins pairés (Tableau 3). Outre le paysage, l'isolement des mesures a également été étudié (12 **en réseau** et 12 **isolées**).



**Figure 13 : (a) Nombre total de sites à échantillonner divisé entre le contexte paysager de « culture » et le contexte « diversifié », ceci étant échantillonné d'une part pour les parcelles de compensation et d'autre part pour leur site témoin pairé. (b) Nombre de compensations échantillonnées selon le critère de connectivité "Réseau" vs "Isolé"**

Les parcelles de compensation sélectionnées sont distantes de 500 m les unes des autres afin de minimiser la contamination des données mais peuvent être à moins de 500 mètres d'autres COA1/COA2 non sélectionnées pour l'échantillonnage (information prise en considération via le facteur Isolement).

Les protocoles oiseaux et chiroptères nécessitent trois répétitions (avril, mai, juin) sur les mesures compensatoires et les sites témoins.

Une journée type de terrain avec l'ensemble des protocoles appliqués se déroule alors comme suit : les points d'écoute des oiseaux sont réalisés en priorité, en début de matinée, avec la comparaison avec l'enregistreur acoustique puisque c'est à cette période de la journée que leurs chants sont les plus fréquents. Le transect est ensuite effectué avec observation des oiseaux qui trouveraient refuge dans la parcelle. Finalement, on termine par l'installation des enregistreurs passifs. Trois jours plus tard, les enregistreurs sont récupérés.

On a choisi de structurer l'échantillonnage en fonction de ces extrêmes en faisant **l'hypothèse que le rôle des compensations serait bien plus intéressant pour la biodiversité ciblée et la biodiversité en général dans les paysages simplifiés, dominés par des cultures intensives.**

Les mesures de compensation sélectionnées à la suite du processus d'évaluation sont reprises sur la carte ci-dessous.





*Figure 15 : Répartition des mesures de compensation prospectées pour le protocole micromammifères. Chaque chiffre correspond à un "pack" de mesures visitées lors de la même sortie.*

## Relation entre les critères d'analyse utilisés

Dans chacun des 24 sites, une paire de deux stations avec une station avec des mesures de compensation (MC) et une station témoin (ST) à proximité sont identifiées. Il n'y a qu'un seul site (004) où il n'a pas été possible d'identifier un témoin spécifique. Le témoin le plus proche d'un site dans les mêmes conditions (117ST) est dédoublé pour le remplacer. Cette logique de paires de stations est principe plus efficace qu'un échantillonnage supposé aléatoire pour tenter de contrôler des effets locaux qui n'ont pas été pris en compte.

Suite aux premières analyses descriptives qui ont révélé l'importance de la structure et de la complexité des paysages, l'échantillonnage est structuré sur la base de trois critères qualitatifs :

- Compensation : présence de mesures de compensation (« **MC** ») ou absence (« **ST** »),
- Paysage : présence d'un paysage d'openfields (« **Cultures** ») ou paysages diversifiés (« **Diversifié** »),
- Connectivité : les MC sont isolées (« **Isolé** ») ou en réseau en combinaison avec des MAEC (« **Réseau** »).

La stratification de l'échantillonnage est équilibrée avec chaque fois 6 stations correspondant aux combinaisons des critères Compensation (2 catégories), Paysage (2 catégories) et Connectivité (2 catégories). On a donc bien  $6 \times 2 \times 2 \times 2 = 48$  stations.

Deux autres critères quantitatifs potentiellement intéressants sont ajoutés :

- **Surface** : surface du champ ou des mesures de compensation pour évaluer l'importance de la disponibilité de la ressource,
- **Qualité** : qualité des couverts pour les mesures de compensation après la visite d'un spécialiste avec une évaluation ordinale allant de 1 à 4.

Une analyse descriptive de la distribution des surfaces (Figure 15) montre qu'il y a une forte différence significative des surfaces des stations entre les MC et les ST qui sont beaucoup plus grandes ( $p_{\text{Wilcoxon}} > 0.001$ ). Il n'y a pas de différences significatives pour la structure du paysage et la connectivité.

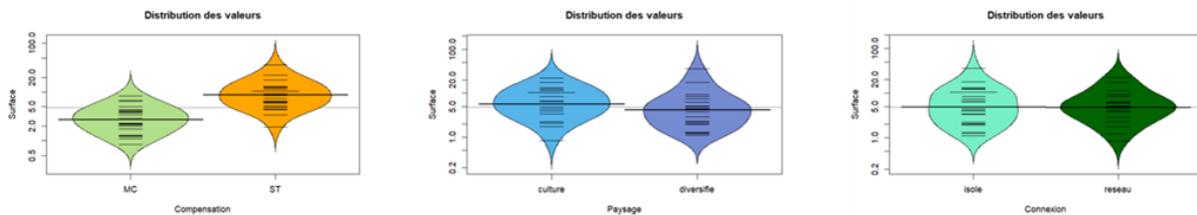


Figure 16 : Distribution des valeurs de surface des stations étudiées en fonction des critères qualitatifs.

Pour la qualité des couverts, on ne dispose d'informations que pour les MC et pour 20 stations. Trois MC n'ont en effet pas été resemées (074 (diversifiée), 093 (diversifiée), 123 (culture)) et on ne dispose pas d'évaluations pour la 111 (diversifiée). La qualité du couvert montre une corrélation négative largement significative avec la date de semis qui sont très en retard cette année à cause des conditions météorologiques (Figure 16).

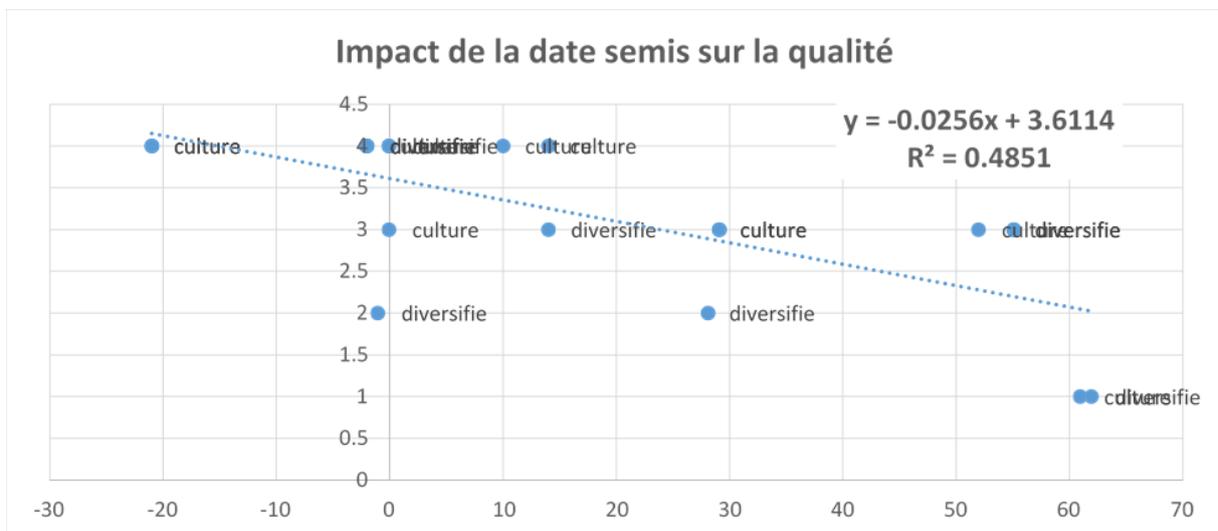
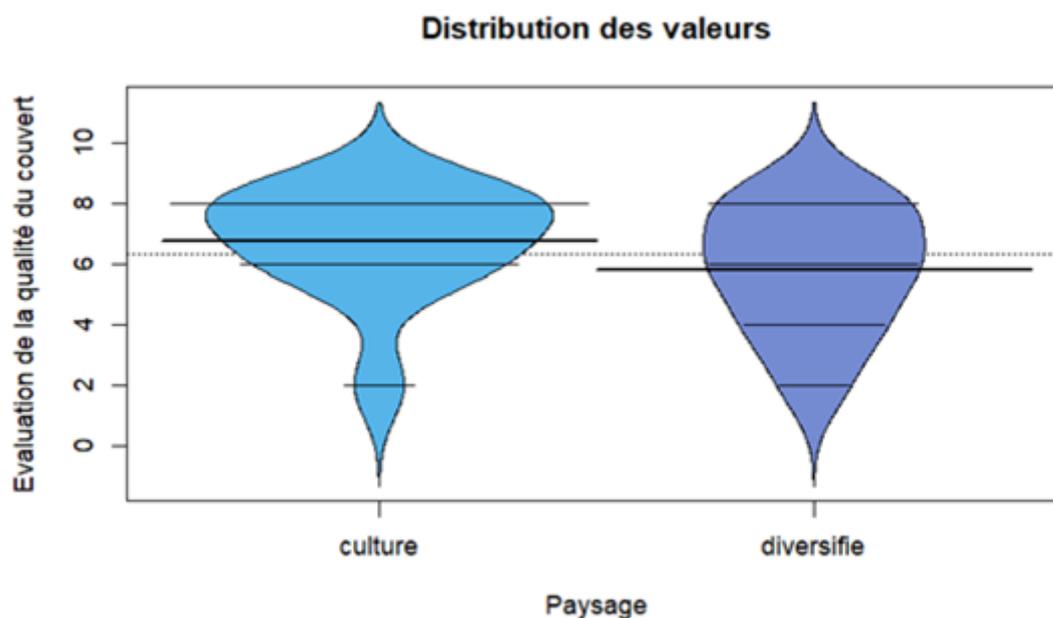


Figure 17 : Relation négative entre la date de semis, exprimée en nombre de jour d'écart par rapport à la date du cahier des charges, et la qualité du couvert sur une échelle de 1 à 4.



*Figure 18 : Evaluation de la qualité des couverts des MC en fonction du type de paysage.*

Une analyse descriptive de la distribution de la qualité du couvert des MC (Figure 17) montre qu'il y a une différence significative entre les paysages diversifiés et les openfields, openfields qui sont de meilleure qualité ( $p_{\text{Wilcoxon}}() = 0.003$ ). Ce critère ne concernant que les MC il ne sera pas pris en compte par la suite mais il est utile pour contribuer à l'interprétation des différences entre paysages d'openfield et diversifiés : les MC sont à priori de bien meilleure qualité dans les openfields.

## 4. Résultats et interprétations

### 4.1 Analyse des Oiseaux

#### Comparaison des 4 systèmes d'inventaire

Comme expliqué dans le chapitre 3 précédent, les oiseaux sont monitorés avec 4 systèmes d'inventaire :

- des **points d'écoute traditionnels** réalisés par des spécialistes qui écoutent ou observent les oiseaux présents pendant 5 minutes,
- des **points d'écoute automatiques** réalisés par un enregistreur de qualité pendant 5 minutes en même temps que les précédents,
- des **enregistrements** pendant 72 heures sur des clés **USB**,
- des **enregistrements** pendant 72 heures sur des "**BirdBox**" de qualité.

Les 47 sites ont tous été inventoriés deux à trois fois pendant la saison de terrain. Les données sont rassemblées en un seul jeu de données pour l'ensemble des relevés effectués.

La qualité des enregistreurs USB s'est révélée problématique avec du matériel non-fonctionnel ou avec des problèmes de batteries ou d'enregistrement des sons ou de récupération des enregistrements. Les enregistrements sur clés USB ont été compliqués à réaliser correctement car les batteries se sont rapidement épuisées et l'installation de batteries complémentaires n'a pas réussi à améliorer la durée, au contraire même. Ces données doivent donc être considérées comme étant incomplètes. Le but était de tester un matériel de bas gamme (15 € pièce, comparé aux BirdBox de près de 300 € quand il n'y a que l'enregistrement des ultrasons (avec supplément pour enregistrer les sons audibles = 800 €)) et dont la fonctionnalité et la qualité est à la hauteur du prix.

Pour évaluer la performance de chacun des 4 systèmes, nous n'avons pris en compte que les espèces-cibles car elles ont fait l'objet d'une analyse détaillée des seuils de confiance pour les systèmes d'enregistrement. Pour chacune de ces espèces, on calcule la proportion des observations obtenues avec chacune des techniques par rapport au nombre total d'observations, toutes techniques confondues.

Sans trop de surprise (Tableau 12), ce sont les BirdBox placées pendant 3 jours qui sont les plus performantes en ce qui concerne le plus grand nombre de détection d'espèces mais uniquement pour les espèces cibles qui vocalisent de manière importante et régulière. Les busards et la caille des blé ne sont pas identifiables sur les enregistrements. Sur le terrain, les transects sont bien plus performants que les points d'écoute de 5 minutes. Ils donnent une vue complète de ce qui est entendu, vu et éventuellement dérangé par le passage.

Les enregistrements de 5 minutes avec les BirdBox sont totalement insuffisants pour capter les activités des espèces plus discrètes. Les clés USB se révèlent aussi très peu efficaces mais de même niveau que les points d'écoute traditionnels sur le terrain.

Les transects sont réalisés sur la longueur des parcelles et ils sont donc de longueur variable entre sites mais identiques pour le couple de parcelles MC et ST pour permettre une comparaison fiable. Ils prennent nettement plus de temps que 5 minutes mais donnent une information de qualité sur la présence des espèces sur le terrain.

Tableau 12 : Niveau de détectabilité des différents systèmes d'inventaires des Oiseaux.

Taxons	Nombre de sites occupés	Protocoles d'inventaires des oiseaux				
		BirdBox 3 jours	Transect terrain	PE 5min BirdBox	PE 5 min terrain	USB 3 jours
Ala_arven	48	100.00	89.58	93.75	87.50	100.00
Cir_cyanu	5	-	80.00	-	20.00	-
Cot_cotur	9	-	77.78	-	55.56	-
Emb_calan	22	100.00	36.36	9.09	27.27	18.18
Emb_citri	32	87.50	46.88	15.63	34.38	37.50
Mot_flava	48	100.00	77.08	25.00	54.17	56.25
Van_vanel	39	97.44	35.90	-	15.38	17.95

Le tableau 13 donne quelques indicateurs généraux du nombre de données générées par les différents systèmes pendant la période d'échantillonnage.

Tableau 13 : Niveau de détectabilité des différents systèmes d'inventaires des Oiseaux. Le nombre d'individus doit être compris comme un nombre de contacts avec des individus en train de chanter ou de voler.

Taxons	Protocoles d'inventaires des oiseaux				
	BirdBox 3 jours	Transect terrain	PE 5min BirdBox	PE 5 min terrain	USB 3 jours
Nombre de données	665 058	1 590	4 885	987	63 294
Nombre d'individus	2 060 467	2 829	4 885	1 446	63 294
Nombre moyen d'espèces	17.25	7.56	1.97	5.28	5.24

Comme attendu, et vu la qualité aussi des enregistrements réalisés avec les BirdBox et la large diversité des observations, **on analysera par la suite uniquement le jeu de données des Birdbox en détail.**

### Rappel du protocole mis en place et de l'analyse des sons

Dans chacune des 47 stations, on utilise un enregistreur automatique des sons qui est mis en place pendant environ 72 heures consécutives. Pour les oiseaux, en mode « BirdBox », il fonctionne de 30 minutes après le lever du soleil jusqu'à 30 minutes avant son coucher. Comme on ne dispose que de 16 enregistreurs, ils doivent être déplacés d'une station à l'autre de manière à les échantillonner au moins à deux reprises.

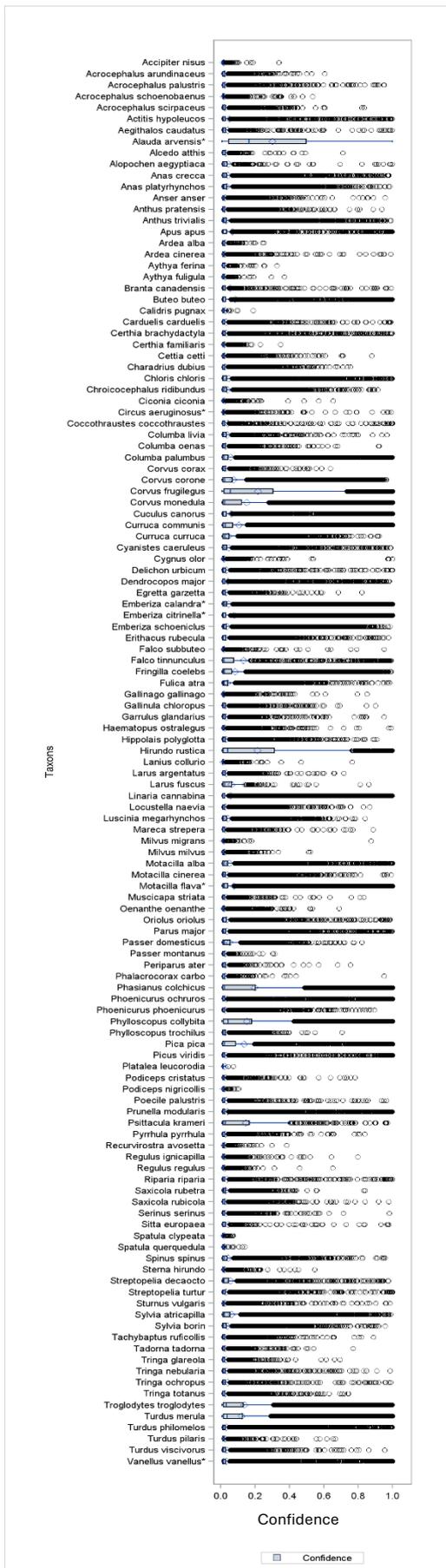


Figure 19 : Distribution des valeurs de confiance brute obtenue à partir des enregistrements pour les oiseaux enregistrés pendant la répétition 2 (12 millions d'enregistrements de 3 secondes !). Les distributions montrent que le niveau de confiance est généralement assez faible.

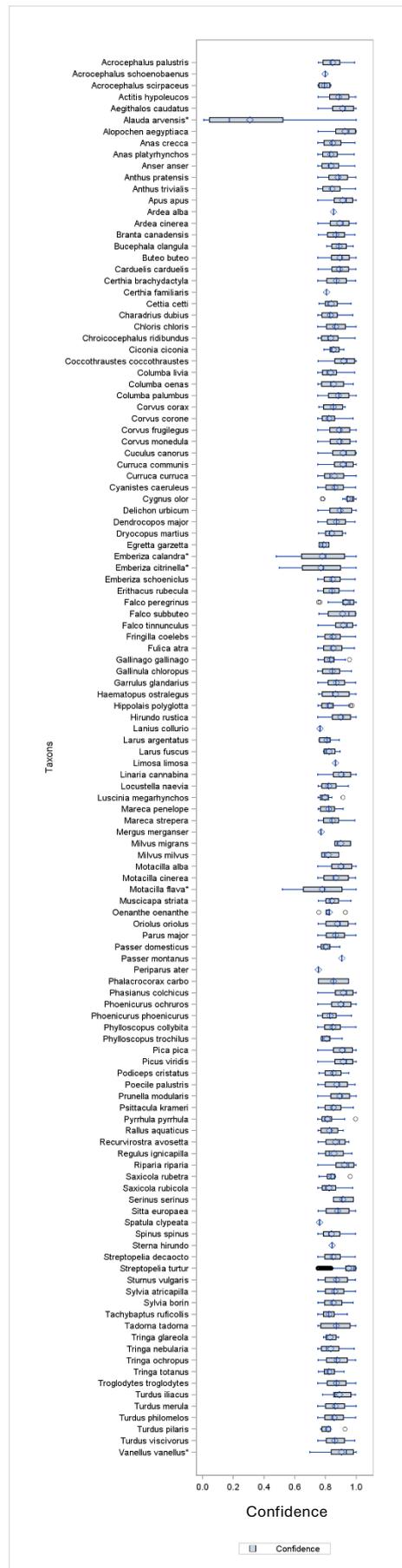


Figure 20 : Profil de distribution des valeurs pour les 122 espèces identifiées. On ne conserve que les observations les plus sûres (>75%) sauf pour les espèces cibles où on a construit des courbes de réponse pour valider des seuils plus fins.

Les sons enregistrés sont ensuite récupérés et analysés par le logiciel Birdnet qui les découpe en séquence de 3 secondes et propose une identification avec un pourcentage de confiance qui varie entre 0 et 100%. Le jeu de données complet produit représente plus de 20 millions de lignes de données (Figure 19).

Le jeu de données mobilisé compte 122 espèces identifiées par BirdNet avec un niveau de confiance suffisant (> 75%) sauf pour les 6 espèces cibles où le seuil dépend d'une analyse spécifique de comparaison des sons enregistrés et des résultats pour définir un seuil cohérent qui est bien plus bas. Une des espèces cibles identifiées est supprimée car tous les sons se sont avérés ne pas correspondre aux chants/cris de l'espèce (Busard des roseaux). Ce jeu de données représente plus de 2 millions de lignes.

Les données de base sont des enregistrements réalisés toutes les 3 secondes. De manière à limiter les différences de comportement des espèces, avec des espèces chantantes plus ou moins longtemps, les enregistrements de 3 secondes sont synthétisés en périodes de 5 minutes, comme pour les points d'écoute. Le nombre d'occurrences (i.e. nombre de périodes de 5 min. au cours desquelles l'espèce a été détectée) sur les 72 heures est utilisé pour évaluer leur fréquence d'activité.

Toutes les espèces qui passent et qui chantent sont enregistrées. Beaucoup d'espèces enregistrées et identifiées ont des occurrences faibles et ne sont pas écologiquement liées aux milieux étudiés. Comme le but du projet est de révéler des facteurs explicatifs de fond récurrents, on élimine d'abord des espèces trop rares ou associées à des conditions locales qui perturbent la réponse globale.

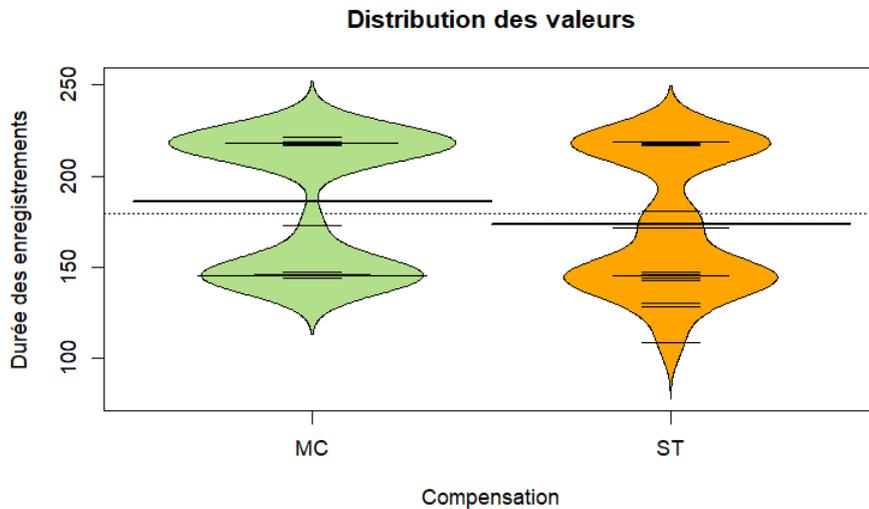
Pour l'analyse de base, **on sélectionne les espèces :**

- dont **les abondances relatives dans une station ne dépassent pas 50%**, pour éviter des effets très locaux,
- qui sont **au moins présentes dans 5 des 48 stations**, pour éviter des effets locaux ou d'espèces rares,
- qui ont **au moins été au total enregistrées dans 50 périodes de 5 minutes**, pour éviter des espèces rares.

