
Évaluation de l'état de l'écosystème des pâturages réensauvagés par le cheval de Przewalski : Application à l'association Takh sur le Causse Méjean

Auteur : Gilles, Elise

Promoteur(s) : Mahy, Grégory

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

Diplôme : Master en bioingénieur : gestion des forêts et des espaces naturels, à finalité spécialisée

Année académique : 2023-2024

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/20995>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

**ÉVALUATION DE L'ÉTAT DE L'ÉCOSYSTÈME
DES PÂTURAGES RÉENSAUVAGÉS PAR LE
CHEVAL DE PRZEWALSKI : APPLICATION À
L'ASSOCIATION TAKH SUR LE CAUSSE MÉJEAN**

GILLES ELISE

**TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
BIOINGÉNIEUR EN GESTION DES FORÊTS ET ESPACES NATURELS**

ANNÉE ACADÉMIQUE 2023 - 2024

PROMOTEUR : Grégory Mahy

©Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de Gembloux Agro-Bio Tech.

Le présent document n'engage que son auteur.

**ÉVALUATION DE L'ÉTAT DE L'ÉCOSYSTÈME
DES PÂTURAGES RÉENSAUVAGÉS PAR LE
CHEVAL DE PRZEWALSKI : APPLICATION À
L'ASSOCIATION TAKH SUR LE CAUSSE MÉJEAN**

GILLES ELISE

**TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
BIOINGÉNIEUR EN GESTION DES FORÊTS ET ESPACES NATURELS**

ANNÉE ACADÉMIQUE 2023 - 2024

PROMOTEUR : Grégory Mahy

Avant-propos

Ce travail de fin d'étude a été réalisé en collaboration entre Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège (Axe Biodiversité et Paysage) et l'association Takh pour le cheval de Przewalski (Hures-la-Parade, France).

Il a été en partie financé par la bourse du programme Erasmus+.

Remerciements

Je souhaite exprimer ma gratitude à toutes les personnes qui m'ont aidée et soutenue dans la réalisation de mon travail de fin d'études.

Je remercie tout particulièrement mon promoteur, Grégory Mahy, pour son temps, ses conseils et ses relectures tout au long de ce périple. Merci à Jérôme Bindelle et son doctorant Nicolas Tilkens, ainsi qu'à Jean-François Bastin et Adrien Michez pour les réunions et les conseils avisés.

Ma reconnaissance va également à Jean-Louis Perrin, directeur de l'association Takh, sans qui ce projet n'aurait pas été réalisable. Il a cru en moi et m'a fait confiance, me permettant de travailler sur un sujet absolument passionnant.

Un immense merci à l'équipe scientifique de Takh pour leurs précieux conseils et avis. Je suis reconnaissante envers Florian Drouard pour son accompagnement, sa disponibilité et sa patience ; Sébastien Carton de Grammont pour le partage de son savoir sur les chevaux, sa bienveillance et le temps qu'il m'a accordé pour me former ; Julie Morisson pour sa gentillesse, ses conseils et son enthousiasme ; et Hélène Roche pour m'avoir permis de participer à une partie de sa formation en éthologie équine. Je n'oublie pas Cyrielle et Pauline pour leur accompagnement et leur aide sur le terrain. Merci à toutes et à tous pour votre accueil chaleureux.

Je tiens également à remercier le Parc national des Cévennes pour leur accord pour effectuer mes relevés dans les enclos, en particulier Hervé Picq et Frantz Hopkins pour leurs réponses à mes questions.

Merci à Thierry Dutoit, de l'Université technique d'Avignon, pour m'avoir permis d'utiliser les étuves de l'université, ainsi qu'à Clémentine Mutillod, pour son aide, le partage de ses données et les conseils.

Ma gratitude va aussi à mon copain Simon pour son accompagnement, son aide et son soutien ainsi qu'à ma marraine pour la relecture et les commentaires.

Ce projet marque l'achèvement de mes cinq années d'études. Je remercie sincèrement tout le corps enseignant de la Faculté de Gembloux Agro-Bio Tech pour l'excellence de leur enseignement. Un grand merci à mes amis et ma famille pour leur soutien et leurs encouragements durant ces années.