On élimine ainsi près de la moitié des espèces pour sélectionner 63 espèces répondant à ces critères, dont les 5 espèces cibles enregistrées dans les données : l'alouette des champs, les deux bruants, la bergeronnette printanière et le vanneau huppé. Parmi les espèces éliminées, on observe de nombreuses espèces de milieux très humides et de plans d'eau, qui sont généralement assez bruyantes et avec des cris caractéristiques, qui ne sont pas des espèces caractéristiques des paysages culturels étudiés.

Comme tous les sites ne pouvaient être équipés en même temps et qu'il fallait déplacer les micros d'un site à l'autre, de manière à gommer les effets liés aux conditions climatiques, les différents relevés effectués pendant les 3 périodes sont regroupés. Comme il n'a pas été possible

de faire partout 3 relevés et que tous les micros n'ont pas toujours fonctionné correctement, les durées totales sont différentes d'un site à l'autre.



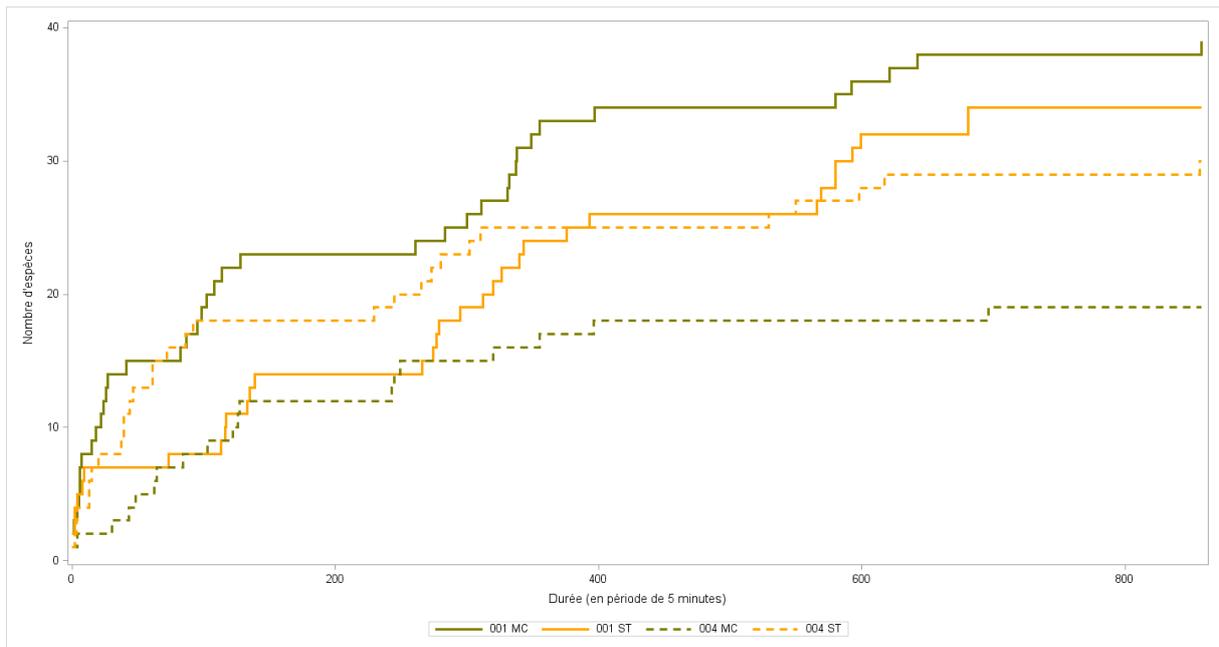
**Figure 21 : Profil de distribution des durées d'enregistrement pour les 48 stations. Toutes ont pratiquement été échantillonnées pendant deux fois 72 heures et 26 l'ont été pendant trois fois 72 heures.**

Il y a 14 stations MC inventoriées sur 3 sessions de 72 heures par rapport à 12 stations ST ce qui reste très similaires et il n'y a quasi aucune différence de durée entre les paires de MC et de ST (Figure 21). Les données sont donc standardisées en fonction de la durée totale des enregistrements pour être ramenées à 3 x 72 heures. Cette transformation, qui vise à conserver le plus possible les données récoltées, ne devrait pas avoir d'impacts majeurs en termes d'occurrences des espèces ou sur les indices de diversité vu la qualité de l'échantillonnage.

### Qualité de l'échantillonnage

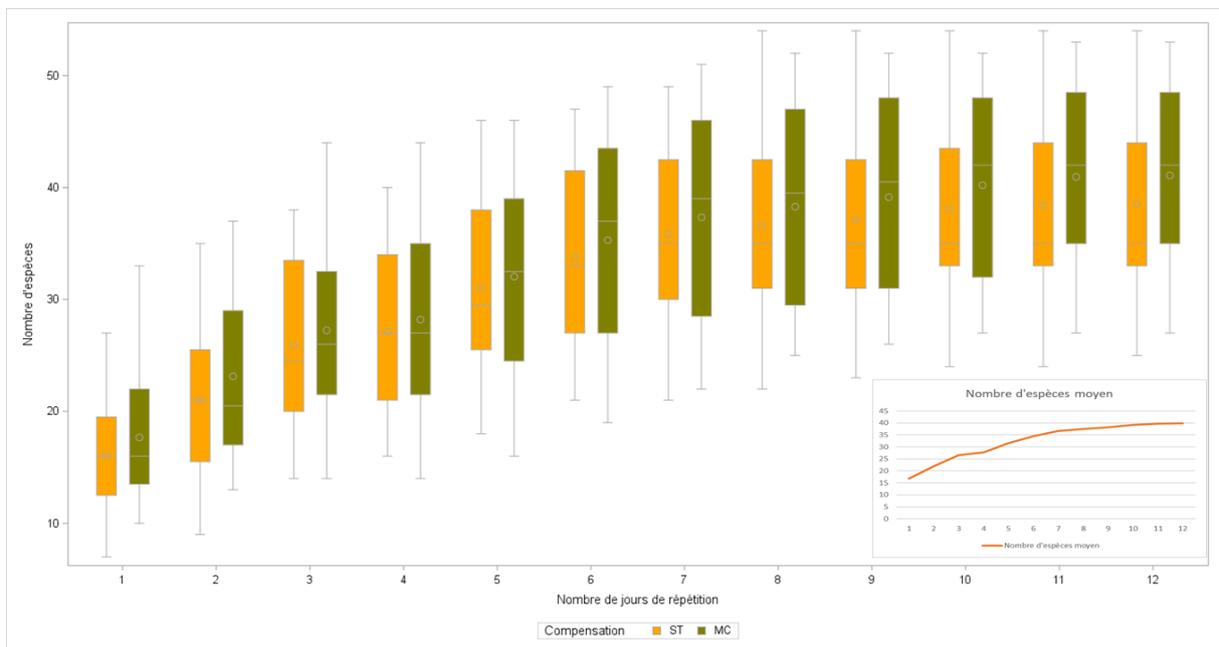
Avant de commencer l'analyse du tableau d'occurrences des 63 espèces dans les 48 stations, il est toujours intéressant d'évaluer la qualité de l'échantillonnage et dans quelle mesure on observe une certaine saturation de l'information, c'est-à-dire qu'on a de bonnes raisons de croire que l'intensité de l'échantillonnage a bien capté la variabilité biologique.

Une première approche est l'analyse de l'évolution de la courbe d'accumulation des espèces enregistrées pendant 72 heures. Cette durée couvre en effet 3 journées où les oiseaux sont actifs et enregistrés à partir d'une demi-heure après le lever du soleil et une demi-heure avant son coucher.



**Figure 22 : Évolution du nombre d'espèces dans les 2 paires des stations 001 et 004. La durée est exprimée en nombre de période de 5 minutes par rapport au début de l'enregistrement**

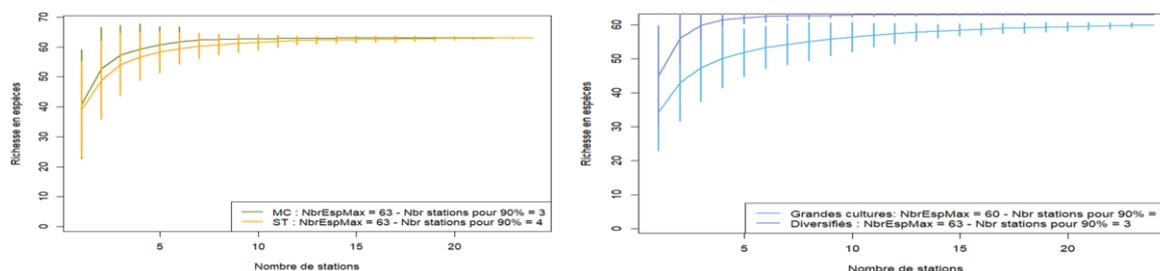
Comme le montre la Figure 22, l'évolution est assez rapide la première journée, la seconde journée apporte encore des espèces tandis que la troisième en apporte peu.



**Figure 23 : Évolution du nombre d'espèces au fur et à mesure du nombre de jours d'inventaire. On observe déjà une différence entre les stations MC et ST avec ces dernières un peu moins riches.**

Une seconde approche est l'analyse de l'évolution de la courbe d'accumulation des espèces enregistrées pendant l'ensemble des trois répétitions. La Figure 23 montre bien une certaine stabilité à partir d'au moins deux relevés de 72 heures (6 jours). Dès le 1er jour, on capte 46% des espèces, 66% après le premier relevé de 72 heures et plus de 90% après le second relevé.

Une troisième approche d'analyse de la qualité de l'échantillonnage est de vérifier à partir de quand le nombre de stations pour les différents critères de compensation, de type de paysage et de connectivité est suffisant pour capter la diversité alpha moyenne des différentes catégories de ces critères.



- La qualité de l'échantillonnage est très correcte puisque 3 à 7 stations suffisent pour atteindre 90% de la richesse totale
- Uniquement une différence de richesse significative pour les deux types de paysages

**Figure 24 : Courbe cumulative du nombre d'espèces en fonction du nombre de répétitions avec l'intervalle de confiance. Pour qu'il y ait des différences significatives entre deux courbes, elles ne doivent pas se superposer.**

Très clairement, il faut de 3 à 7 stations pour atteindre 90% de la richesse totale (Figure 24). Suite aux critères de sélection appliqués, plus de 60 espèces sont observées dans les 6 catégories sauf dans les paysages de grandes cultures où le nombre d'espèces est largement significativement plus faible que dans les paysages diversifiés.

## Stratégie d'analyse de la diversité $\alpha$

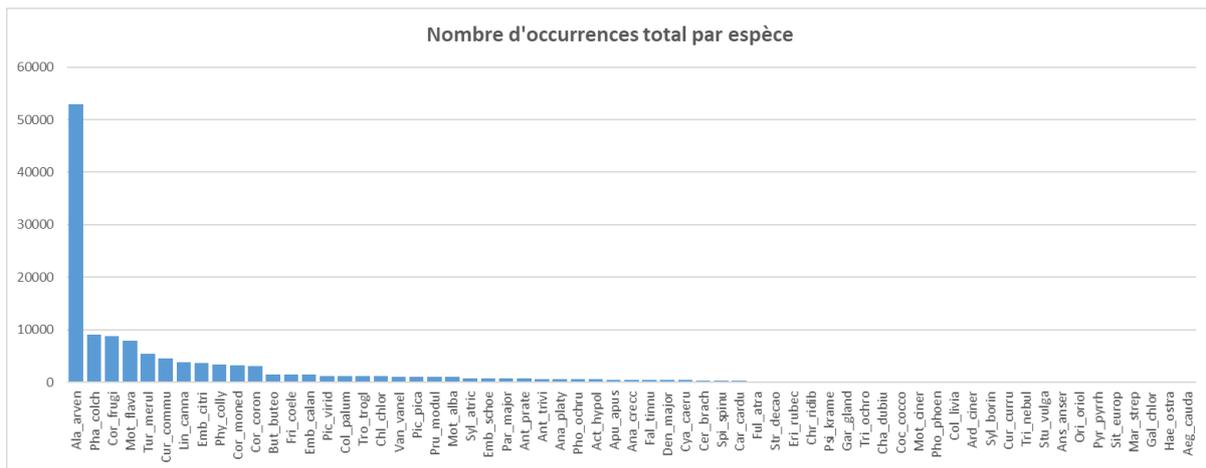
Les analyses réalisées vont d'abord analyser la **diversité  $\alpha$**  des stations avec différents indices de diversité pour voir le rôle des compensations, du type de paysage et de la connectivité ainsi que de leurs interactions.

Pour ce faire, on utilise 5 indices :

- le **nombre d'espèces** = le nombre d'espèces observées dans chaque station (y compris les alouettes),
- le **nombre d'occurrences des oiseaux retenus** qui évalue leur activité (sans les alouettes),
- l'**indice de Berger-Parker** = simplement l'abondance relative de l'espèce la plus abondante (sans les alouettes),

- l'**indice de Shannon classique** = - la somme des produits des abondances relatives \* log des abondances relatives (sans les alouettes),
- l'**indice de Simpson** = 1 - somme du carré des abondances relatives (sans les alouettes).

Ces 5 indices sont complémentaires dans leur manière d'appréhender les deux composantes principales de la notion de diversité que sont le nombre d'espèces et la manière dont les fréquences des espèces se répartissent plus ou moins équitablement.



**Figure 25 : Distribution des sommes des occurrences par espèce. Les alouettes étant très actives et avec un cri très clair et entendu de loin, elles dominent très largement (> 40% des occurrences).**

Comme l'alouette domine très largement dans les enregistrements (41%), et ce malgré la transformation en séquence de 5 minutes (où elles représentaient 86% des chants !), elles sont ignorées pour les calculs d'abondance relative et les indices qui en dépendent (Figure 25).

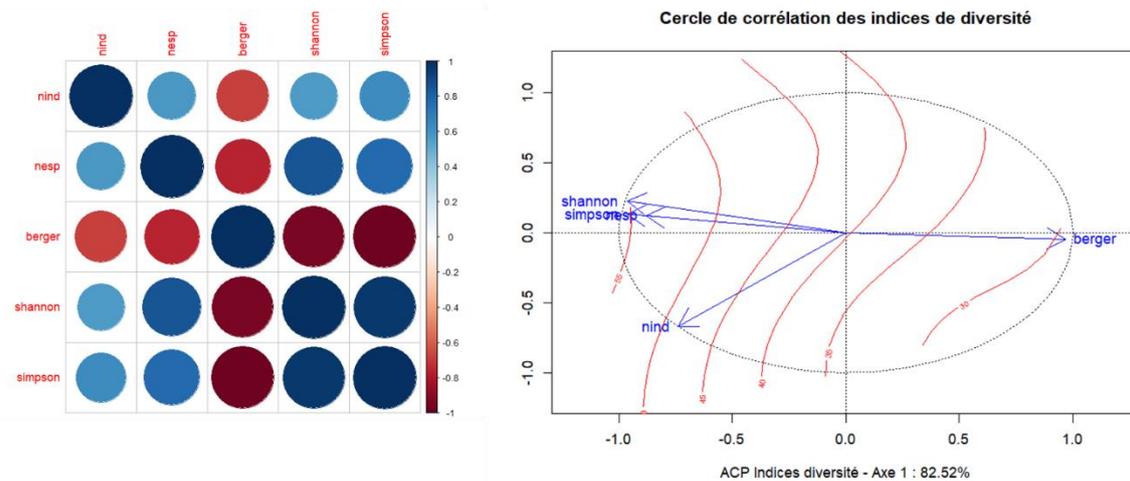
### Approche multivariée de l'analyse de la diversité $\alpha$

La meilleure manière de visualiser les relations entre les indices de diversité est de visualiser leurs corrélations avec une analyse en composantes principales (ACP). La Figure 26 montre que les 5 indices de diversité sont fortement corrélés les uns aux autres avec l'indice de Berger-Parker qui l'est de manière négative par rapport aux quatre autres : plus il augmente, plus les autres diminuent logiquement.

Le premier axe de l'ACP explique plus de 80% de la variance commune aux différents indices avec les stations les plus riches à gauche et les plus pauvres à droite. La variable « Nind » qui représente le nombre d'occurrences montre une assez forte originalité sur le second axe principal. Cette analyse permet de limiter les analyses réalisées aux deux indices de base que sont le nombre d'espèces et le nombre d'occurrences qui résument toute la variance (= l'information).

La Figure 27 montre les résultats de l'ACP pour les différences d'indices de diversité entre les stations. On sait grâce au cercle des corrélations que les stations les plus riches sont à gauche et les plus pauvres sont à droite. Si des stations sont proches l'une de l'autre, c'est parce qu'elles

partagent des valeurs proches d'indices de diversité  $\alpha$ . Plus elles sont éloignées, plus elles sont différentes.



**Figure 26 : Analyse des corrélations entre les indices de diversité (à gauche) et visualisation sur le cercle des corrélations (à droite) d'une ACP. Les courbes en rouge correspondent à une modélisation du nombre d'espèces.**

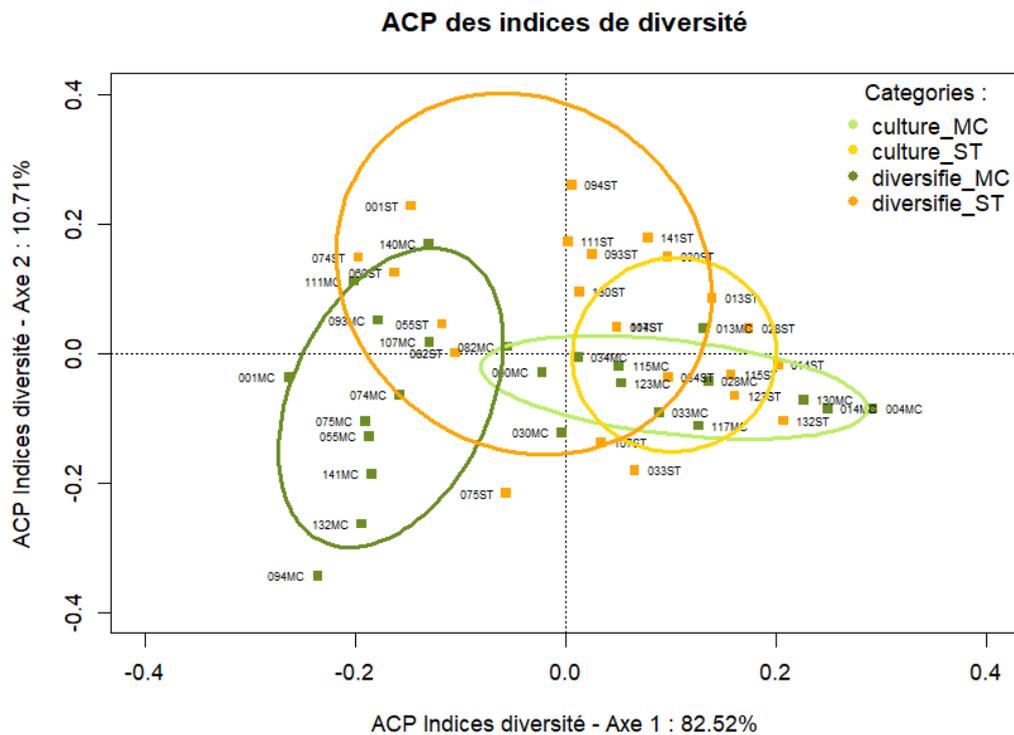
La figure 27 et le tableau 14 montre très clairement que les paysages diversifiés sont bien plus riches en espèces et en occurrences que les paysages de grandes cultures, avec une différence assez nette au sein des paysages diversifiés entre les stations MC et ST (différence qui n'est pas observée dans les paysages simplifiés de grandes cultures). Les stations MC dans les paysages diversifiés (ellipse vert foncé) montrent des occurrences bien plus élevées que dans les stations ST.

Pour évaluer statistiquement le rôle des critères de l'échantillonnage (Compensation, Paysage), on peut utiliser des méthodes d'analyses multivariées sous contraintes qui testent dans quelle mesure un critère ou une combinaison de critères peut expliquer des corrélations communes des indices de diversité  $\alpha$ . L'analyse adaptée dans ce cas est l'analyse des redondances (RDA en anglais).

Le tableau 14 synthétise les résultats du rôle des compensations et du paysage. La présence de compensation et, surtout, la complexité du paysage expliquent la variance des indices de diversité. La présence de MC agit essentiellement sur l'activité des oiseaux mesurée à travers le nombre d'occurrences alors que la complexité et la diversité du paysage expliquent le nombre d'espèces présentes et les autres indices de diversité associés.

**Tableau 14 : Synthèse de l'évaluation du rôle des compensations + Paysage sur les indices de diversité. Les critères de compensation et, surtout, le type de paysage expliquent la variance des indices de diversité. C'est essentiellement le nombre d'occurrences (Nind) qui est expliqué par la présence de MC alors que les autres indices le sont par la complexité et la diversité du paysage.**

Modèle testé	%variance expliquée	P()	%variance expliquée par indice				
			Nind	Nesp	Berger	Shannon	Simpson
diversite ~ Compensation	5.90%	0.0778	19.76	2.7	3.91	1.71	1.43
diversite ~ Paysage	42.53%	0.0001	16.28	49.17	47.77	53.89	45.53



*Figure 27 : Représentation des différences d'indices de diversité entre les stations. On a ajouté des ellipses de dispersion (70%) pour les catégories croisées des compensations et des types de paysage.*

### Approche univariée de l'analyse de la diversité $\alpha$

Les résultats de l'analyse multivariée montrent déjà des éléments assez clairs sur le rôle important de la complexité du paysage mais aussi de celui moins important, mais significatif, de la présence de MC.

Pour affiner cette analyse globale, on développe une approche univariée traditionnelle qui va concerner les deux indices de diversité pertinents révélés par l'ACP. Pour ce faire, on va simplement utiliser l'analyse de la variance pour les deux catégories de chaque critère avec des tests paramétriques et non paramétriques classiques pour des variables quantitatives continues.

En principe, les règles à suivre sont les suivantes :

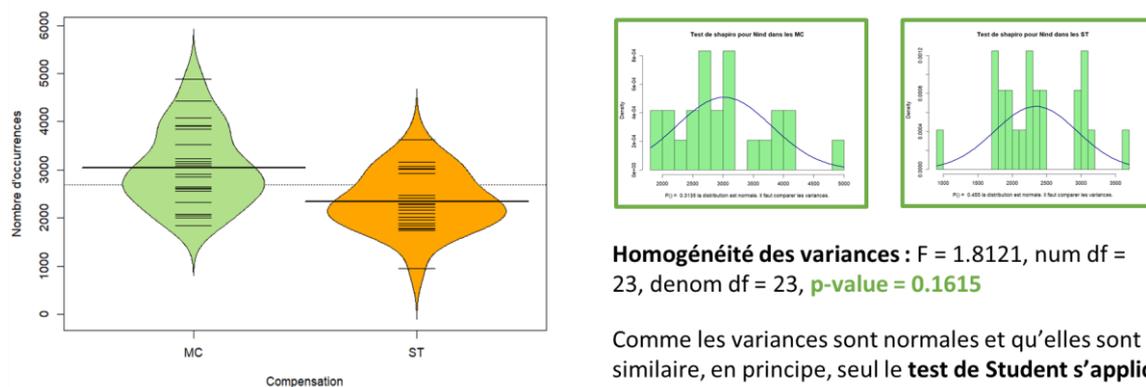
On évalue d'abord **si les échantillons suivent une distribution normale** avec des tests de normalité de Shapiro-Wilk.

- Si **Oui** : Si les deux échantillons ont des distributions normales, On évalue **si les variances des deux échantillons sont similaires** avec un test de **Fisher-Snedecor**.
  - Si **Oui** : on fait un test paramétrique de **Student**
  - Si **Non** : on fait un test paramétrique de **Welsh**

- Si **Non** : On fait un test non-paramétrique de **Wilcoxon-Mann-Whitney**.

Comme on dispose d'un échantillonnage pairé, on ajoute à ces tests non-pairés leurs variantes pairées en principe plus puissante pour contrôler des effets locaux qui nous auraient échappés.

Pour le **nombre d'occurrences**, la Figure 28 détaille le processus d'analyse avec les différentes étapes qui permettent de sélectionner le test le plus justifié. Dans le cas présent, comme les distributions sont normales et que les variances sont similaires, c'est le test de Student qui montre un **effet largement significatif de la présence de mesures de compensation**.



- **test de Student non pairé :**  $p() = 0.0016$  les deux échantillons sont différents :  $MC \gg ST$ .
- **test de Wilcoxon non pairé :**  $p() = 0.0027$  les deux échantillons sont différents :  $MC \gg ST$ .

Figure 28 : Exemple du processus d'analyse réalisé pour sélectionner le test le plus judicieux pour l'indice d'activités exprimé par le nombre d'occurrences.

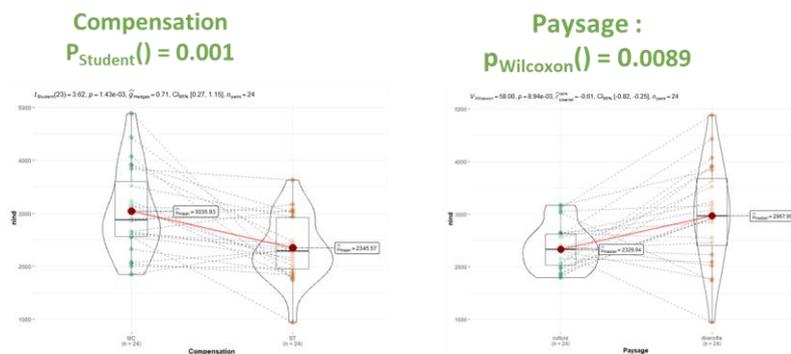


Figure 29 : Résultats des tests appariés pour évaluer l'effet des compensations et du type de paysage.

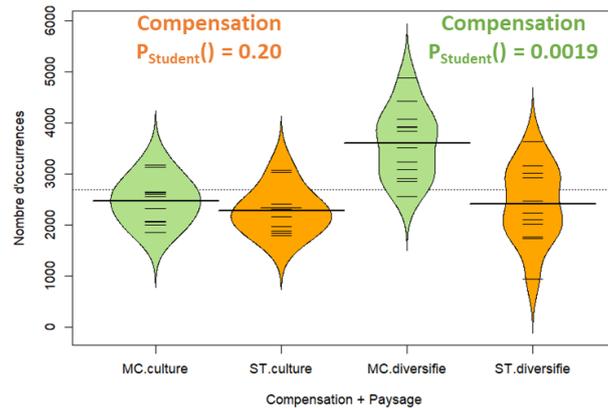
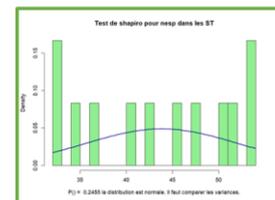
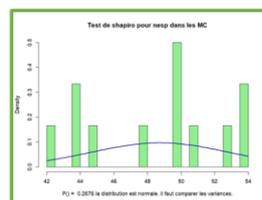
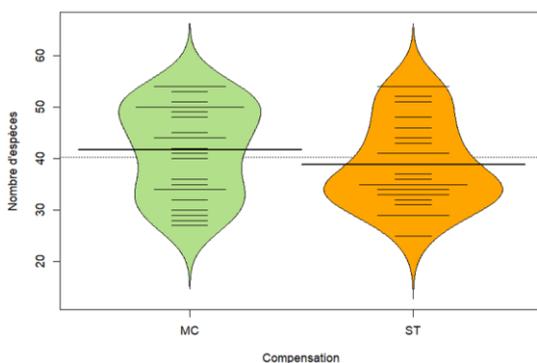


Figure 30 : Résultats des tests pairés pour évaluer l'effet des compensations dans chacun des deux types de paysage

Cet effet de la compensation sur **l'activité des oiseaux** est largement confirmé par les tests pairés (Figure 29). On observe aussi un effet du type de paysages avec plus d'activité dans les paysages diversifiés. Par contre, la Figure 30 révèle que **l'effet des mesures de compensation est surtout observé dans les paysages diversifiés et pas dans les grandes cultures.**

Pour le **nombre d'espèces**, la Figure 31 détaille le processus d'analyse avec les différentes étapes qui permettent de sélectionner le test le plus justifié. Dans le cas présent, comme les distributions sont normales et que les variances sont similaires, c'est le test de Welch qui doit être appliqué et qui montre **un effet significatif mais limité de la présence de mesures de compensation.**



**Homogénéité des variances : F = 0.2552, num df = 11, denom df = 11, p-value = 0.03254**

Comme les variances sont normales mais qu'elles sont différentes, en principe, on doit appliquer un test paramétrique comme le **test de Welch**

- test de Welch non pairé :  $p() = 0.0816$  les deux échantillons sont différents : MC > ST.
- test de Wilcoxon non pairé :  $p() = 0.2821$  les deux échantillons ne sont différents : MC = ST.

Figure 31 : Exemple du processus d'analyse réalisé pour sélectionner le test le plus judicieux pour l'indice de richesse en espèces.

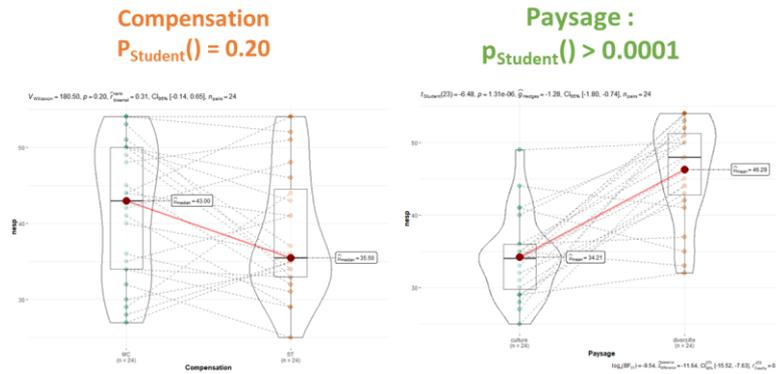


Figure 32 : Résultats des tests appariés pour évaluer l'effet des compensations et du type de paysage.

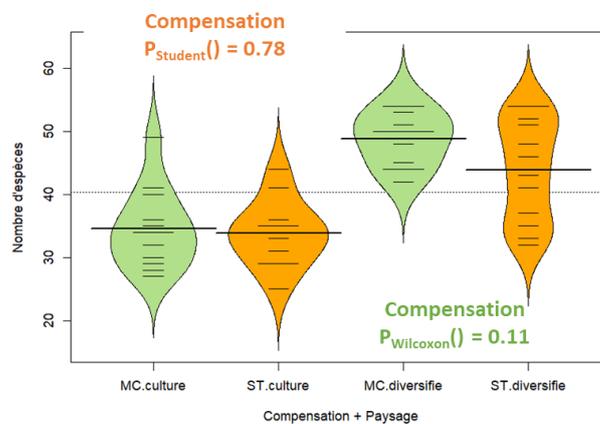


Figure 33 : Résultats des tests appariés pour évaluer l'effet des compensations dans chacun des deux types de paysage.

Cet effet de la compensation sur le nombre d'espèces d'oiseaux n'est pas confirmé par les tests appariés (Figure 32). On observe cependant un effet très net du type de paysages avec plus d'espèces dans les paysages diversifiés. Par contre, la Figure 33 révèle que **l'effet des mesures de compensation sont surtout observées dans les paysages diversifiés et pas dans les grandes cultures.**

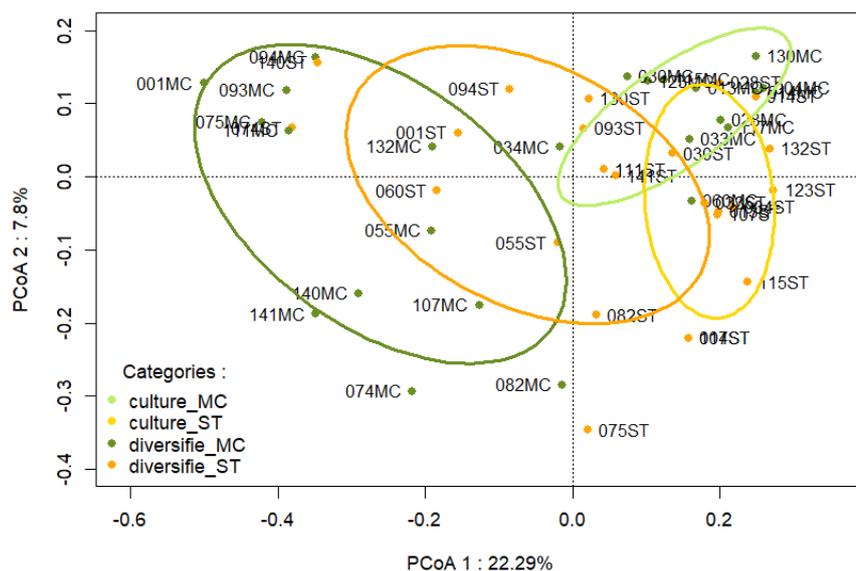
### Stratégie d'analyse de la diversité $\beta$

Avec l'analyse de la diversité  $\alpha$ , on cherche à comprendre les différences de richesse en espèces et de composition des assemblages d'espèces à l'échelle des stations en fonction des critères étudiés. Avec l'analyse de la diversité  $\beta$ , on analyse les différences de composition des assemblages d'espèces entre les stations. En effet, des stations peuvent montrer des richesses et des compositions similaires mais être caractérisées par des espèces différentes.

Les étapes de cette analyse sont les suivantes :

- on calcule **une matrice de distance de Bray-Curtis** entre les stations, adaptée aux données de fréquence, pour évaluer les différences de composition des assemblages d'espèces,
- on réalise avec cette matrice de distance, d'abord une **Analyse en Coordonnées Principales** pour cartographier les distances entre les stations,
- on réalise ensuite un **groupement de WARD** avec cette matrice de distance,
- on réalise une analyse des **espèces indicatrices** des différentes typologies étudiées,
- et on termine par une **analyse multivariée contrainte** (CAP, similaire à la RDA utilisée pour la diversité  $\alpha$ ) pour évaluer l'importance des critères (compensation, paysages).

L'analyse en coordonnées principales (ACoP) montre sur la Figure 34 un premier axe très important (22% de variance expliquée) qui oppose les paysages diversifiés et les paysages de grandes cultures. Et au sein des paysages diversifiés, les stations avec des MC se distinguent bien des stations ST, démontrant ainsi leur originalité. Les ellipses à 60% des paysages diversifiés sont bien plus grandes que celles des grandes cultures montrant ainsi leur plus grande diversité de composition des assemblages d'espèces.



**Figure 34 : Ordination en coordonnées principales des différences de composition des assemblages d'espèces. L'axe 1 montre bien la séparation entre les paysages diversifiés à gauche et les grandes cultures à droite, avec un effet très net des mesures de compensation dans les paysages diversifiés qui démontrent l'originalité des assemblages.**

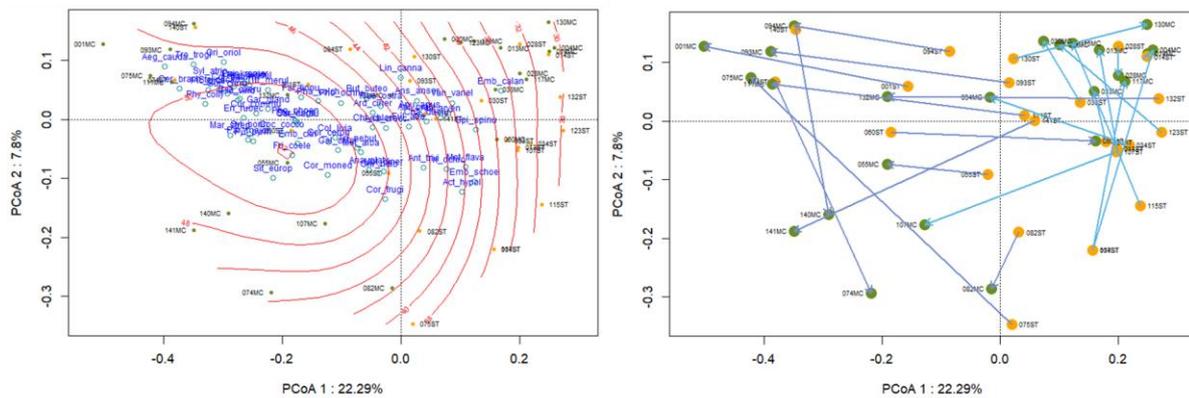


Figure 35 : A gauche, projection des espèces et de la richesse en espèce (isolignes) sur le premier plan factoriel de l'ACoP. A droite, visualisation des paires de stations pour montrer l'effet de la présence de MC.

Les différences de composition se révèlent bien sur la partie gauche de la Figure 35, avec de nombreuses espèces positionnées dans les stations des paysages diversifiés et une bien plus grande richesse en espèces. Tout à droite de ce graphique, on retrouve les espèces typiques des grandes cultures comme le bruant proyer (*Emb\_calan*), le vanneau (*Van\_vanel*) ou la bergeronnette printanière (*Mot\_flav*).

Sur le graphique de droite, on voit bien l'effet très net des MC dans les paysages diversifiés avec des flèches horizontales qui montrent une évolution de la composition des assemblages d'espèces avec plus d'espèces. Par contre dans les paysages de grandes cultures, on a plutôt des flèches qui montent légèrement sur l'axe 2, montrant un changement de composition avec peu d'espèces associées aux MC (sauf peut-être le bruant proyer) mais aussi des espèces moins présentes dans les MC, comme la bergeronnette printanière (*Mot\_flava*), le bruant des roseaux (*Emb\_schoe*) ou le chevalier guignette (*Act\_hypol*).

L'analyse de groupement confirme l'importance du paysage par rapport à la présence de MC (Figure 36) et qu'il est bien nécessaire de considérer l'effet des MC de manière indépendante dans les deux paysages.

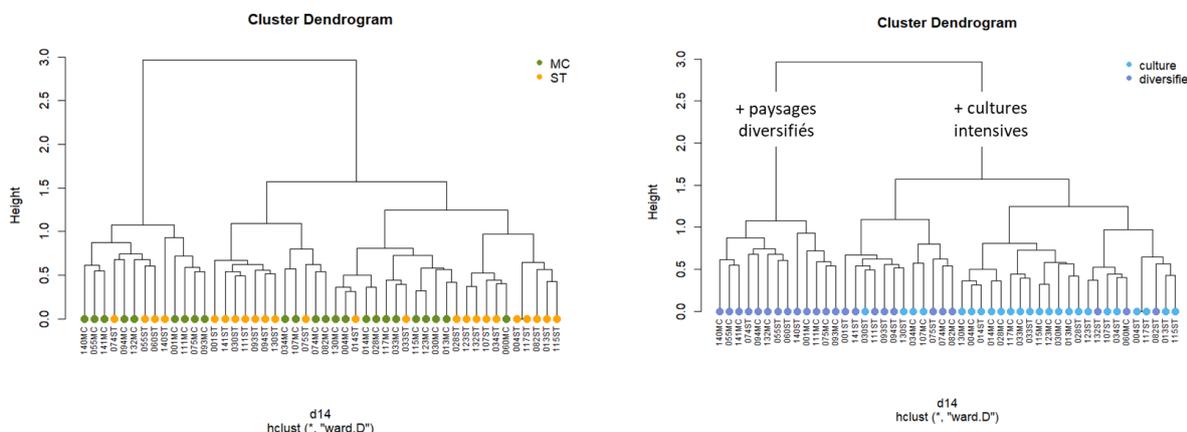


Figure 36 : Résultat du groupement Ward avec à gauche l'identification des stations avec des MC et à droite les types de paysages.

L'analyse des espèces indicatrices peut se réaliser sur plusieurs typologies :

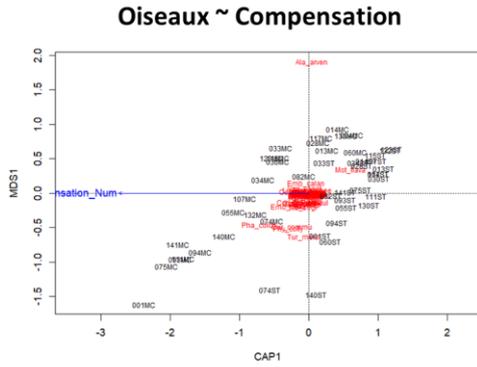
- la présence de mesures de compensation (MC) ou non (ST)
- la présence dans les types de paysage (diversifié) ou (isolé)
- et la présence de mesures de compensation (MC) ou non (ST) uniquement dans les parcelles de paysages diversifiés

L'analyse des espèces indicatrices identifie 14 espèces indicatrices de la présence de MC et 6 espèces pour les parcelles témoins dont la bergeronnette printanière (*Mot\_flava*) comme la seule espèce cible (Figure 37). Comme de nombreuses espèces sont associées aux paysages diversifiés, on a aussi voulu tester l'effet des MC dans les paysages diversifiés. Cela permet d'identifier des espèces qui sont bien plus indicatrices (différence > 10%) dans les paysages diversifiés que globalement (en vert foncé sur le Tableau 15).

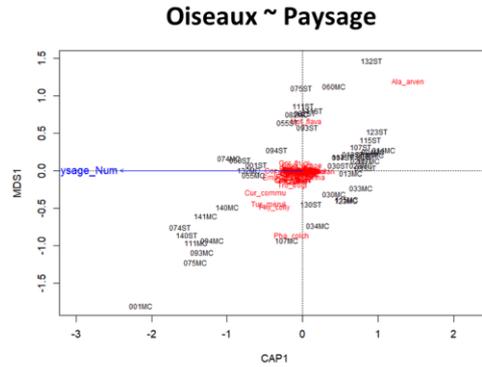
**Tableau 15 : Liste des espèces indicatrices pour les mesures de compensation ou les témoins, les deux types de paysage et de nouveau les mesures de compensation, mais uniquement dans les paysages diversifiés. Les couleurs identifient les espèces indicatrices significatives. Les deux teintes de vert correspondent à des niveaux différents du caractère indicateur (vert foncé = différence > 10%).**

taxon	Compensation			Type de paysage			Compensation en paysage diversifié		
	Compensation	indval	pvalue	Paysage	indval	pvalue	Compensation	indval	pvalue
Act_hypol	ST	62.65	0.078	diversifie	71.7	0.013	ST	55.6	0.145
Aeg_cauda	MC	26.14	0.062	diversifie	41.7	0.001	MC	52.3	0.034
Ant_prate	ST	57.76	0.063	diversifie	49.8	0.407	ST	54.9	0.254
Cer_brach	MC	45.16	0.023	diversifie	57.0	0.001	MC	68.0	0.024
Col_livia	MC	47.46	0.068	diversifie	50.8	0.042	MC	65.9	0.021
Col_palum	MC	58.46	0.139	diversifie	90.9	0.001	MC	73.7	0.054
Cor_coron	MC	66.78	0.011	diversifie	66.9	0.004	MC	65.8	0.008
Cor_moned	MC	72.38	0.029	diversifie	80.1	0.005	MC	71.6	0.094
Cur_commu	MC	67.84	0.053	diversifie	85.7	0.001	MC	64.0	0.206
Cya_caeru	MC	43.19	0.086	diversifie	70.7	0.001	MC	80.8	0.004
Emb_citri	MC	52.87	0.072	diversifie	53.5	0.089	MC	66.0	0.052
Emb_schoe	ST	72.95	0.039	diversifie	42.9	0.982	ST	63.1	0.439
Fal_tinnu	MC	66.47	0.029	diversifie	51.2	0.301	MC	65.4	0.122
Gal_chlor	MC	37.42	0.122	diversifie	39.7	0.086	MC	55.9	0.061
Gar_gland	MC	36.4	0.049	diversifie	32.1	0.106	MC	62.8	0.004
Mot_ciner	ST	43.82	0.038	diversifie	24.6	0.684	ST	39.4	0.411
Mot_flava	ST	80.24	0.001	diversifie	52.8	0.773	ST	76.2	0.106
Par_major	MC	49.44	0.170	diversifie	86.4	0.001	MC	76.5	0.003
Pha_colch	MC	81.01	0.001	diversifie	51.8	0.640	MC	85.0	0.003
Phy_colly	MC	56.13	0.037	diversifie	78.9	0.001	MC	79.7	0.005
Pic_pica	MC	48.86	0.05	diversifie	74.2	0.001	MC	76.8	0.024
Sit_europ	MC	27.56	0.034	diversifie	10.2	0.816	MC	33.3	0.113
Spi_spinu	ST	62.1	0.023	diversifie	67.5	0.005	ST	62.3	0.112
Stu_vulga	MC	27.76	0.132	diversifie	54.2	0.001	MC	55.5	0.086

La dernière étape de l'analyse vise à mesurer l'effet des différents critères sur la diversité  $\beta$ . Comme pour l'analyse sur la diversité  $\alpha$ , on procède à une ordination contrainte adaptée aux coordonnées principales (CAP en anglais). La Figure 37 montre les résultats significatifs du rôle assez net de la présence de compensations et très net de la complexité du paysage. Les pourcentages de variance expliquée sont faibles mais significatifs.



Modèle CAP : Oiseaux ~ Compensation : le rôle de la compensation explique 6.24 % de la variance et il **EST SIGNIFICATIF à p() = 0.0043**



Modèle CAP : Oiseaux ~ Paysage : le rôle du paysage explique 14.04 % de la variance et il **EST SIGNIFICATIF à p() = 0.001**

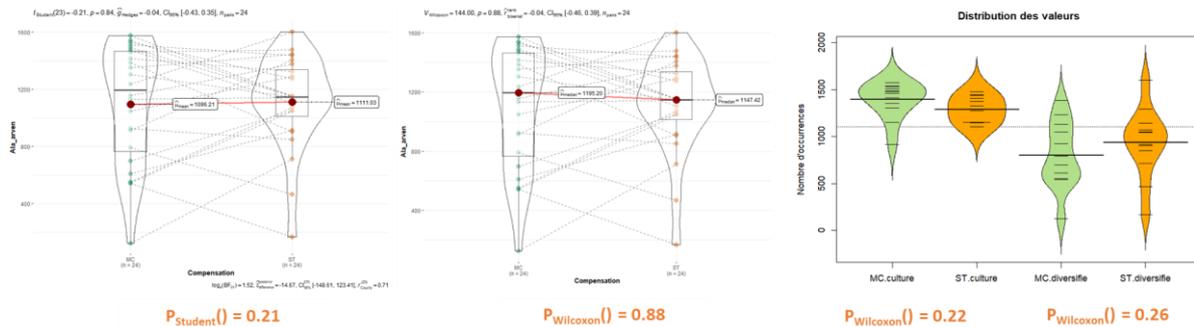
**Figure 37 : Résultats significatifs des analyses sous contraintes (CAP) pour mesurer l'effet de la présence des compensations et du type de paysage.**

La figure 37 révèle aussi la position de la bergeronnette printanière à l'opposé des MC et de l'alouette à l'opposé des paysages diversifiés.

### Analyse de l'activité des espèces cibles

Les cinq espèces cibles détectées font l'objet d'une analyse inférentielle spécifique pour tester leur réponse à la présence des mesures de compensation qui leur sont en principe dédiées (Figures 38,39,40,41,42).

Les résultats sont surprenants puisqu'aucune des 5 espèces ne réagit favorablement à la présence de MC. Il n'y a que les bruants jaunes qui, dans les paysages diversifiés, tendent à montrer une réponse positive. Par contre, les bergeronnettes printanières montrent une réponse clairement négative avec une diminution très forte de l'activité qui passe en moyenne de 264.27 occurrences dans les stations témoins (ST) à 65.09 occurrences dans les stations avec des mesures de compensation, soit une diminution par quatre de leur activité.



**Figure 38 : Effet de la présence de MC sur l'activité des Alouettes des champs.**

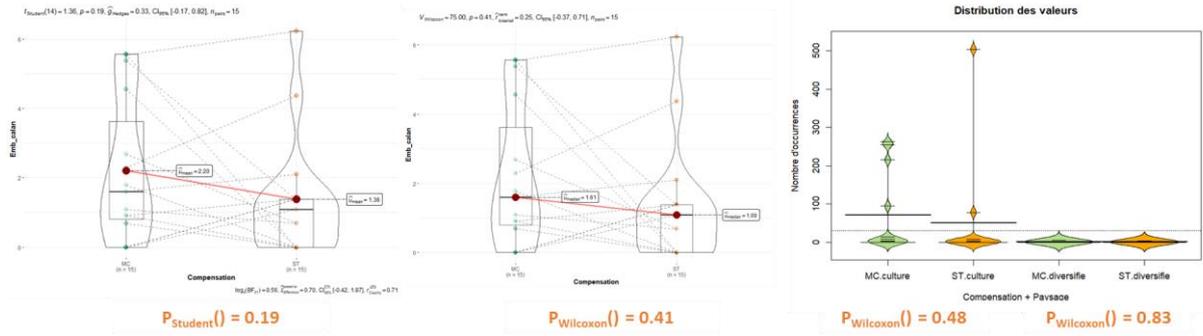


Figure 39 : Effet de la présence de MC sur l'activité des Bruants proyers (données logtransformées).

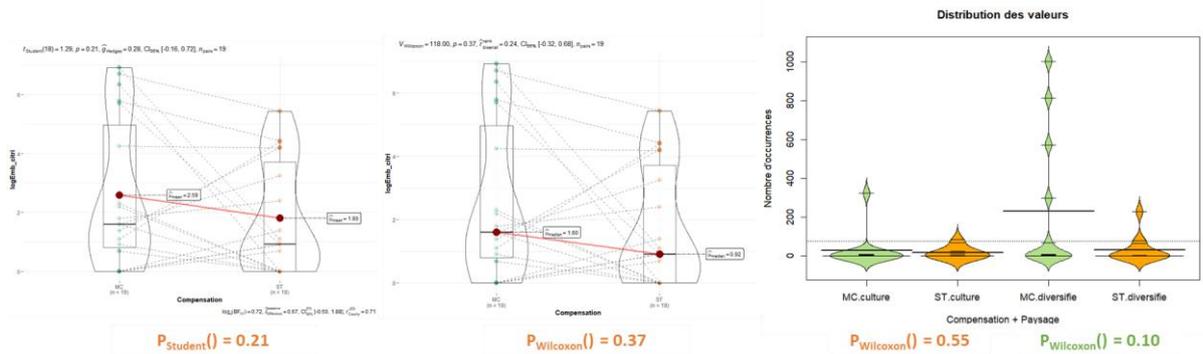


Figure 40 : Effet de la présence de MC sur l'activité des Bruants jaunes (données logtransformées).

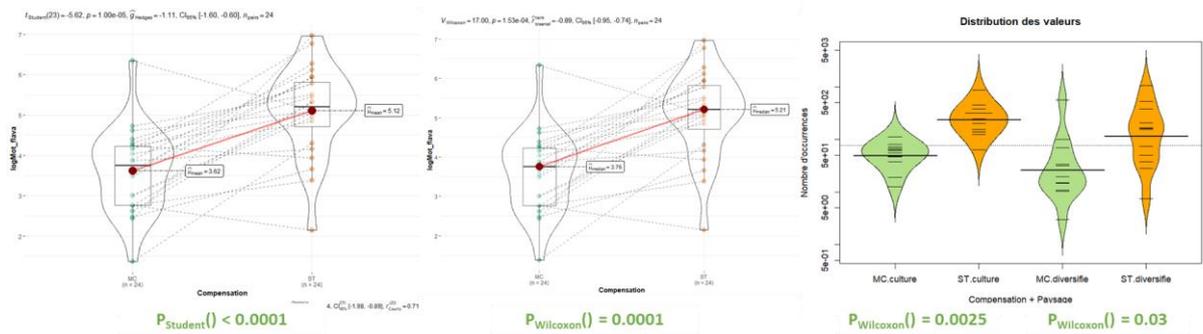


Figure 41 : Effet de la présence de MC sur l'activité des Bergeronnettes printanières (données logtransformées).

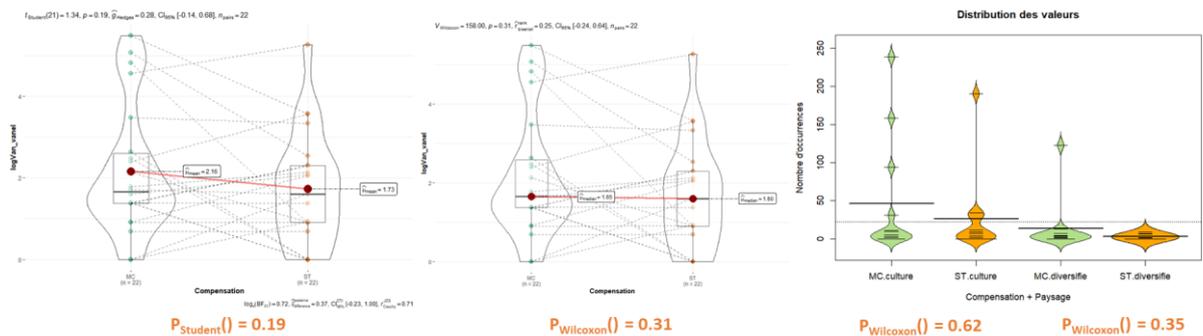


Figure 42 : Effet de la présence de MC sur l'activité des Vanneaux huppés (données logtransformées).

Cet effet négatif des MC concerne d'autres espèces typiques des grandes cultures comme le bruant des roseaux ( $p_{Wilcoxon}() = 0.0043$ ) ou le chevalier guignette ( $p_{Wilcoxon}() = 0.05$ ).

## Analyse des autres jeux de données d'oiseaux

L'analyse des observations des espèces cibles récoltées lors des points d'écoute de 5 minutes sur le terrain, lors des points d'écoute enregistrés pendant 5 minutes et lors des transects montrent des résultats légèrement différents (Tableau 16).

Le seul effet réellement significatif en commun est celui de l'effet négatif des MC sur la bergeronnette printanière (*Mot\_flava*). Cet effet négatif se détecte à la fois sur les points d'écoute de terrain et les transects. On retrouve aussi une tendance à voir un effet léger des MC sur les populations de bruant jaune (*Emb\_citri*) dans les deux types de points d'écoute mais il n'est pas confirmé pour les transects.

On observe par contre un effet significatif positif des MC sur les vanneaux (*Van\_vanel*) dans les transects qui n'est identifié dans aucun autre jeu de données. Cela peut s'expliquer par l'inventaire complet des MC car elles sont parcourues sur l'ensemble de leur plus grande longueur, ce qui permet de détecter plus d'espèces ou plus d'individus que pendant des points d'écoute de 5 minutes. Cet effet qui n'est pas très net devrait être confirmé par d'autres inventaires pour limiter un éventuel biais d'échantillonnage.

En effet, dans chaque site associant une MC et une ST, la longueur est la même mais la structure de la végétation est intrinsèquement différente entre les deux. Il n'est donc pas facile de standardiser complètement les inventaires sans avoir une action de recherche plus active dans les MC. Toutefois, les différences inverses pour les bergeronnettes printanières montrent des différences aussi nettes et de même niveau entre les points d'écoute de terrain et les transects.

**Tableau 16 : Résultats des tests de Wilcoxon appariés pour les différentes espèces cibles observées lors des points d'écoute sur le terrain, les points d'écoute enregistrés pendant 5 minutes et les transects. Moyenne (MC-ST) correspond à la différence moyenne entre les observations des MC et ST.**

PE Terrain	Nbr paires	MC	ST	Moyenne (MC - ST)	Wilcoxon appariés
Ala_arven	23	125	119	0.26	0.9370
Cir_cyanu	1	0	1	-	-
Cot_cotur	5	5	2	0.60	0.7500
Emb_calan	4	3	5	- 0.50	0.7500
Emb_citri	9	21	11	1.11	0.1250
Mot_flava	19	18	46	- 1.47	0.0081
Van_vanel	5	7	7	-	1.0000
PE BirdBox	Nbr paires	MC	ST	Moyenne (MC - ST)	Wilcoxon appariés
Ala_arven	24	2218	2204	0.58	0.8483
Emb_calan	2	4	4	2.00	1.0000
Emb_citri	5	55	1	10.80	0.1250
Mot_flava	12	11	25	- 1.17	0.4580
Transect	Nbr paires	MC	ST	Moyenne (MC - ST)	Wilcoxon appariés
Ala_arven	23	176	155	0.91	0.4123
Cir_cyanu	4	1	3	- 0.50	0.6250
Cot_cotur	7	6	2	0.57	0.3594
Emb_calan	5	8	7	0.20	1.0000
Emb_citri	10	27	18	0.90	0.2109
Mot_flava	21	35	74	- 1.86	0.0018
Van_vanel	12	25	10	1.33	0.0664

## Analyse de l'impact spécifique de la qualité du couvert et de la connectivité pour les MC

La qualité du couvert des MC est un critère potentiellement intéressant pour analyser la réponse biologique. Toutefois, cette variable ne concerne que les stations MC et seulement 20 stations car trois n'ont pas été semées et on ne dispose pas d'information pour une station.

L'analyse de la qualité du couvert montre une forte dépendance à la date de semis et une différence nette entre les paysages de grandes cultures où les MC sont de meilleure qualité que les MC dans les paysages diversifiés (voir le chapitre dédié aux protocoles).

L'effet de la qualité du couvert sur les indices de diversité de l'avifaune peut être testé avec une analyse de type RDA, en utilisant uniquement les 20 stations pour lesquelles des données de qualité sont disponibles.

Le modèle RDA **Diversité ~ Qualité** explique 13.42% de la variance des indices de diversité des 20 stations MC et il est à la limite de la signification de 10%. Si on élimine l'effet du paysage, le modèle n'explique plus que 3.84% et il n'est plus significatif. **Il n'y a donc pas d'impact apparent de la qualité des couverts sur les différents indices de diversité de l'avifaune.**

La connectivité peut également jouer un rôle important sur la présence la présence des espèces de l'avifaune. Ce critère a été mesuré pour les 24 stations de compensations et peut être testé selon un modèle RDA. Le modèle RDA **Diversité ~ Connectivité** était-explique 0.8 % de la variance des indices de diversité des 24 stations MC et il est non significatif. **Il n'y a donc pas d'impact du placement des MC en réseau ou non sur les différents indices de diversité.**

## Bilan général de l'analyse

### Qualité de l'échantillonnage

- L'échantillonnage avec les **BirdBox** peut être considéré comme très complet et très **représentatif** de la diversité biologique globale des stations. Cependant, une partie des espèces cibles n'est pas détectée (voir recommandation 5.4 : « *Limite de l'étude* ») et le transect est une bonne méthode pour la détection d'espèces plus discrète comme les busards.
- Les **critères de sélection des 63 espèces étudiées**, par rapport au 122 enregistrées et déterminées avec un seuil de confiance de 75% (ou un seuil spécifique pour les 5 espèces cibles détectées) **semblent très cohérents**. Une analyse de sensibilité sur l'un ou l'autre test de ces critères ne montre pas de différences majeures.

### Diversité $\alpha$

- Les **indices de diversité sont très corrélés** entre eux sauf le nombre d'occurrences qui présente une certaine originalité.
- Seuls les critères de **présence de compensation et de complexité des paysages jouent un rôle déterminant** pour expliquer la variance des indices de diversité.
- Globalement, le **nombre d'occurrences est essentiellement expliqué par la présence de mesures de compensation** plutôt que par la complexité du paysage.
- Globalement, le **nombre d'espèces et les autres indices associés sont surtout expliqués par la complexité du paysage** et non par la présence de mesures de compensation.
- Si on ne prend que les **paysages diversifiés, il y a un effet net des mesures de compensation sur l'activité des oiseaux et sur le nombre d'espèces**. Cet effet ne concerne pas les paysages de grandes cultures.

### Diversité $\beta$

- La **composition des assemblages d'espèces est très fortement affectée par la complexité des paysages** puis par la présence de mesures de compensation qui est très nette dans les paysages diversifiés.

- On **observe très clairement un effet des MC dans les paysages diversifiés** qui apportent de nouvelles espèces.
- On **observe un effet moins net des MC dans les paysages de grandes cultures avec une diminution d'espèces typiques.**

#### *Analyse de l'activité de certaines espèces*

- **Aucune espèce cible n'est favorisée par les mesures de compensation**, sauf le bruant jaune mais uniquement dans les paysages diversifiés.
- **La bergeronnette printanière est très négativement influencée par la présence de MC.** D'autres espèces non-cibles des MC le sont aussi comme **le bruant des roseaux et le chevalier guignette.**

## 4.2 Analyse des Chauves-Souris

### Rappel du protocole mis en place et de l'analyse des sons

Dans chacune des **48 stations**, on utilise un enregistreur automatique des sons qui est mis en place pendant environ 72 heures consécutives. Pour les chauves-souris, en mode « BatBox », il fonctionne de 30 minutes avant le coucher du soleil jusqu'à 30 minutes après le lever. Comme on ne dispose que de 16 enregistreurs, ils doivent être déplacés d'une station à l'autre de manière à échantillonner les sites au moins à deux reprises.

Les sons enregistrés sont ensuite récupérés et analysés par le logiciel Kaléidoscope pour identifier des groupes d'espèces ou des espèces. Au total, nous avons récolté 350.366 enregistrements de 5 secondes. Une validation des identifications a été réalisée et les données ont été compilées dans deux types de fichiers via Rstudio :

- Un **fichier « diversité »**, avec les présences des espèces dans les différentes stations, qui combine des données d'espèces et de groupes d'espèces quand il n'a pas été possible de les distinguer avec :
  - o Les **Pipistrelles (PIP)** = PIPPIP (p. commune), PIPNAT (p. de Nathusius) & PIPPYG (p. pygmée) + les espèces du groupe non différenciables ;
  - o les **Serotules (SER)** avec les noctules = NYCNOG (Noctule commune), NYCLEI (Noctule de Leisler) et les serotines = EPSTER (Sérotine commune), VESMUR (Sérotine bicolore) + les espèces du groupe non différenciables ;
  - o les **Murins (MYO)** avec les MYODAU (Murin de Daubenton), MYOMYO (Grand murin), MYOMYS (murin à moustaches), MYOBRA (Murin de Brandt), MYOBEC (Murin de Bachstein), MYONAT (murin de Natterer), MYODAS (Murin des marais) + les espèces du groupe non différenciables ;

- o les **Plecotus (PLE)** : PLEAUR (Oreillard roux) + les espèces du groupe non différenciables ;

Il a été décidé de compter dans chaque station le nombre d'espèces identifiées présentes par groupe ou, s'il n'y en a pas, la présence d'une espèce indéterminée d'un groupe. On dispose alors 4 groupes d'espèces pour caractériser la diversité spécifique d'une station avec la somme des espèces observées dans les groupes.

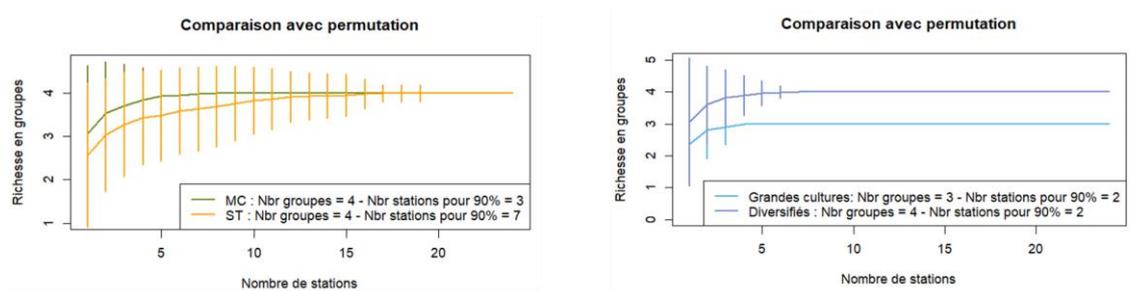
- Un **fichier « activité »** qui précise le nombre de contacts au sein des 4 groupes permettant d'avoir le nombre de contacts obtenus mesurés par les enregistreurs.

Grâce à la performance des logiciels et à la qualité des résultats et comme pour les oiseaux, les données chauves-souris ont été calibrées pour que les occurrences correspondent à la même intensité d'échantillonnage.

## Qualité de l'échantillonnage

Avant de commencer l'analyse du tableau d'occurrences des 4 groupes d'espèces dans les 48 stations, il est toujours intéressant d'évaluer la qualité de l'échantillonnage et dans quelle mesure on observe une certaine saturation de l'information, c'est-à-dire qu'on a de bonnes raisons de croire que l'intensité de l'échantillonnage a bien capté la variabilité biologique.

Une approche standard de l'analyse de la qualité de l'échantillonnage est de vérifier à partir de quand le nombre de stations pour les différents critères de compensation, de type de paysage et de connectivité est suffisant pour capter la diversité alpha moyenne des différentes catégories de ces critères.



- La qualité de l'échantillonnage est très correcte puisque 2 à 7 stations suffisent pour atteindre 90% de la richesse totale en groupes de chauves-souris
- Uniquement une différence de richesse significative déjà claire pour les deux types de paysage

**Figure 43 : Courbe cumulative du nombre de groupes d'espèces en fonction du nombre de stations avec l'intervalle de confiance (IC). Pour qu'il y ait des différences significatives entre deux courbes, les IC ne doivent pas se superposer.**

Très clairement, la Figure 43 montre qu'il faut de 2 à 7 stations pour atteindre 90% de la richesse totale dans les différentes configurations alors qu'on a 24 stations de chaque configuration. La

seule différence nette et rapide est celle entre les paysages diversifiés et les paysages de grandes cultures avec un groupe de plus dans quasi tous les paysages diversifiés.

### Stratégie d'analyse de la diversité $\alpha$

Les analyses réalisées vont d'abord analyser la **diversité  $\alpha$**  des stations avec différents indices de diversité pour voir le rôle des compensations et du type de paysage.

Pour ce faire, on utilise 5 indices :

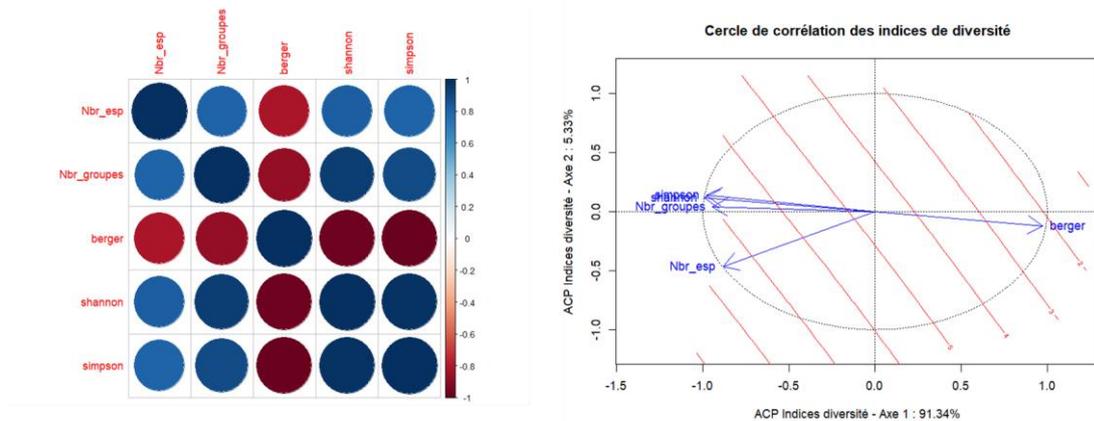
- le **nombre de groupes d'espèces** = le nombre de groupes d'espèces observé dans chaque station,
- le **nombre d'espèces** = le nombre d'espèces dans les 4 groupes. Si au sein d'un groupe, aucun contact n'a été identifié jusqu'à l'espèce, il a été décidé de compter "1 espèce", en sachant que les contacts enregistrés correspondent minimum à une espèce au sein de ce groupe.
- l'**indice de Berger-Parker** = l'activité relative de l'espèce la plus active (fichier « activité » qui a été log transformé vu l'extrême dominance des pipistrelles),
- l'**indice de Shannon classique** = la somme des produits des activités relatives \* log des activités relatives actives (fichier « activité »),
- l'**indice de Simpson** =  $1 - \text{somme du carré des activités relatives}$  (fichier « activité »).

Ces 5 indices sont complémentaires dans leur manière d'appréhender les deux composantes principales de la notion de diversité que sont le nombre d'espèces et la manière dont les fréquences d'activité des espèces se répartissent plus ou moins équitablement.

### *Approche multivariée de l'analyse de la diversité $\alpha$*

La meilleure manière de visualiser les relations entre les indices de diversité est de visualiser leurs corrélations avec une analyse en composantes principales (ACP). La Figure 44 montre que les 5 indices de diversité sont fortement corrélés les uns aux autres, avec l'indice de Berger-

Parker qui l'est de manière négative par rapport aux quatre autres. Plus il augmente, plus les autres diminuent.



**Figure 44 : Analyse des corrélations entre les indices de diversité (à gauche) et visualisation sur le cercle des corrélations (à droite) d'une ACP. Les courbes en rouge correspondent à une modélisation du nombre d'espèces.**

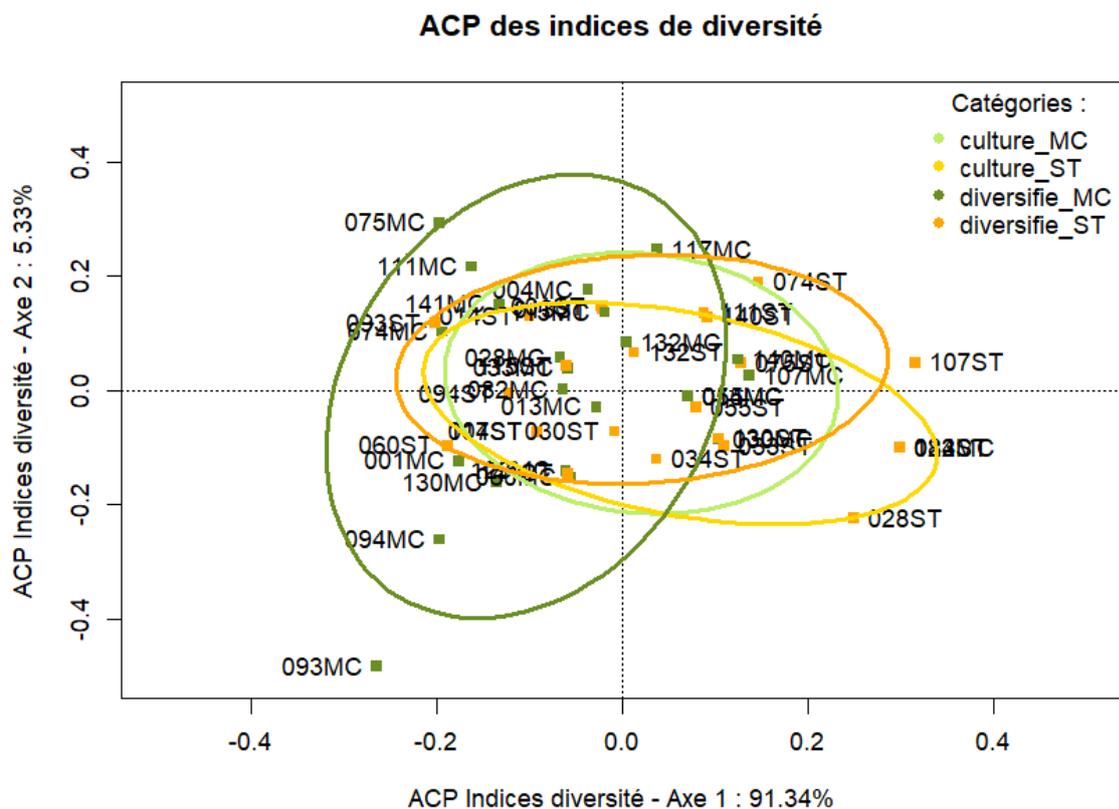
Le premier axe de l'ACP explique plus de 90% de la variance commune aux différents indices avec les stations les plus riches à gauche et les plus pauvres à droite. La variable « Nbr\_esp » qui représente le nombre d'espèces dans les 4 groupes montre une assez faible originalité sur le second axe principal. Cette analyse permet de limiter les analyses réalisées aux deux indices de base que sont le nombre d'espèces et le nombre de groupes qui résument toute la variance (= l'information).

La Figure 45 montre les résultats de l'ACP pour les différences d'indices de diversité entre les stations. On sait grâce au cercle des corrélations que les stations les plus riches sont à gauche et les plus pauvres sont à droite. Si des stations sont proches l'une de l'autre, c'est parce qu'elles partagent des valeurs proches d'indices de diversité  $\alpha$ . Plus elles sont éloignées, plus elles sont différentes.

On voit très clairement que les mesures de compensation dans les paysages diversifiés sont bien plus riches en espèces et en occurrences de chauve-souris que les autres paysages avec la présence ou non de mesures de compensation.

Pour évaluer statistiquement le rôle des critères de l'échantillonnage (Compensation, Paysage), on peut utiliser des méthodes d'analyses multivariées sous contraintes qui testent dans quelle mesure un critère ou une combinaison de critères peut expliquer des corrélations communes des indices de diversité  $\alpha$ . L'analyse adaptée dans ce cas est l'analyse des redondances (RDA en anglais).

La tableau 17 synthétise les résultats du rôle des 2 critères sélectionnés. Seule la présence de compensation mais surtout la complexité du paysage expliquent la variance des indices de diversité et de manière équilibrée pour les différents indices.



**Figure 45 :** Représentation des différences d'indices de diversité entre les stations. On a ajouté des ellipses de dispersion (70%) pour les catégories croisées des compensations et des types de paysage.

**Tableau 17 :** Synthèse de l'évaluation du rôle des compensations et de la complexité des paysages sur les indices de diversité. Les deux critères jouent un rôle faible mais significatif sur les différents indices de diversité.

Modèle testé	%variance expliquée	P()	%variance expliquée par indice				
			Nesp	Ngroupes	Berger	Shannon	Simpson
diversite ~ Compensation	6.84%	0.0710	6.05	9.39	6.28	8.62	7.73
diversite ~ Paysage	7.72%	0.0470	3.87	12.51	5.31	9.97	6.96

### Approche univariée de l'analyse de la diversité $\alpha$

Les résultats de l'analyse multivariée montrent déjà des éléments assez clairs sur le rôle important de la complexité du paysage mais aussi de celui moins important, mais significatif, de la présence de la mesure de compensation.

Pour affiner cette analyse globale, on développe une approche univariée traditionnelle qui va concerner les deux indices de diversité pertinents révélés par l'ACP. Pour ce faire, on va simplement utiliser l'analyse de la variance pour les deux catégories de chaque critère avec des tests paramétriques et non paramétriques classiques pour des variables quantitatives continues.

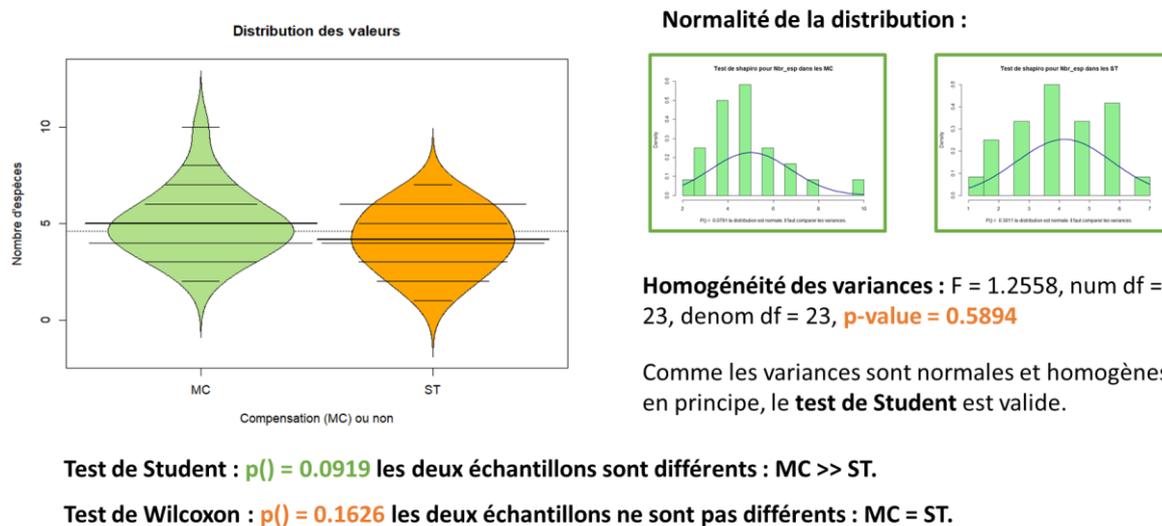
En principe, les règles à suivre sont les suivantes :

On évalue d'abord **si les échantillons suivent une distribution normale** avec des tests de normalité de Shapiro-Wilk

- Si **Oui** : Si les deux échantillons ont des distributions normales, On évalue **si les variances des deux échantillons sont similaires** avec un test de **Fisher-Snedecor**
  - Si **Oui** : on fait un test paramétrique de **Student**
  - Si **Non** : on fait un test paramétrique de **Welsh**
- Si **Non** : On fait un test test non-paramétrique de **Wilcoxon-Mann-Whitney**.

Comme on dispose d'un échantillonnage païré (c'est-à-dire qu'on dispose d'un témoin pour chaque site de mesure de compensation), on ajoute à ces tests non-païrés leurs variantes appariées en principe plus puissantes pour contrôler des effets locaux qui nous auraient échappés.

Pour le **nombre d'espèces**, la Figure 46 détaille le processus d'analyse avec les différentes étapes qui permettent de sélectionner le test le plus justifié. Dans le cas présent, comme les distributions sont normales et que les variances sont similaires, c'est le test de Student qui est utilisé. Celui-ci montre un effet, tout juste significatif, de la présence de mesures de compensation sur le nombre d'espèces de chauve-souris.



**Figure 46 :** Exemple du processus d'analyse réalisé pour sélectionner le test le plus judicieux pour le nombre d'espèces.

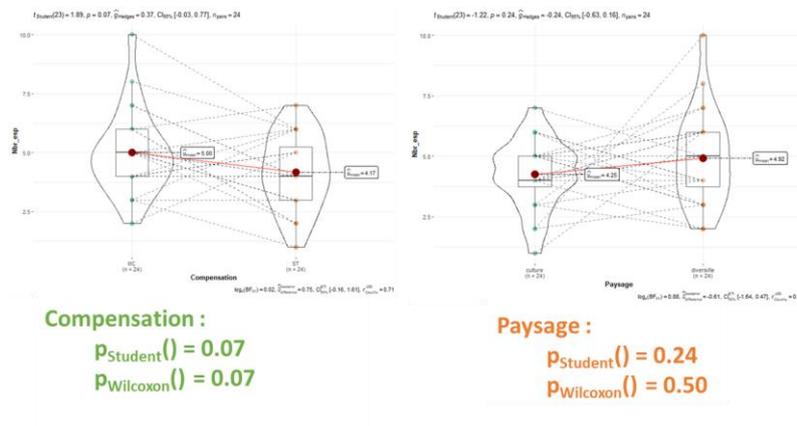


Figure 47 : Résultats des tests appariés pour évaluer l'effet des compensations et du type de paysage sur le nombre d'espèces.

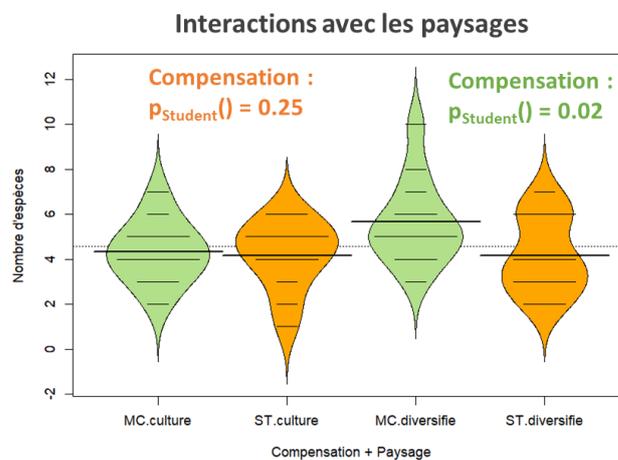
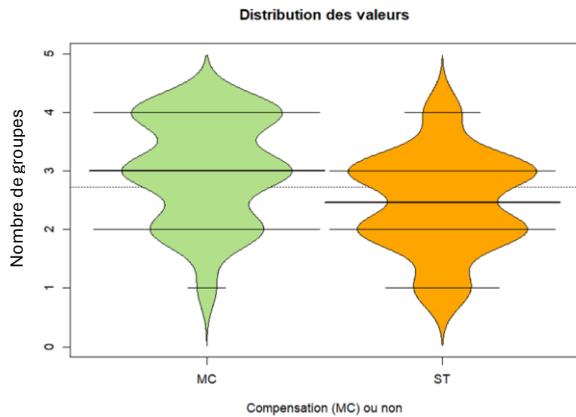


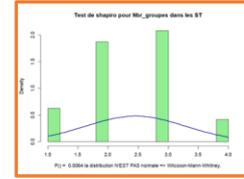
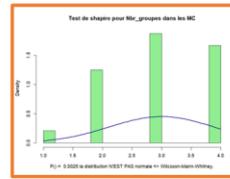
Figure 48 : Résultats des tests appariés pour évaluer l'effet des compensations uniquement dans les deux types de paysage sur le nombre d'espèces.

Cet effet de la compensation sur le nombre d'espèces de chauve-souris est largement confirmé par les tests appariés (Figure 47). On n'observe pas d'effet du type de paysage. Par contre, la Figure 48 révèle que **l'effet des mesures de compensation est surtout observé dans les paysages diversifiés et pas dans les grandes cultures.**

Pour le **nombre de groupes**, la Figure 49 détaille le processus d'analyse avec les différentes étapes qui permettent de sélectionner le test le plus justifié. Dans le cas présent, comme les distributions ne sont pas normales et que les variances sont similaires, c'est le test de Wilcoxon qui montre un **effet significatif mais limité de la présence de mesures de compensation.**



Normalité de la distribution :



Homogénéité des variances :  $F = 1.1279$ , num df = 23, denom df = 23, **p-value = 0.7753**

Comme les variances ne sont pas normales et qu'elles sont homogènes, en principe, seul le **test de Wilcoxon** sera retenu.

- Test de Wilcoxon non pairé : **p() = 0.0387** les deux échantillons sont différents : **MC >> ST**.

Figure 49 : Exemple du processus d'analyse réalisé pour sélectionner le test le plus judicieux pour l'indice de richesse en groupes.

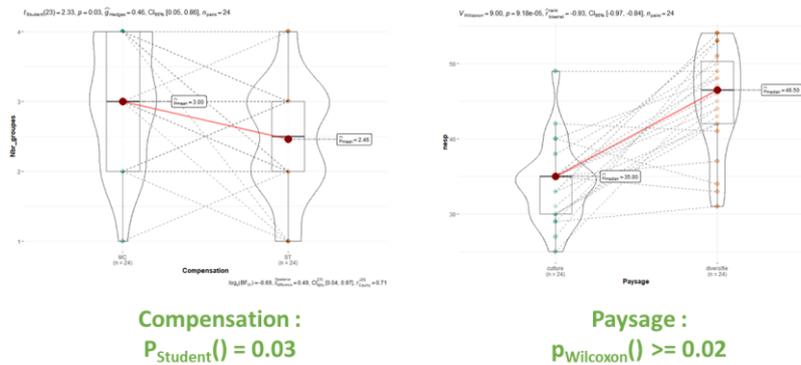


Figure 50 : Résultats des tests appariés pour évaluer l'effet des compensations et du type de paysage sur le nombre de groupes

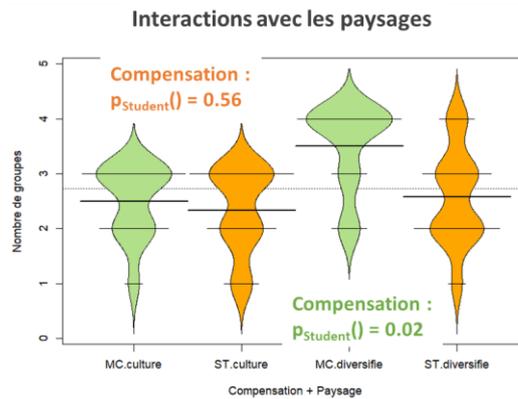


Figure 51 : Résultats des tests appariés pour évaluer l'effet des compensations uniquement dans les deux types de paysages sur le nombre de groupes.

Cet effet de la compensation sur le nombre de groupes de chauves-souris est confirmé par les tests pairés (Figure 50). On observe par contre aussi un effet du type de paysage avec plus d'espèces dans les paysages diversifiés. La Figure 51 révèle que **l'effet des mesures de compensation sur le nombre de groupes de chauve-souris est surtout observé dans les paysages diversifiés et pas dans les grandes cultures.**

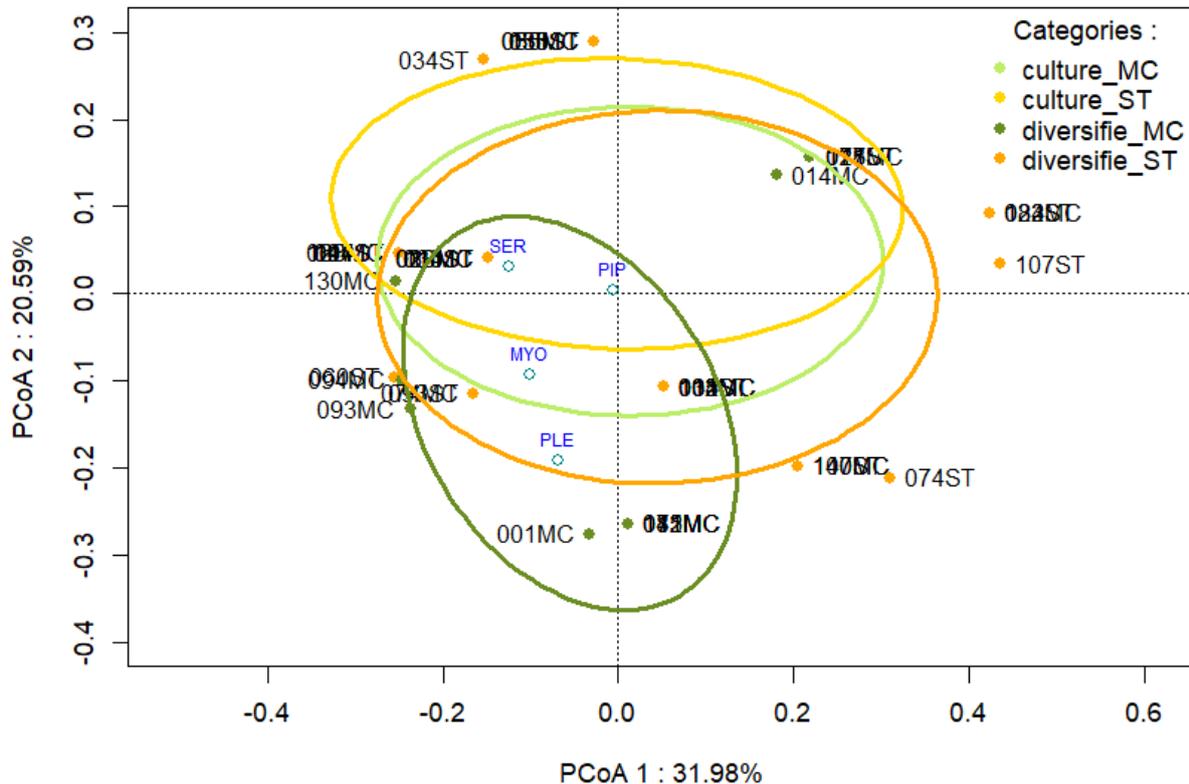
## Stratégie d'analyse de la diversité $\beta$

Avec l'analyse de la diversité  $\alpha$ , on cherche à comprendre les différences de richesse en espèces et de composition des assemblages d'espèces à l'échelle des stations en fonction des critères étudiés. Avec l'analyse de la diversité  $\beta$ , on analyse les différences de composition des assemblages d'espèces entre les stations. En effet, des stations peuvent montrer des richesses et des compositions similaires mais être caractérisées par des espèces différentes.

Les étapes de cette analyse sont les suivantes :

- on calcule **une matrice de distance de Bray-Curtis** entre les stations, adaptée aux données de fréquence pour évaluer les différences de composition des assemblages d'espèces,
- on réalise avec cette matrice de distance, d'abord une **Analyse en Coordonnées Principales** pour cartographier les distances entre les stations,
- on réalise ensuite un **groupement de WARD** avec cette matrice de distance,
- on réalise une analyse des **espèces indicatrices** des différents typologies étudiées,
- et on termine par une **analyse multivariée contrainte** (CAP, similaire à la RDA utilisée pour la diversité  $\alpha$ ) pour évaluer l'importance des critères (compensation, paysages).

L'analyse en coordonnées principales (ACoP) montre un premier axe très important (32% de variance expliquée) qui, au contraire des oiseaux, ne montre pas de différences entre les paysages diversifiés et les paysages de grandes cultures (Figure 52). L'axe 2 (20.6%) montre qu'au sein des paysages diversifiés, les stations avec des mesures de compensation (MC) se distinguent bien des stations témoins (ST), démontrant ainsi leur originalité.



*Figure 52 : Ordination en coordonnées principales des différences de composition des assemblages d'espèces. L'axe 1 montre bien la séparation entre les paysages diversifiés à gauche et les grandes cultures à droite, avec un effet très net des mesures de compensation dans les paysages diversifiés qui démontrent l'originalité des assemblages.*

L'analyse des espèces indicatrices peut se réaliser sur plusieurs typologies :

- la présence de mesures de compensation (MC) ou non (ST)
- la présence dans les types de paysage (diversifié) ou non (cultures)
- et la présence de mesures de compensation (MC) ou non (ST) uniquement dans les parcelles diversifiées

L'analyse des espèces indicatrices identifie le groupe des **murins (MYO) comme étant indicateur de la présence de mesures de compensation** et le groupe des **plecotus (PLE) comme étant indicateur des paysages diversifiés**. Il n'y a pas d'espèces indicatrices des ST. Si on combine la présence de mesures de compensation et des paysages diversifiés, ces deux groupes d'espèces sont un peu plus indicateurs (Tableau 18).



## Analyse de la diversité des groupes d'espèces

Les quatre groupes d'espèces font l'objet d'une analyse inférentielle spécifique pour tester la sensibilité de la **diversité en espèces** à la présence des mesures de compensation (Figures 54, 55, 56, 57).

Seuls les **Murins (MYO)** et les **Plecotus (PLE)** sont plus diversifiés lors de la présence de **mesures de compensation**. Les Murins sont aussi significativement plus diversifiés en mesures de compensation pour les paysages diversifiés. Il n'y a pas de Plecotus dans les zones de cultures.

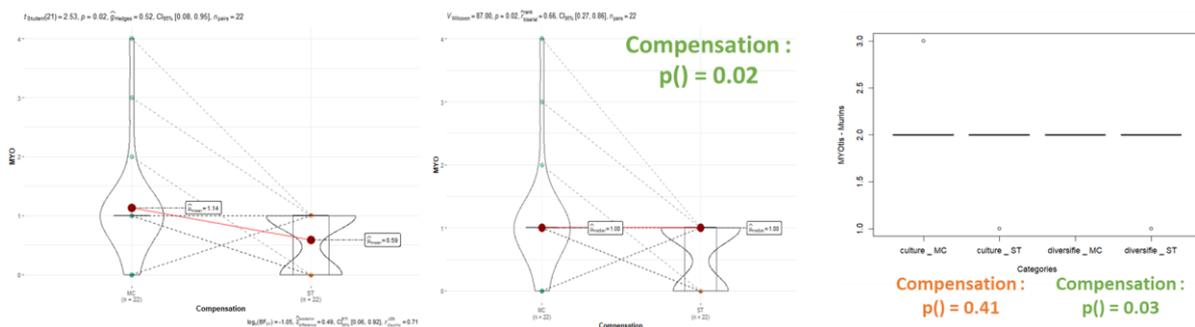


Figure 54 : Effet de la présence de MC sur le nombre d'espèces au sein des murins (MYO).

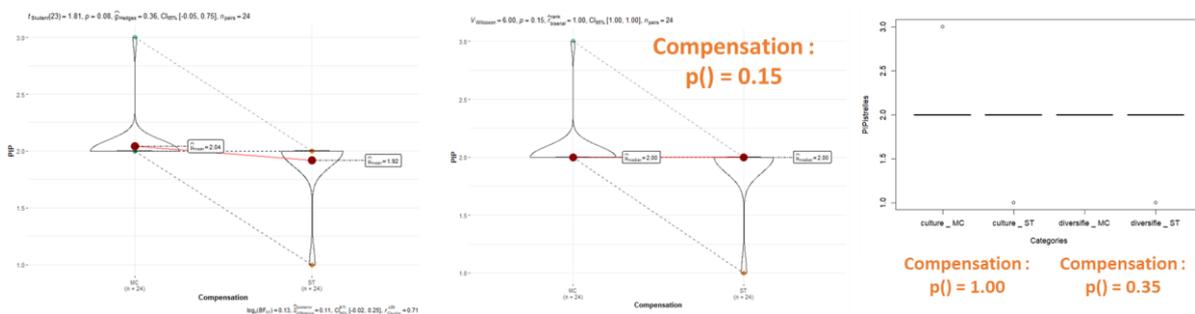


Figure 55 : Effet de la présence de MC sur le nombre d'espèces au sein des pipistrelles (PIP).

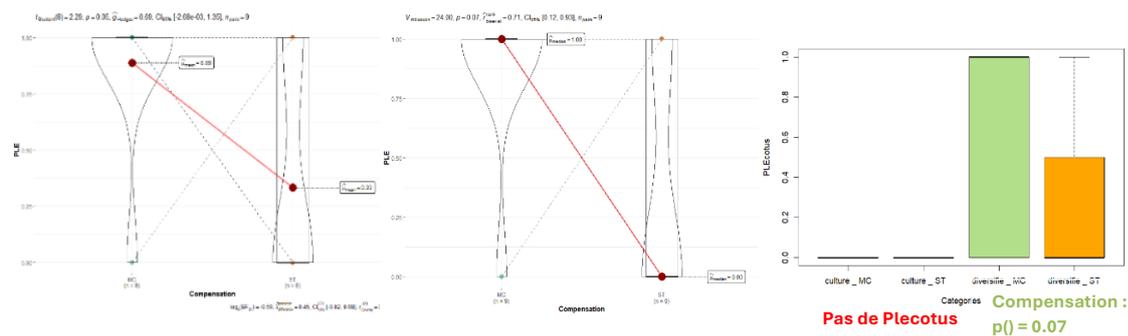


Figure 56 : Effet de la présence de MC sur le nombre d'espèces au sein des plecotus (PLE).

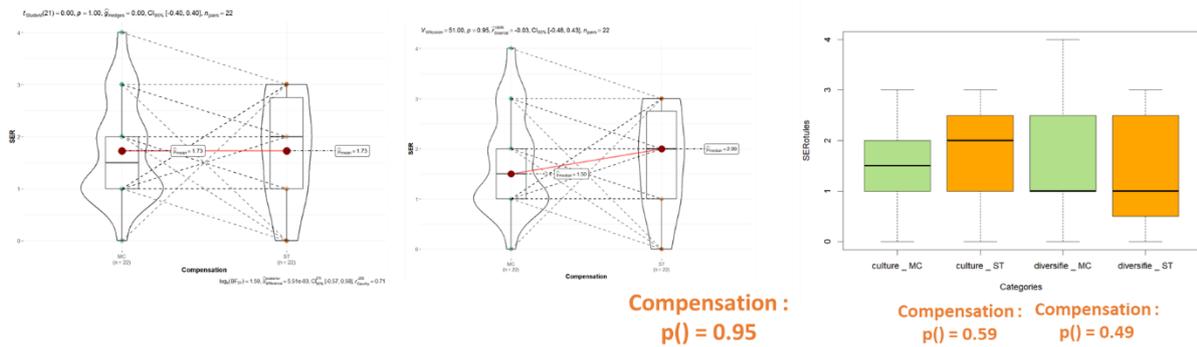


Figure 57 : Effet de la présence de MC sur le nombre d'espèces au sein des sérotules (SER).

## Analyse de l'activité des groupes des espèces

Les quatre groupes d'espèces font l'objet d'une analyse inférentielle spécifique pour tester le rôle des mesures de compensation sur **leur activité via le nombre de contacts enregistrés** (Figures 58, 59, 60, 61).

Les **Murins (MYO)**, les **Pipistrelles (PIP)** et les **Plecotus (PLE)** répondent à la présence de **mesures de compensation**. Ces trois groupes et les **Sérotules (SER)** répondent surtout à la présence des mesures de compensation dans les paysages diversifiés.

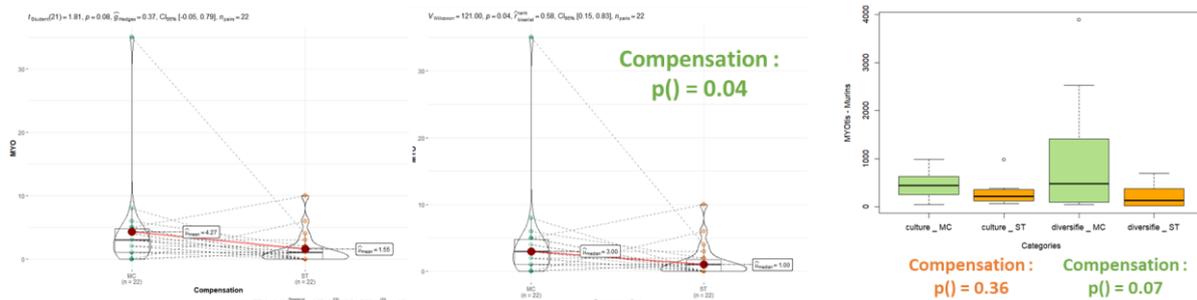


Figure 58 : Effet de la présence de MC sur l'activité des murins (MYO).

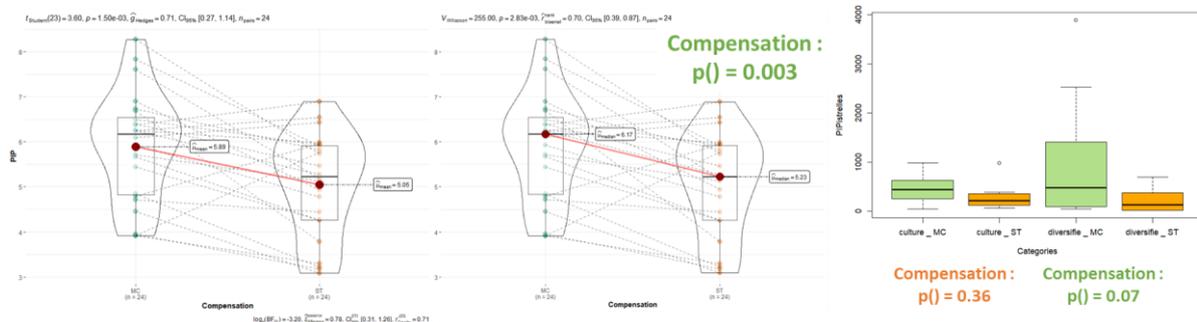


Figure 59 : Effet de la présence de MC sur l'activité des pipistrelles (PIP).

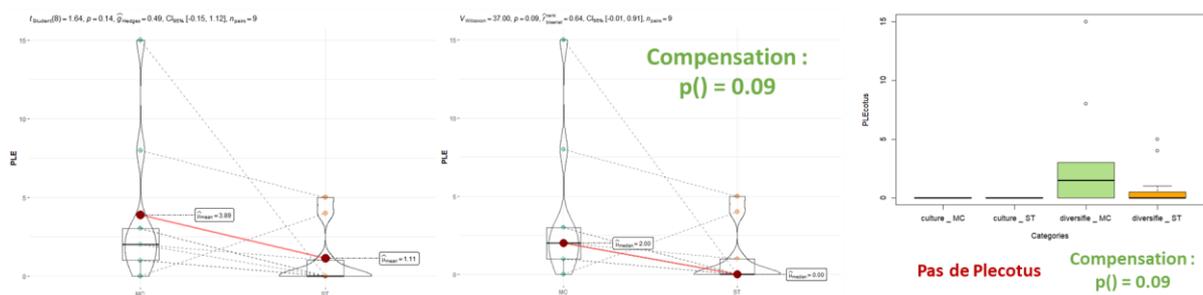


Figure 60 : Effet de la présence de MC sur l'activité des plecotus (PLE).

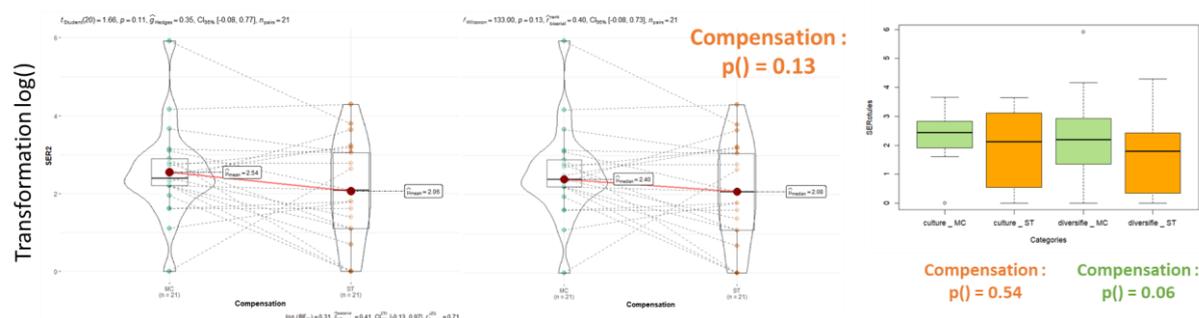


Figure 61 : Effet de la présence de MC sur l'activité des sérotules (SER).

## Bilan général de l'analyse

### Qualité de l'échantillonnage

- L'échantillonnage peut être considéré comme très complet et très représentatif de la diversité biologique des chauves-souris dans les stations.

### Diversité $\alpha$

- Les indices de diversité sont très corrélés entre eux sauf le nombre d'espèces qui présente une certaine originalité.
- Les critères de présence de compensation et de complexité des paysages jouent un rôle significatif pour expliquer la variance des indices de diversité.
- Globalement, le nombre d'espèces est surtout expliqué par la complexité du paysage et non par la présence de mesures de compensation.
- Si on ne prend en compte que les paysages diversifiés, il y a un effet net des mesures de compensation sur le nombre d'espèces de chiroptères. Cet effet ne concerne pas les paysages de grandes cultures.
- Globalement, le nombre de groupes est surtout expliqué par la présence de mesures de compensation en paysage diversifié.

### *Diversité $\beta$*

- La **composition des assemblages d'espèces est affectée par la présence de mesures de compensation** mais uniquement dans les paysages diversifiés.
- Les **MYO sont indicatrices des MC alors que les PLE sont indicateurs des paysages diversifiés** et sont absents des paysages de grandes cultures

### *Analyse de la diversité au sein des groupes*

- La diversité des espèces au sein du groupe **MYO est expliquée par les mesures de compensation et la diversité au sein du groupe PLE est expliquée par le type de paysages**. Par conséquent la diversité au sein des groupes MYO et PLE est expliquée par l'effet de la compensation et du paysage.

### *Analyse de l'activité de certains groupes*

- L'activité de quatre groupes MYO, PIP, PLE et SER est expliquée par les mesures de compensation dans les paysages diversifiés.
- Cette étude du rôle des mesures de compensation sur les chauves-souris démontre un effet significatif des MC dans les paysages diversifiés qui permettent une plus grande diversité des espèces et où elles montrent une activité bien plus importante.

## 4.3 Analyse des Micromammifères

### Rappel du protocole d'inventaires des entrées de galeries

Le comptage des entrées de galerie se réalise sur un transect de 100 m avec 6 points de mesures distants de 20 m où on compte sur un cercle de 1.5 m de rayon la présence d'entrées de galeries ("trous") qui peuvent être ouvertes ou fermées. Huit sites ont été sélectionnés avec chaque fois 8 MC et 8 ST et inventoriés entre mi-août et début septembre. Comme des parcelles ST pouvaient être labourées ou déchaumées, des comptages sont réalisés dans la parcelle et dans une bande herbeuse non perturbée à leur périphérie.

### Résultats

Le tableau 19 démontre l'importance de la présence d'entrées de galeries et donc de micromammifères dans les MC. Les codes des sites marqué \* sont ceux dont la parcelle ST a été labourée ou déchaumée.

**Tableau 19 : Résultats des comptages d'entrées de galeries (O = ouvertes et F = fermées) dans les parcelles avec des MC et les parcelles témoins. Les STBis correspondent à des relevés effectués en bordure de parcelles ST déchaumées ou labourées qui sont indiquées par une \*.**

Sites	Compensation			Témoin			Témoin labouré ou déchaumé		
	MC O	MC F	MC O+F	ST O	ST F	ST O+F	STBis O	STBis F	STBis O+F
1*	15	3	18	0	0	0	0	0	0
28*	82	16	98	0	0	0	8	0	8
29	36	11	47	0	2	2			
30	50	20	70	0	3	3			
55*	73	18	91	1	1	2	0	0	0
64*	9	2	11	0	0	0	0	0	0
107	11	7	18	0	1	1			
115*	19	9	28	0	0	0	10	1	11
<b>Total</b>	295.0	86.0	381.0	1.0	7.0	8.0	18.0	1.0	19.0

## 4.4 Rôle des compensations dans le réseau écologique

Le projet “NoNetLoss” avait pour ambitions de développer les outils de suivis biologiques et d'évaluer l'efficacité du réseau de mesures de compensations dans le cadre des projets éoliens. Le principe des compensations est qu'elles doivent compenser les pertes attendues dues à l'installation d'éoliennes dans les paysages agricoles et à leurs impacts sur des espèces d'oiseaux et de chauves-souris.

Ces structures paysagères destinées à des espèces-cibles peuvent aussi être intéressantes pour la biodiversité en général en augmentant la capacité d'accueil des paysages. Lors de l'analyse des paysages dans lesquels des compensations ont été installées, il a rapidement été démontré qu'il y avait deux catégories très différentes, avec les paysages d'openfields des plateaux et les paysages plus diversifiés bordant les villages et d'autres zones urbanisées, près des vallées ou des massifs forestiers et des paysages intermédiaires.

On a choisi de structurer l'échantillonnage en fonction de ces extrêmes en faisant **l'hypothèse que le rôle des compensations serait bien plus intéressant pour la biodiversité ciblée et la biodiversité en général dans les paysages simplifiés, dominés par des cultures intensives** (Figure 62 à gauche).

**Les résultats obtenus sur les oiseaux (espèces-cibles et les autres espèces) et les chauves-souris pendant la période de reproduction ne vont pas du tout dans ce sens.** Si des effets globaux des MC sont observés tant pour les indices de diversité  $\alpha$  et  $\beta$  des oiseaux et des chauves-souris, ils les sont surtout et essentiellement dans les paysages diversifiés. **Il n'y a pas d'effet des MC dans les paysages simplifiés (Figure 62 à droite).** Le seul effet nettement significatif est même un effet négatif sur une espèce cible (la bergeronnette printanière) et d'autres espèces d'oiseaux typiques des grandes cultures.

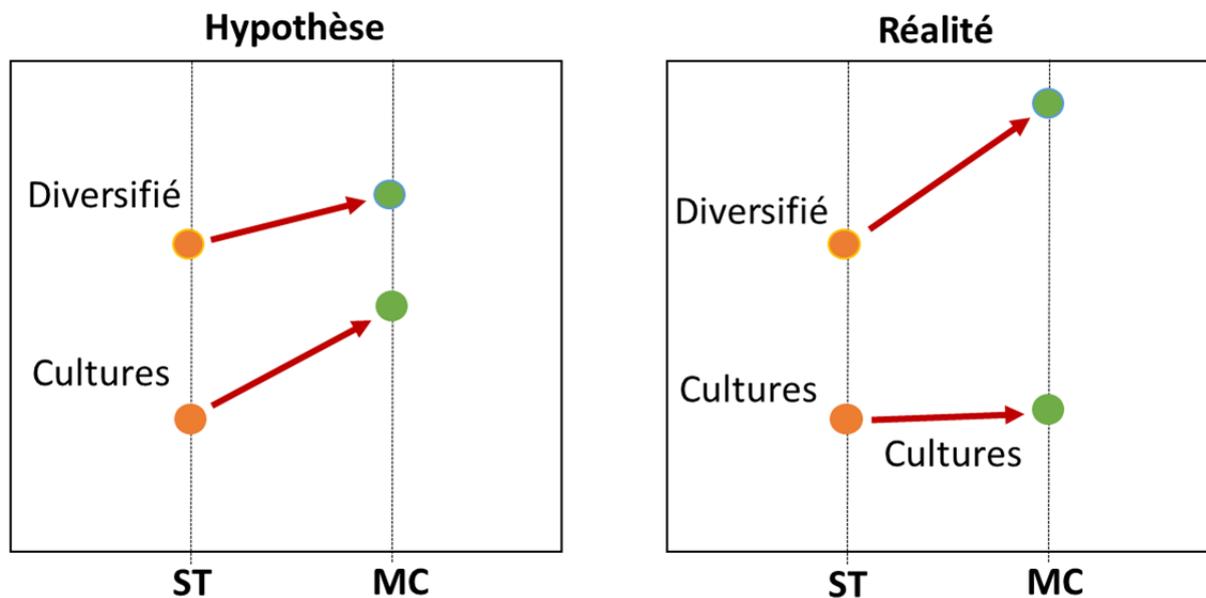


Figure 62 : Impact attendu (à gauche) et observé (à droite) de la présence des MC sur la diversité biologique ( $\alpha$  et  $\beta$ )

**Les effets positifs des MC pendant la période de reproduction sont toutefois très nets dans les paysages diversifiés**, permettant à de nombreuses espèces d'oiseaux et de chauves-souris (et de micromammifères) d'être présentes, d'y être plus abondantes ou nettement plus actives. Les MC ont donc un rôle d'extension de la surface des zones intéressantes pour la biodiversité et, lorsqu'elles sont installées dans les zones agricoles en bordure de ces paysages, elles peuvent contribuer à augmenter les territoires de chasse ou de reproduction. Les MC jouent dès lors aussi un rôle limitant la fragmentation des paysages diversifiés et améliorant la connectivité.

Par contre, dans les paysages d'openfields, caractérisés par un cortège d'espèces très spécifiques et visiblement très exigeants, les MC n'ont que peu d'effets (cfr le bruant jaune) voire pas d'effet ou des effets négatifs sur les effectifs reproducteurs de la bergeronnette printanière. Des investigations complémentaires (cfr la recommandation « 5.4 Limites et recommandations en regards des résultats de l'évaluation de l'efficacité des COA1/COA2 ») sont dès lors nécessaire pour:

- mieux comprendre les exigences écologiques de ces espèces quant à la structure de la végétation pour limiter cet impact pendant la période de reproduction à travers peut-être des aménagements complémentaires comme la présence de taches de sol nu;
- vérifier si, en automne et en hiver, les ressources alimentaires que les MC sont censées apporter, sont bien largement utilisées par des populations hivernantes ou migratrices.

Si ce rôle automnal et hivernal peut être démontré pour une partie des espèces cibles, l'impact négatif observé actuellement n'est finalement pas très important vu les surfaces occupées par les MC dans ces paysages agricoles intensifs. L'impact négatif observé sur des espèces très répandues, typique des grandes cultures, serait alors largement compensé par un rôle significatif pendant la période hivernale.

Il est donc important de pouvoir continuer à développer les analyses détaillées du rôle des MC sur les espèces cibles et la biodiversité en général, pour améliorer leur rôle dans la trame “agricole intensif” du réseau écologique.

## 5. Limites et recommandations

Dans cette partie, nous résumons les limites mises en lumière tout au long de ce rapport et rédigeons une série de recommandations dont l'objectif est d'aider les autorités compétentes, les exploitants et bureaux d'études à prendre des décisions dans leur domaine d'expertise relatif aux mesures compensatoires. Certains aspects s'étendent en dehors du secteur éolien *stricto sensu* et sont représentés par l'icône  ; les sujets concernant uniquement ou principalement l'éolien se voit ajouter l'icône 

### 5.1 Développer le cadre légal et opérationnel

#### Cadre législatif

1. De manière générale, si les principes visant à éviter la perte de biodiversité sont assez simples à comprendre, **l'encadrement juridique** s'y référant est souvent **ambigu** ou exprimé au conditionnel. Cela implique dès lors une **subjectivité abusive** dans la définition et l'application de mesures de compensations. Le manque d'explications quant à la distinction entre dommages évitables et inévitables, le manque de détails des lois européennes transposées en droit wallon quant à la manière dont doit être fixée la compensation, le manque de cohérence entre les différents niveaux législatifs sur la responsabilité des mesures, les difficultés de la quantification de l'équivalence et de son évaluation, l'absence d'obligation (ou d'application) de suivis, de contrôle et sanctions sont tout autant de choses compromettant la bonne réalisation d'un projet sans perte nette de biodiversité.
2. On rappellera toutefois que la compensation est bien l'action ultime à mettre en œuvre si **toutes les mesures d'évitement et de réduction ont bien été identifiées** et que le projet a une importance stratégique régionale ou locale démontrée. Comme il est pratiquement impossible que les compensations puissent remplacer d'égal à égal des pertes nettes d'habitats naturels ou de populations d'espèces, l'activation de la solution de mesures de compensation doit rester exceptionnelle. Sur le plan juridique, elle doit être définie de manière telle qu'elle soit la solution de dernier recours. C'était le cas dans les propositions de mise à jour de la Loi de la conservation de la nature lors de la précédente législature.
3. La Loi belge sur la Conservation de la Nature ne sanctionne pas le recours aux **mesures compensatoires à titre de conditions d'acceptation** des dérogations aux mesures de protection des espèces, menant à un risque d'une compensation plutôt administrative qu'écologique.
4. Les impacts potentiels sur les **espèces et habitats dits ordinaires** ne sont généralement **pas compensés**, bien que le déclin de certaines de ces espèces et la détérioration de certains habitats ne soient plus à prouver. Ces impacts mériteraient d'être intégrés directement dans le mécanisme des compensations, notamment en droit européen.

On rappellera l'exemple d'inventaires biologiques détaillés de Coléoptères et de Diptères réalisés par le Muséum d'histoire naturelle de Bruxelles dans le Jardin botanique Jean Massart créé en 1900 à partir de terres de cultures. Si un inventaire normal conduirait à obtenir de l'ordre 30 à 50 espèces avec une ou deux espèces protégées, le Muséum a

recensé **plus de 4.000 espèces, dont 160 nouvelles pour la Belgique (donc forcément très rares) et 3 espèces nouvelles pour la science** ! Actuellement, **même en Belgique, tous les jours des espèces et des biotopes rares et menacés disparaissent**. Les évaluations ne prennent pas assez en compte l'évitement et la réduction des impacts des projets et les inventaires biologiques, en se limitant à quelques espèces de plantes, des vertébrés et quelques groupes d'insectes sont largement incomplets.

5. En droit wallon, le **CoDT n'impose pas de réel cadre** pour les mesures compensatoires. Ces dernières sont alors fixées selon des logiques internes aux bureaux d'études et à l'administration régionale, laissant une part importante de subjectivité.

*Recommandations* : Nous recommandons une **clarification des termes** et de **l'encadrement légal et opérationnel** autour de la compensation afin d'uniformiser l'ensemble de la séquence ERC. En particulier, nous notons que davantage de clarté juridique doit être amenée quant à la manière de fixer la compensation (dans quelles situations, quels types de compensation, etc.) afin de faciliter le travail de chaque entité impliquée dans la compensation. Par ailleurs, il est crucial que les autorités publiques octroient les moyens légaux et opérationnels au renforcement des contrôles et sanctions de la compensation écologique auprès des différentes instances concernées. Les **clauses contractuelles** entre les porteurs de projet, propriétaires et agriculteurs devraient également être mieux définies et plus strictes de manière à éviter des situations ambiguës. Il serait envisageable de varier les types de contrats entre détenteurs du foncier et porteurs de projets afin d'assurer une application plus contraignante et logique des mesures. Les contrats liant les mesures aux terrains comme le concept français d'**obligations réelles environnementales** (ORE) permettraient à ce titre d'éviter les problèmes dû aux changements de propriété par exemple.

Afin d'inclure la biodiversité ordinaire, il est recommandé de s'inspirer de l'Allemagne, qui, dans le cadre de l'Eingriffsregelung, utilise la **compensation mutualisée**. Ce type de compensation peut se révéler bien plus intéressante que la compensation au cas par cas, car elle permet une **mise en commun des fonds** et une réalisation de projets à grande échelle. L'Etat pourrait également jouer un rôle comme au Luxembourg, qui, dans sa compensation mutualisée (qui ne concerne toutefois que les biotopes protégés), réserve une **part de ses terrains** à des fins d'amélioration écologique. Une **gestion de l'Etat** permettrait d'assurer que les mesures compensatoires soient appropriées et intégrées à l'échelle nationale dans un réseau logique. Cela éviterait également les conflits quant à la propriété des terres. Dans un autre registre, la **collaboration** pourrait être faite **avec le privé** comme en France, afin de profiter de la compétitivité du marché. Cependant, des **moyens devraient alors être mis en place** afin d'assurer la **qualité** et le **contrôle** régulier des parcelles compensatoires. Le manque de cadre global, la souplesse et l'imprécision des documents belges entraînent actuellement la confusion auprès des acteurs. Des documents spécifiant clairement les obligations de chacun, les exigences minimales requises lors de la conception des mesures compensatoires, une description claire des retours qu'attend l'Etat et finalement, des sanctions encourues, doivent être publiés. Les divers guides publiés par la France sur le sujet sont une source d'inspiration à considérer.

6. Le droit international s'avère ne pas être réellement contraignant. En effet, bien qu'il pose un cadre, les obligations s'y référant sont ambiguës et ne sont pas suffisamment claires.

*Recommandations* : Le pouvoir régional et fédéral devrait exiger un **cadre plus clair** pour l'Etat belge auprès des **instances internationales**. Alternativement, le pouvoir régional et fédéral pourrait **adopter la législation appropriée** pour parer les manquements internationaux. De

nombreux pays en dépit des règles internationales nébuleuses ont établi une législation complexe et appropriée sur les mesures compensatoires.

7. A l'heure actuelle, c'est le principe du pollueur-payeur qui est favorisé. Si ce système oblige l'implication directe du porteur de projet, la mise en place de la compensation peut être approximative et rend l'assurance des principes du *no net loss* complexe. En effet, les porteurs de projet ne sont pas forcément spécialisés dans la protection, la restauration et la conservation de la biodiversité.

**Recommandations** : Le porteur du projet doit porter la **responsabilité financière** mais la **responsabilité de la mise en application** de la mesure pourrait être portée par un **organisme externe spécialisé**, ayant davantage connaissance des composantes régissant la biodiversité, favorisant le respect des sous-principes de l'absence de perte de biodiversité. L'implication d'un organisme externe favoriserait la bonne mise en place de la compensation en réduisant les potentielles dérives et approximations. Cet organisme pourrait notamment assurer le rôle du contrôle et suivis des parcelles de compensation (voir point 2 des recommandations du cadre opérationnel). Nous notons que le SPW prévoit d'investiguer cet aspect avec le nouveau marché numéro O3.02.03-24-2283 – Lot 2.

## Cadre opérationnel

1. A travers cette étude, nous notons un **manque de cadre global** fixant le type de mesures compensatoires attendues en fonction des espèces impactées et en fonction de l'importance des enjeux (notamment dans le cadre des dérogations espèces). A l'heure actuelle, il n'existe qu'**un cahier des charges officiel** concernant les mesures COA1/COA2 (contexte éolien). Les autres types de mesures proposées dans les notes de références à destination du secteur éolien sont vagues et laissent une marge d'appréciation importante au promoteur et à l'autorité compétente quant à la description de la mesure, aux prescriptions pour son installation et sa gestion. A titre d'illustration, si la mesure attendue concerne la création d'une zone humide, les exploitants ne disposent pas d'un cahier des charges clair apportant des informations quant aux caractéristiques abiotiques et quant aux espèces à favoriser. De la même manière, la description actuelle de la mesure n'explique pas la gestion à prévoir pour la majeure partie des compensations. En dehors du secteur éolien, à notre connaissance, il n'existe aucun cahier des charges officiels.
2. Par ailleurs, à notre connaissance, aucun document ne prévoit la nécessité d'effectuer un contrôle de la bonne mise en place de la mesure selon les cahiers des charges, rendant difficile le respect des principes sous-jacents à la compensation<sup>119</sup>.
3. Notre étude témoigne également d'un manque de cahiers des charges pour définir l'évaluation de l'efficacité des mesures compensatoires.

**Recommandations** : Nous recommandons que **l'administration régionale définisse clairement le type de mesure adapté pour chaque espèce** (ou par groupe d'espèces) et pour chaque habitat.

Le document devrait contenir des **caractéristiques de la mesure, des prescriptions pour sa mise en place, sa gestion et le protocole de suivi de son efficacité ainsi que l'organisme responsable de ces actions**. Les méthodologies de suivi devraient également être clairement

définies. L'exemple le plus parlant à l'étranger qui est parvenu à une telle chose est le Luxembourg avec son guide des mesures "CEF". Ce guide reprend pour chaque espèce protégée par la législation nationale et supranationale une description claire de sa biologie et de son autécologie. Sur base de la littérature disponible, il propose un ensemble de mesures et définit la probabilité théorique de réussite de chacune d'elle. En fonction des paramètres "espèce" et "probabilité de réussite" il définit ainsi un suivi adapté et raisonné à réaliser.

Outre l'investigation d'autres études, il est également possible de s'inspirer des lignes directrices relatives **aux restaurations des habitats communautaires protégés Natura 2000**. Ces derniers font notamment état des mesures de gestion et de restaurations, des espèces diagnostiques (végétales) et des dynamiques du milieu (ce comprenant les évolutions potentielles du milieu). D'un point de vue juridique, **l'intégration de la mesure dans le réseau N2000** pourrait être envisagée. Cette proposition mériterait une étude approfondie de la faisabilité et des aboutissements de cette possible intégration.

Dans un même temps, il est nécessaire d'établir les **suivis et contrôles nécessaires** pour la vérification de la **bonne mise en place des compensations**. Selon les compensations, la fréquence des suivis, les protocoles, les objectifs, les délais de mise en place, sont un ensemble de facteurs à prendre en compte pour attester de la bonne mise en place de la compensation.

Nous pensons que l'ensemble de cette recommandation devrait être considérée en **priorité** notamment dans le but d'atteindre les **objectifs de la nouvelle Loi de la Restauration de la Nature**, à savoir :

*Article 20, § 1, j) : Les États membres assurent le suivi des éléments suivants: l'étendue et la localisation des zones dans lesquelles les types d'habitats et les habitats des espèces se sont détériorés de manière significative et des zones faisant l'objet de mesures compensatoires (...), ainsi que l'efficacité des mesures compensatoires visant à garantir qu'aucune détérioration des types d'habitats et des habitats des espèces n'est significative au niveau de chaque région biogéographique sur leur territoire et à garantir que la réalisation et le respect des objectifs énoncés aux articles 1er, 4 et 5 ne sont pas compromis.*

## 5.2 Respecter le cadre ERC

1. Les différents échos que nous avons pu recevoir d'exploitants, bureaux d'études et autres organismes nous indiquent que le recours à la compensation est parfois utilisé à outrance **sans respecter au préalable la séquence ERC**.

**Recommandations :** Il faut s'assurer que la **hiérarchie ERC est respectée** avant de considérer les mesures de compensation et de les évaluer. Cela peut être réalisé, par exemple, en demandant au **promoteur de fournir de multiples scénarios pour son projet** et de réaliser une comparaison des impacts potentiels sur l'environnement et la santé humaine. De cette manière, il est capable de prouver qu'il a implémenté les deux premières étapes de la séquence ERC avant d'évaluer l'impact résiduel du parc et de proposer des mesures de compensation. Cette méthode est inscrite dans la législation Française et chaque EIE est composée de plusieurs scénarios. Par ailleurs la réalisation d'une **plateforme en ligne**, comme l'ont fait le Luxembourg, l'Allemagne et la France, reprenant tous les projets soumis à EIE, apporterait de la transparence.

## 5.3 Assurer une bonne gestion administrative du système de compensation

-  1. Il existe un **manque de systématisme** dans l'inventaire et le recensement des mesures compensatoires notamment au niveau de leur localisation, caractéristiques (e.g date d'implantation), suivis réalisés, rendant difficile le bilan de la compensation en Wallonie, notamment sur les points dysfonctionnels qui peuvent dès lors passer inaperçus.
-  2. De la même manière, il n'existe **pas de suivi systématique de chaque mesure**, rendant impossible la vérification de l'équivalence écologique et de la pérennité de la mesure au niveau de la présence des espèces ciblées et de l'efficacité des mesures.
-  3. La durabilité de la mesure repose notamment sur **l'application de sanctions auprès des différentes parties impliquées dans le projet lorsqu'il y a transgression du cadre législatif**. A l'heure actuelle, plusieurs cas existent où des mesures ne sont soit pas bien implantées, soit pas implantées du tout, sans pour autant qu'il y ait des sanctions de la part des autorités compétentes.

*Recommandations* : Outre le développement de la législation quant aux suivis des mesures (obligations, responsabilités, etc), il est primordial de développer un cadre opérationnel pour des suivis systématiques (inventaire, cartographie, protocoles de suivis faunistiques et floristiques), sans quoi aucun des 3 principes<sup>119</sup> de la compensation ne peut être vérifié. Des suivis réguliers permettraient notamment d'assurer le contrôle des mesures et d'appliquer des sanctions proportionnées. Une solution pourrait être de **publier des guides détaillant les exigences de suivi requises** et de réclamer des rapports réguliers des mesures, comme le fait la France.

A l'instar de la plateforme "GéoMCE" en France, et tel que l'exige la nouvelle Loi de la restauration de la nature, **ces mesures devraient être recensées, cartographiées accessibles** sur une plateforme telle que CIGALE (ou plus anciennement OGEAD où l'on trouve une cartographie des EIE). Cet encodage dans une plateforme standardisée devrait faire l'objet d'un encodage standardisé lors de la demande de dérogation à la Loi de la conservation de la nature pour atteintes à des espèces protégées de manière à ce que les structures d'avis (DNF, DEMNA, Pôles Environnement et Ruralité du CESE Wallonie) puisse disposer d'informations structurées pour rendre des avis cohérents.

## 5.4 Limites et recommandations en regards des résultats de l'évaluation de l'efficacité des COA1/COA2

### LIMITES DE L'ÉTUDE

1. A cause du calendrier et de la durée limitée du projet, les résultats du projet No Net Loss sont nécessairement limités : l'efficacité des mesures de compensation COA1/COA2 n'a été évaluée que durant la période printanière, dans une zone géographique limitée et avec des protocoles spécifiques.

---

<sup>119</sup> Principes d'équivalence écologique, de continuité et pérennité des fonctions écologiques et d'additionnalité.

Tout d'abord, l'étude a été réalisée sur **la seule période de reproduction des espèces (printemps) ignorant leur rôle pendant l'automne ou l'hiver**. Or les mesures de compensation ont en principe aussi un rôle pour les populations migratrices et hivernantes, qui n'ont pu être étudiées. Par ailleurs, il ne s'agit que d'un premier échantillonnage pendant une année très particulière avec une gestion des couverts qui a été particulièrement retardée vu les conditions climatiques. Il nous semble donc nécessaire de confirmer ces observations au moins une autre année et surtout d'évaluer leur rôle en automne et en hiver. Ensuite, le suivi des parcelles n'a été réalisé que dans une **zone géographique définie** (nord sillon sambro-mosan) ce qui peut influencer les réponses biologiques, avec la présence ou non de certaines espèces dans la région étudiée (cfr par exemple les bruants finalement peu fréquents dans les sites retenus).

2. De plus, les données récoltées varient en fonction des **protocoles utilisés**. A titre d'exemple, la comparaison des protocoles avifaune qui visaient à évaluer l'intérêt des mesures de compensation pour toutes les espèces cibles a pu montrer que les busards sont détectés uniquement lorsque l'humain est sur le terrain et d'autant plus via le transect que via le point d'écoute plus long. Ainsi, bien que les mesures COA1/COA2 pourraient être attractives pour les rapaces, notamment via la présence importante de galeries de micromammifères sur les mesures, les protocoles utilisant des enregistrements automatiques n'ont pas pu le mettre en évidence.
3. Enfin, **les logiciels employés** pour le traitement des données (BirdNet pour l'avifaune & Kaleidoscope pour les chiroptères) comportent leurs parts de limites, bien que nous ayons essayé de les minimiser, avec les courbes de régression notamment.

*Recommandations* : Sur base des résultats obtenus, voici les recommandations relatives aux protocoles à suivre pour évaluer l'efficacité des mesures de compensation COA 1/2 sur les espèces cibles. Pour certaines espèces de **passereaux** (bruant jaune, bruant proyer, bergeronnette printanière, perdrix grise, caille des blés), parmi les protocoles testés, le protocole de la **birdbox** est ce qui apparaît comme le plus optimal en termes de nombre d'observations récoltées et qualité audio de ces dernières pour évaluer l'efficacité de la mesure pendant la **période printanière**. Un avantage important est aussi de disposer des enregistrements pour valider des présences étonnantes. Mais par contre les oiseaux qui ne chantent pas de manière claire ont une très faible détectabilité.

Pour les **rapaces au printemps**, nous recommandons l'expérimentation du protocole consistant en des **points d'observations** à travers le réseau de parcelles de mesures de compensation qui nous apparaît plus adapté aux comportements de l'espèce. Le nombre et la durée de ces points est à adapter selon la quantité de parcelle et leur arrangement spatial, mais idéalement il faut le moins de points possibles et des points avec des champs de vision les plus dégagés possibles. Nous proposons une durée de 2h à 4h par zone de compensations. Pour la **période hivernale, rapace et passereaux confondus**, un protocole de **parcours des parcelles** est recommandé. Ce protocole se base sur le parcours des parcelles de mesures de compensation dans leur entièreté et la notation de toutes les observations. Pour une approche standardisée et répliquable, nous estimons une échelle de plus ou moins **20min/ha**. Cette durée est à adapter selon l'agencement spatiale des parcelles. La birdbox et les autres protocoles testés pour la période printanière ne sont pas intéressants en hiver vu le faible nombre de chanteurs.

Pour le suivi des chiroptères au printemps également, le **protocole de suivi via batbox s'est montré efficace** (72h; 3 répétitions). Néanmoins, il serait intéressant d'**ajouter des répétitions en été** afin de s'assurer de la fréquentation des chauves-souris également à cette période et

éventuellement jusqu'au début de l'automne pour pouvoir enregistrer les éventuelles chauves-souris migratrices qui pourraient profiter des COA1/COA2.

Ensuite, il serait utile **d'analyser le comportement des chauve-souris** (par exemple via comptage des buzz de capture qui correspondent à un signal lors de la capture d'une proie) afin de déterminer si les chauves-souris enregistrées sont des chauves-souris qui fréquentent le site pour chasser, si elles sont en transit ou utilisent le site d'une autre manière.

**D'autres logiciels de traitement de données pourraient être étudiés** et comparés afin de sélectionner un logiciel de référence pour le traitement des enregistrements des oiseaux et chiroptères.

## LOCALISATION ET CONFIGURATION DES MESURES DE COMPENSATION

1. Au vu des résultats, les **mesures de compensation** sont nettement plus favorables aux espèces de l'avifaune et chiroptères en **milieux diversifiés** qu'en cultures. L'influence positive de la présence d'un réseau de mesures de compensation et la taille des parcelles n'a pas pu être mise en évidence.

*Recommandations* : Toujours en ce qui concerne la période printanière, les mesures de compensations COA1/COA2 peuvent être considérées comme un **renfort au maillage écologique existant en milieu diversifié**, que ça soit pour les chiroptères ou l'avifaune global (hors espèces cibles). Dès lors, nous proposons que la mesure COA1/COA2 puisse être considérée comme une **mesure complémentaire** favorisant les espèces déjà présentes localement en **milieu diversifié**.

## ESPÈCES CIBLES DES MESURES DE COMPENSATION

1. En période printanière, les COA1/COA2 ne semblent **pas appropriés** pour répondre au **cortège d'espèces d'oiseaux cibles**. Par exemple, la bergeronnette a répondu négativement aux mesures, alors que le bruant jaune y a répondu positivement (en milieu diversifié), témoignant d'une différence dans l'utilisation de l'habitat entre ces deux espèces. De même, il est évident que les rapaces comme les busards n'utilisent pas exactement le même type de paysage agricole que les bruants, qui préfèrent plutôt les milieux bocagers.

*Recommandations* : Nous recommandons de **considérer distinctement** les **busards** et les **passereaux** des champs lors de la mise en place de compensations. De manière générale, ces espèces ont des besoins différents et parfois-même non compatibles. Il convient d'adapter le cahier des charges selon ces espèces. Dans le premier cas, des **études plus approfondies** sur l'utilisation des mesures COA1/COA2 par les busards devraient être réalisées avec des protocoles de points d'observations et parcours du réseau des parcelles afin de vérifier leur efficacité. Dans le deuxième cas, les espèces, dont le bruant jaune, bénéficieraient de la présence **d'éléments diversifiés** comme des haies, lors de l'implantation de compensation COA1/COA2. D'autres mesures complémentaires pourraient être utiles comme la présence d'espace de sol nus pour la bergeronnette. Cette dernière pourrait également être retirée de la liste des espèces cibles du COA1/COA2 si elle ne profite pas des compensations.

Une solution supplémentaire pourrait être de considérer **des zones géographiquement différentes** dans lesquelles favoriser les passereaux avec l'ajout de haies dans les

compensations COA1/COA2 ou dans lesquelles favoriser les rapaces par le maintien d'espaces ouverts.

## VÉRIFICATION DE L'EFFICACITÉ DES MESURES DE COMPENSATIONS

### ***Pour l'avifaune***

1. D'une part, **sur base des protocoles et de la période étudiée**, les mesures de compensation COA1/COA2 se sont montrées **inefficaces** pour l'accueil des espèces cibles en milieux de culture, excepté pour le bruant jaune (très léger effet positif) et le vanneau huppé (ciblé indirectement).
2. D'autre part, les résultats de ce projet témoignent d'un manque de retours d'expériences sur l'état de lieux des compensations COA1/COA2 en Wallonie et leur efficacité. Ce constat pourrait être le même pour d'autres types de mesures (e.g. aménagements forestiers, verger, etc.) et il est donc important d'investiguer la question pour ajuster ces mesures et ainsi assurer une absence de perte nette de biodiversité lors de projet impactant les espèces et/ou les habitats.

***Recommandations*** : Il est **primordial** d'investiguer davantage la question de l'efficacité des mesures COA1/COA2, avec des **suivis hivernaux** et des protocoles complémentaires plus adaptés à certaines espèces. Il conviendra ensuite de discuter et réfléchir aux adaptations nécessaires des COA1/COA2. L'évaluation devrait être réalisée **sur plusieurs années et à travers les saisons**, sur un échantillonnage de parcelles de mesures de compensation représentatif. Les résultats montrant une inefficacité des mesures sont aussi l'occasion de marquer une nouvelle fois l'importance du **respect de la séquence ERC**, avec la compensation comme dernier et ultime recours à un projet d'intérêt général.

D'autre part, au vu de nos résultats, nous recommandons une étude approfondie de l'efficacité des COA1/COA2 dans la continuité de NoNetLoss ainsi que des **autres types de mesures compensatoires**, afin de mettre en lumière les améliorations à apporter.

### ***Pour les chiroptères***

En zone agricole, d'après les études d'incidences, l'impact des projets éoliens sur les chiroptères est faible. Il est donc rarement proposé de mettre en place des mesures de compensation pour ce taxon, et les COA1/COA2 ne sont pas les mesures de compensation identifiées comme compensant les potentiels impacts sur ce taxon (les COA1/COA2 visant l'avifaune). Néanmoins, les résultats de cette étude montrent que les **COA1/COA2**, potentiel terrain de chasse, **attirent les chiroptères lorsqu'elles sont installées en milieux diversifiés**. Les milieux diversifiés présentent en effet plus de corridors écologiques et potentiellement plus de gîtes à proximité (présence de bâti, de zones boisées, etc.). Même si les COA1/COA2 en cultures pourraient être intéressants en termes de ressources alimentaires, certains groupes et espèces de chiroptères ne peuvent pas s'y rendre par manque de réseau écologique (ex: les Plecotus).

**Les mesures de compensation influencent positivement la diversité spécifique et la diversité des groupes de chauve-souris**. En outre, elles montrent une plus grande activité que les sites témoins pour les Plecotus, les Pipistrelles, les Murins et les

Sérotules, qui sont des groupes restant à proximité de leurs gîtes, plus présents en milieux diversifiés.

Recommandations : Des études complémentaires devraient être réalisées pour vérifier les hypothèses présentées ci-avant ainsi que pour compléter les données. Si ces hypothèses étaient confirmées, nous recommandons de considérer les aspects suivants :

- Bien que les SER et PIP (dont certaines espèces décrites à enjeu moyen à majeur dans les notes de références (SPW-ARNE, 2024)) soient impactées positivement par les COA1/COA2, on ne peut considérer de telles mesures comme des compensations pour ces espèces sans études comportementales permettant de mettre en lumière l'utilisation réelle de la mesure pour chaque espèce spécifique. En outre, selon les notes de références (SPW-ARNE, 2024), pour les SER et la Pipistrelle de Nathusius, les mesures d'atténuation sont jugées comme suffisantes et cela n'implique a priori pas d'impacts résiduels.
- Des COA1/COA2 pourraient être proposés par les promoteurs éoliens comme **mesures d'accompagnement**, afin de favoriser les Sérotules, Myotis, Pipistrelles et Plecotus.
- Dans ce cas, les mesures seraient localisées préférentiellement en milieux diversifiés pour se trouver à proximité des gîtes et de la végétation afin de jouer pleinement leur rôle.

En outre, il serait intéressant d'étudier les points suivants afin d'**optimiser les COA1/COA2** pour qu'elles soient d'autant plus favorables aux chiroptères :

- Envisager des **aménagements écologiques complémentaires** aux COA1/COA2, tels que des haies, des bandes enherbées ou des zones de friche, pour renforcer l'attractivité pour les insectes, augmentant ainsi l'abondance des proies pour les chiroptères.
- Favoriser une **implantation en proximité de corridors écologiques** naturels (zones boisées, cours d'eau, éléments bocagers), permettant aux chauves-souris un déplacement facilité entre leurs gîtes et les zones de chasse.
- Adopter une **approche d'agriculture respectueuse de l'environnement à proximité des zones d'implantation des COA1/COA2**, en limitant les pesticides et en intégrant des cultures attractives pour les insectes, pour enrichir davantage la chaîne alimentaire.
- Évaluer l'intégration d'**abris spécifiques** pour les chauves-souris, comme des gîtes artificiels, dans des zones proches des COA1/COA2, afin de favoriser la colonisation et de fournir des sites de repos sûrs.

## 5.5 Explorations et améliorations scientifiques



1. Au vu des résultats, il nous semble important d'**étudier davantage les impacts éoliens et les compensations à proposer en conséquence**. A titre d'exemple, les connaissances relatives aux impacts des éoliennes sur les chiroptères sont encore limitées et mériteraient d'être approfondies (Arnett & May, 2016). Des informations récentes relatives aux taux de mortalité moyens des éoliennes en Europe tendent vers l'ordre de 14 individus par éolienne et par an sur des éoliennes suivant les méthodes ERC (avec bridage notamment) et peuvent monter jusqu'à 70 individus en deux mois dans le cas de petites éoliennes sans coupure des rotors (C. C. Voigt et al., 2022). Un approfondissement de la **thématique sur la mortalité** (et les effets indirects) par les éoliennes, ainsi que la présence des espèces, selon les habitats permettrait notamment de proposer des potentielles mesures d'atténuation et de compensation appropriées et efficaces pour les chauves-souris mais aussi pour chaque taxon potentiellement

impacté. Nous notons que le nouveau marché O3.02.03-24-1882 prévoit d'investiguer la question des impacts des éoliennes sur la cigogne noire et sur la cigogne blanche.

Recommandations : Nous recommandons d'une part un **approfondissement des connaissances au niveau des dommages directs et indirects** sur les différentes espèces potentiellement impactées de manière à proposer des **mesures écologiques appropriées**.



1. Que ça soit d'un point de vue scientifique ou opérationnel, **l'équivalence écologique** est un **concept parfois flou** tant la mesure des paramètres propres à un habitat est difficilement quantifiable et est chronophage. A titre d'illustration, peut-on assurément confirmer un impact de l'éolien cadré à 1,1 ha ? Cet impact prend-t-il en compte l'effet négatif diffus ? Par ailleurs, la reproduction de ces paramètres est tout autant, voire plus, difficile à mettre en place. Les **structures du paysage** au sein desquelles sont intégrés les sites impactés ne sont **pas assurément transposables** tel quel.

Recommandation : Il convient d'étudier davantage si les différents éléments du paysage, des écosystèmes et leurs aspects respectifs sont transposables selon les habitats afin de s'assurer que l'équivalence est possible. Il pourrait en résulter un tableau reprenant les **éléments primordiaux à maintenir**. Encore une fois, certains pays ont déjà mis en place des systèmes afin d'assurer l'équivalence écologique. La France dans sa compensation mutualisée définit des **"UC"** qui assurent une équivalence écologique stricte entre dégradation et compensation. Dans le cadre de sa compensation au cas par cas, elle a publié un guide qui donne les outils nécessaires au dimensionnement des mesures et permet donc d'atteindre l'équivalence écologique.

Il serait également pertinent d'évaluer **l'attractivité des mesures compensatoires COA1/COA2 pour d'autres taxons** comme les insectes.

*De manière générale, nous recommandons aux autorités locales d'apprécier l'entièreté de la Loi sur la Restauration de la nature, représentant une véritable opportunité de favoriser la non-perte de biodiversité et le principe de compensation à sa juste valeur. La stratégie adoptée par la Belgique doit être en alignement avec les constats dressés dans ce projet et prévoir davantage de clarté, de cadres, de suivis systématiques, afin de répondre au mieux aux enjeux de modification du territoire pour que le développement durable ne soit pas une réponse administrative mais bien une opportunité de concilier la conservation de la nature et les activités humaines. Il est également suggéré que la Région Wallonne rattrape ses lacunes législatives et conceptuelles en matière de compensation en s'inspirant et en collaborant avec des pays étrangers soumis aux mêmes législations supranationales et ayant une expérience en matière de compensation plus importante et un cadre législatif et théorique bien détaillé.*

## 6. Les perspectives à la clôture du projet

Le projet NoNetLoss a mis en évidence une absence d'efficacité pour les espèces cibles des mesures compensatoires au printemps en milieu agricole mais une efficacité plutôt marquée pour les milieux diversifiés lorsque l'on considère l'avifaune globale et les chiroptères. En ce qui concerne les espèces cibles, seul le bruant jaune et le vanneau huppé sont impacté positivement par les mesures. Nous concluons qu'il est **primordial** d'évaluer cette efficacité en hiver, période

de pleine efficacité du couvert nourricier (COA1). Des observations devraient être également réalisées sur plusieurs années afin de consolider les résultats. Un protocole pour détecter la présence des rapaces (busards et hiboux des marais) devrait être développé. En outre, NNL s'est concentré sur un type de compensation (COA1/COA2) et deux taxons. Il est important de continuer la vérification de l'efficacité des autres mesures et sur d'autres taxons.

D'un point de vue administratif et opérationnel, NNL a mis en lumière des manquements concernant le système de fixation des compensations. Un canva systématique pourrait être mis en place afin de guider les promoteurs concernant le type de mesures, les suivis à réaliser, etc. Entre autres, nous recommandons l'investissement dans la recherche législative d'un Fonds organique « nature ». En particulier il est important de rappeler l'importance de suivre la séquence ERC avec la compensation comme ultime recours.

## Bibliographie

- Akerboom, S., Schoukens, H., Backes, C., Cliquet, A., Anker, H. T., Bovet, J., Cavallin, E., Kock, W., McFillivray, D., & Mathews, F. (2019). Wind Energy Projects and Species Protection Law : A Comparative Analysis of the Application of EU Law in Five Member States. *European Energy and Environmental Law Review*, 28(Issue 4), 144-158. <https://doi.org/10.54648/EELR2019111>
- ALLIGAND, G., MILLARD, F., MÜLLER, A., LEGENDRE, T., & HUBERT, S. (2018). *Évaluation environnementale—Guide d'aide à la définition des mesures ERC*. <https://economie.eafrance.fr/sites/default/files/2020-07/Doc239-Eval-Envi-Def-des-mesures-ERC.pdf>
- Andreadakis, A., Berthault, D., Bigard, C., Benoit, F., & Millard, F. (2021). *GUIDE POUR LA MISE EN ŒUVRE DE L'ÉVITEMENT; Concilier environnement et aménagement des territoires*. [https://www.notre-environnement.gouv.fr/IMG/pdf/guide\\_evitement\\_\\_vf.pdf](https://www.notre-environnement.gouv.fr/IMG/pdf/guide_evitement__vf.pdf)
- Andreadakis, A., Bigard, C., Delille, N., Sarrazin, F., & Schwab, T. (2021). *Approche standardisée du dimensionnement de la compensation écologique*. [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/Approche\\_standardis%C3%A9e\\_dimensionnement\\_compensation\\_%C3%A9cologique.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/Approche_standardis%C3%A9e_dimensionnement_compensation_%C3%A9cologique.pdf)
- Arnett, E. B., & May, R. F. (2016). Mitigating wind energy impacts on wildlife : Approaches for multiple taxa. *Human-Wildlife Interactions*, 10(1), 28-41.
- Aves, Natagora. (2022). *Le programme de Surveillance des Oiseaux Communs en Wallonie SOCWAL Notice à l'intention des collaborateurs – saison 2022*. [https://aves.natagora.be/fileadmin/Aves/Documents/Notice\\_SOCWAL\\_2022.pdf](https://aves.natagora.be/fileadmin/Aves/Documents/Notice_SOCWAL_2022.pdf)
- Barataud, M. (2015). *Écologie acoustique des Chiroptères d'Europe, Identification des espèces, étude de leurs habitats et comportements de chasse*. [http://ecologieacoustique.fr/wp-content/uploads/lisezmoi\\_3e-edition.pdf](http://ecologieacoustique.fr/wp-content/uploads/lisezmoi_3e-edition.pdf)
- Bas, A., & Dieckhoff, L. (2021). *La compensation écologique pour les projets éoliens terrestres et photovoltaïques au sol en France et en Allemagne*. [https://energie-fr-de.eu/files/ofaenr/04-notes-de-synthese/02-acces-libre/06-societe-environnement-economie/2021/OFATE EIFER\\_Synthese\\_Compensation\\_Ecologique\\_2104.pdf](https://energie-fr-de.eu/files/ofaenr/04-notes-de-synthese/02-acces-libre/06-societe-environnement-economie/2021/OFATE EIFER_Synthese_Compensation_Ecologique_2104.pdf)
- Bas, A., Dieckhoff, L., Dinh, E., & Clermont, S. (2021). La compensation écologique en Allemagne : Réglementation, pratiques et planification. *Les Cahiers de droit*, 62(4), 1009-1058. <https://doi.org/10.7202/1084257ar>
- Bennun, L., van Bochove, J., Fletcher, C., Wilson, D., Phair, N., & Carbone, G. (2021). *Industry guidance for early screening of biodiversity risk—Onshore wind*. Gland, Switzerland: IUCN and Cambridge, UK: The Biodiversity Consultancy. [https://iucn.org/sites/default/files/2023-05/early\\_risk\\_screening\\_guidance\\_onshore\\_wind.pdf](https://iucn.org/sites/default/files/2023-05/early_risk_screening_guidance_onshore_wind.pdf)
- CUVELIER, C. (2018). *Révisions partielles des plans de secteur—État de l'environnement wallon*. Etat de l'environnement wallon.

[http://etat.environnement.wallonie.be/cms/render/live/fr\\_BE/sites/eew/contents/indicatorsheets/TERRIT6.html](http://etat.environnement.wallonie.be/cms/render/live/fr_BE/sites/eew/contents/indicatorsheets/TERRIT6.html)

DIECKHOFF, L., & IMBERT, I. (2022). *La compensation mutualisée en Allemagne : Quelles implications écologiques et territoriales ?*

Dupont, V., Schoukens, H., & Born, C.-H. (2018). Belgium. In W. Wende, G.-M. Tucker, F. Quétier, M. Rayment, & M. Darbi (Éds.), *Biodiversity Offsets : European Perspectives on No Net Loss of Biodiversity and Ecosystem Services* (p. 55-89). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-72581-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-72581-9_5)

Ecker, S., & Pröbstl-Haider, U. (2016). Erfolgskontrolle von Ausgleichsflächen im Rahmen der Bauleitplanung in Bayern. *Naturschutz und Landschaftsplanung*.

Farina, A., James, P., Bobryk, C., Pieretti, N., Lattanzi, E., & McWilliam, J. (2014). Low cost (audio) recording (LCR) for advancing soundscape ecology towards the conservation of sonic complexity and biodiversity in natural and urban landscapes. *Urban Ecosystems*, 17(4), 923-944. <https://doi.org/10.1007/s11252-014-0365-0>

Flipo, A. (2018). *Etude et modélisation des habitats de chasse potentiels des chiroptères en Wallonie sur base de données acoustiques*.

Gaultier, S. P., Marx, G., & Roux, D. (2019). *Éoliennes et biodiversité : Synthèse des connaissances sur les impacts et les moyens de les atténuer*. [https://eolien-biodiversite.com/IMG/pdf/lpo\\_oncfs\\_2019.pdf](https://eolien-biodiversite.com/IMG/pdf/lpo_oncfs_2019.pdf)

Goffart, P. (2012). La compensation écologique en Wallonie : De la théorie à la pratique. *Kluwer - Aménagement-Environnement*, 41-47.

GOUZERH, A. (2023). *Améliorer la prise en compte de la biodiversité dans la planification et la conception des projets éoliens et photovoltaïques*.

Hale, J. D., Fairbrass, A. J., Matthews, T. J., & Sadler, J. P. (2012). Habitat Composition and Connectivity Predicts Bat Presence and Activity at Foraging Sites in a Large UK Conurbation. *PLOS ONE*, 7(3), e33300. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033300>

Heitz, C., & Jung, L. (2016). *Cadavre de Pipistrelle commune (C. LOUVET)*.

Ledec, G. C. (2020). *Biodiversity offsets: A user guide | Policy Commons*. <https://policycommons.net/artifacts/1271167/biodiversity-offsets/1854018/>

LEGENDRE, T., & GUERIN, M. (2019). *LES CAHIERS DE BIODIV'2050 : INVENTER - Guide d'aide au suivi des mesures d'évitement, de réduction et de compensation des impacts d'un projet sur les milieux naturels*.

MECB. (2019). *Système numérique d'évaluation et de compensation en éco-points ; Guide sur les modalités de calcul*.

MECB. (2021). *Leitfaden zur Bewältigung von Beinrächtingungen bei Eingriffen und Projekten, hinsichtlich einer Auswahl besonders geschützter Arten*.

Paillet, Y., Bergès, L., Hjältén, J., Ódor, P., Avon, C., Bernhardt-Römermann, M., Bijlsma, R., De Bruyn, L., Fuhr, M., Grandin, U., Kanka, R., Lundin, L., Luque, S., Magura, T., Matesanz, S., Mészáros, I., Sebastià, M. -Teresa, Schmidt, W., Standovár, T., ... Virtanen, R. (2010). Biodiversity Differences between Managed and Unmanaged Forests : Meta-Analysis of Species Richness in Europe. *Conservation Biology*, 24(1), 101-112. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01399.x>

Pérez-Granados, C., & Traba, J. (2021). Estimating bird density using passive acoustic monitoring : A review of methods and suggestions for further research. *Ibis*, 163(3), 765-783. <https://doi.org/10.1111/ibi.12944>

Perret, M. (2017). *Eolien et biodiversité : Prise en compte des enjeux relatifs à la biodiversité dans le cadre réglementaire français*.

Peste, F., Paula, A., Da Silva, L. P., Bernardino, J., Pereira, P., Mascarenhas, M., Costa, H., Vieira, J., Bastos, C., Fonseca, C., & Pereira, M. J. R. (2015). How to mitigate impacts of wind farms on bats? A review of potential conservation measures in the European context. *Environmental Impact Assessment Review*, 51, 10-22. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.11.001>

Petit, N., & Terr, U. de L. > M. scienc géogr or gén fin spéc urb dév. (2024). *Évaluation de la mise en œuvre et de l'appropriation sociale des compensations écologiques des projets urbains en province de Liège*. <https://matheo.uliege.be/handle/2268.2/20403>

Robbins, C. S. (1981). Effect of time of day on bird activity. *Biometrics*, 39(4), 1123. <https://doi.org/10.2307/2531357>

Rydell, J., Engström, H., Hedenström, A., Kyed Larsen, J., Pettersson, J., & Green, M. (2012). *The effect of wind power on birds and bats: A synthesis*. Naturvårdsverket. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:naturvardsverket:diva-9270>

SDPPD. (2021). *Séquence EVITER - REDUIRE - COMPENSER ; UNE DÉMARCHE POUR INTÉGRER L'ENVIRONNEMENT DANS L'AMÉNAGEMENT DES TERRITOIRES*. [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/publications/21199\\_ERC-synthese\\_FICHE\\_BATweb.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/publications/21199_ERC-synthese_FICHE_BATweb.pdf)

Simar, J., & Kervyn, T. (2011). *Note de référence pour la prise en compte de la biodiversité*.

SPW-ARNE. (2024). *Procédures d'inventaire et mesures à prendre en faveur de la biodiversité dans le cadre des projets éoliens en Wallonie*.

Sundberg, L. (2022, juin 27). *Bats as indicators of habitat connectivity in urban environments* [First cycle, G2E]. SLU, Dept. of Urban and Rural Development. <https://stud.epsilon.slu.se/17938/>

Symes, L., Sugai, L. S., Gottesman, B., Pitzrick, M., & Wood, C. (2023). *Acoustic analysis with BirdNET and (almost) no coding : Practical instructions*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8357176>

Toenies, M., & Rich, L. (2021). Advancing bird survey efforts through novel recorder technology and automated species identification. *California Fish and Wildlife Journal*, 107(2), 56-70. <https://doi.org/10.51492/cfwj.107.5>

Truchon, H., de Billy, V., Bezombes, L., & Padilla, B. (2020). *Dimensionnement de la compensation ex ante des atteintes à la biodiversité*.

Valentini, S. (2023). *Les plantations de conifères à l'échelle du paysage appauvrissent-elles la diversité aviaire locale ?* <https://matheo.uliege.be/handle/2268.2/18932>

Voigt, C. (2021). Insect fatalities at wind turbines as biodiversity sinks. *Conservation Science and Practice*, 3. <https://doi.org/10.1111/csp2.366>

Voigt, C. C., Kaiser, K., Look, S., Scharnweber, K., & Scholz, C. (2022). Wind turbines without curtailment produce large numbers of bat fatalities throughout their lifetime : A call against ignorance and neglect. *Global Ecology and Conservation*, 37, e02149. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02149>

Voigt, C. C., Lehnert, L. S., Petersons, G., Adorf, F., & Bach, L. (2015). Wildlife and renewable energy : German politics cross migratory bats. *European Journal of Wildlife Research*, 61(2), 213-219. <https://doi.org/10.1007/s10344-015-0903-y>

# Annexes

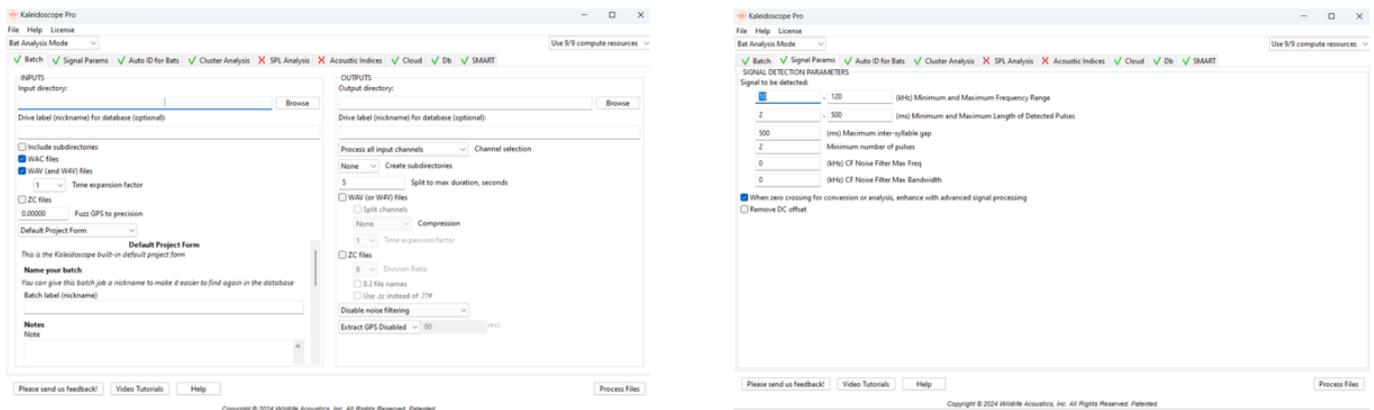
## A.1 : Paramétrisation de la batbox.

<b>Paramètres acoustiques :</b>	
<i>Taux d'échantillonnage</i>	24000 Hz
<i>Recording mode</i>	La plus haute qualité
<i>Longueur maximale de l'enregistrement</i>	60 Mins
<i>Gain du canal droit</i>	18dB
<b>Paramètres ultrasoniques:</b>	
<i>Recording format</i>	Spectre complet
<i>Full spectrum sample rate</i>	384 kHz
<i>Enregistrement non déclenché</i>	OFF
<i>Fréquence minimale du déclencheur</i>	6 kHz
<i>Longueur maximale de l'enregistrement</i>	60 secs
<i>Fenêtre de déclenchement</i>	2 secs
<i>Enregistrer les fichiers du bruit</i>	ON
<i>Gain du canal gauche</i>	12 dB

A.2 : Comparaison des méthodes d'identification de Kaleidoscope sur les groupes/espèces détecté(e)s. *bd* = Balanced, *st* = Sensitive, *cv* = Conservative. 8 sites ont été prospectés pour effectuer cette comparaison (4MC/4ST).

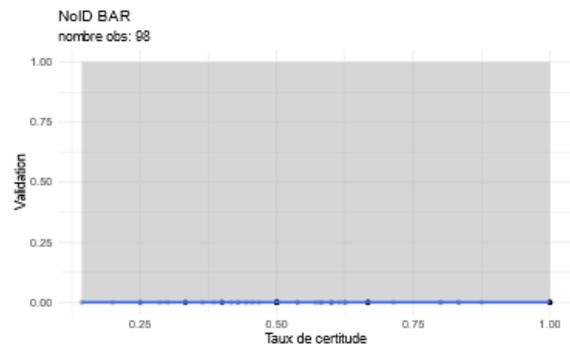
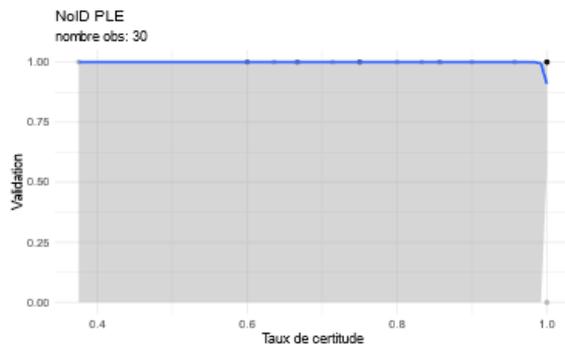
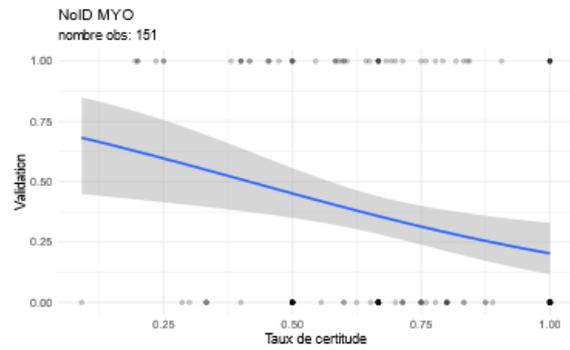
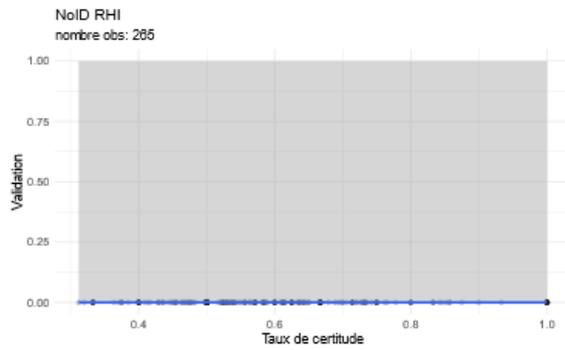
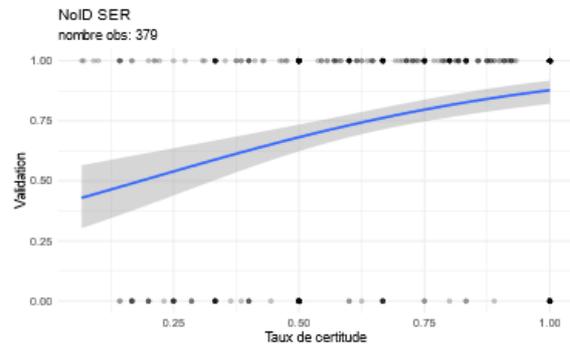
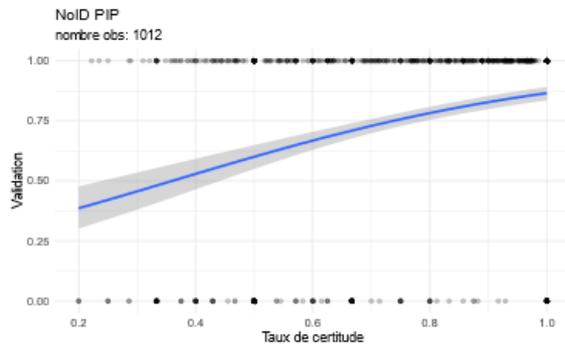
Sensibilité	MYODAU	NoID	Noise	NYCNOC	PIPIPI	MYOMYO	NYCLEI
<b><i>bd</i></b>	2	2	586	1	11	0	0
<b><i>cv</i></b>	2	4	586	1	9	0	0
<b><i>st</i></b>	2	0	586	1	11	1	1

### A.3 : Paramétrisation supplémentaire pour Kaléidoscope



Espèces sélectionnées : *Myotis alcathoe*; *Myotis bechsteinii*; *Myotis Brandtii*; *Myotis dasycneme*; *Myotis daubentonii*; *Myotis emarginatus*; *Myotis myotis*; *Myotis mystacinus*; *Myotis nattereri*; *Nyctalus lasiopterus*; *Nyctalus leisleri*; *Nyctalus noctula*; *Pipistrellus kuhlii*; *Pipistrellus nathusii*; *Pipistrellus pipistrellus*; *Pipistrellus pygmaeus*; *Plecotus auritus*; *Plecotus austriacus*; *Rhinolophus ferrumequinum*; *Rhinolophus hipposideros*; *Vespertilio murinus*; *Barbastella barbastellus*; *Eptesicus nilssonii*; *Eptesicus serotinus*.

A.4 : Régression logistique des différents groupes de chiroptères rencontrés.



A.5 : Courbe de régression pour chaque espèce cible détectée par la batbox. A : Alouette des champs ; B : Bergeronnette printanière ; C : Busard des roseaux ; D : Bruant proyer ; E : Bruant jaune ; F : Vanneau huppé