Abstract

This thesis investigates the assessment of ecosystem conditions in pastures inhabited by Przewalski's horses, particularly within the Cevennes National Park on the Causse Mejean. The primary objective is to develop a methodology to determine the impact of rewilding with these horses on current conservation priorities. The research focuses on the creation of a multi-criteria indicator framework applicable to reintroduction sites, enabling the evaluation of ecosystem resilience through various factors, including species diversity, conservation-priority species, and specific site characteristics. This methodology is then applied to assess the state of the ecosystem in pastures on the Causse Mejean, with a particular emphasis on plant biodiversity and conservation value. Finally, an operational guide is drafted for the association, providing all necessary instructions and materials to replicate the methodology, ensuring its future use.

The two enclosures managed by the Takh Association for Przewalski's horses were studied. The data collected primarily includes biomass and plant diversity samples to evaluate the impact of grazing.

The results reveal significant variability in the species richness of plant communities between the two enclosures, reflecting the heterogeneity of habitats and grazing conditions. Some areas are more intensively used by the horses, influencing vegetation composition and ecosystem dynamics. The discussion highlights the feasibility and relevance of the selected indicators while identifying potential biases such as the variability in survey periods and the subjectivity in data evaluation.

This paper offers a robust methodology for assessing the impact of rewilding with Przewalski's horses on grazing ecosystems. The developed indicator framework is adaptable to various reintroduction sites and provides a solid foundation for long-term biodiversity monitoring. It offers comprehensive guidance for applying this methodology in the future, ensuring continuity and rigor in future assessments.

Key-words: Przewalski horses, reintroduction and conservation, biodiversity indicators, framework, grazing, Cevennes national park.

Résumé

Ce travail de fin d'études explore l'évaluation de l'état de l'écosystème dans les pâtures occupées par les chevaux de Przewalski, particulièrement dans le Parc national des Cévennes sur le Causse Méjean. L'objectif principal est de développer une méthodologie permettant de déterminer l'impact du réensauvagement par ces chevaux sur les enjeux de conservation actuels. La recherche se concentre sur l'élaboration d'un cadre d'indicateurs multi-critères applicable aux sites de réintroduction, permettant d'évaluer la résilience de l'écosystème via entre autres la diversité en espèce et les espèces à enjeux conservatoires ainsi que les caractéristiques spécifiques du site. Cette méthodologie est ensuite utilisée pour évaluer l'état de l'écosystème dans les pâtures sur le Causse Méjean, en se focalisant sur la biodiversité végétale et sa valeur conservatoire. Enfin, un guide opérationnel est rédigé pour les gestionnaires, contenant toutes les instructions et le matériel nécessaire à la reproduction de la méthodologie, afin d'assurer son utilisation future.

Les deux enclos de l'association Takh pour le cheval de Przewalski ont été étudiés. Les données collectées incluent principalement des relevés de biomasse et des relevés de diversité végétale pour évaluer l'impact du pâturage.

Les résultats montrent une grande variabilité dans la richesse spécifique des espèces végétales entre les deux enclos, reflétant l'hétérogénéité des habitats et des conditions de pâturage. Certaines zones sont plus intensivement utilisées par les chevaux, influençant la composition végétale et la dynamique des écosystèmes. La discussion met en lumière la faisabilité et la pertinence des indicateurs sélectionnés, tout en identifiant des biais tels que la variabilité des périodes de relevés et la subjectivité dans l'évaluation de certaines données.

Ce travail propose une méthodologie robuste pour évaluer l'impact du réensauvagement par les chevaux de Przewalski sur les écosystèmes de pâturage. Le cadre d'indicateurs développé est adaptable à divers sites de réintroduction et offre une base solide pour le suivi à long terme de la biodiversité. Il fournit toutes les informations nécessaires pour appliquer cette méthodologie à l'avenir et assurer la continuité et la rigueur des futures évaluations.

Mots-clés : Cheval de Przewalski, réintroduction et conservation, indicateurs de biodiversité, cadre, pâturage, Parc national des Cévennes.

Table des matières

Avant-propos	1
Remerciements.....	1
Abstract	2
Résumé	3
Table des matières	4
Table des figures	6
Table des tableaux	8
1. Introduction	1
1.1 Extinction et Rewilding.....	1
1.2 Utilités et risques du pâturage par les herbivores.....	4
1.3 Le cheval de Przewalski et l'association Takh	6
1.4 Indicateurs de biodiversité	8
2. Objectifs	10
3. Matériel et méthode.....	11
3.1 Zone d'étude.....	11
3.2 Sites étudiés	11
3.3 Cadre d'indicateurs	15
3.3.1 Création du cadre	15
3.3.2 Avis des acteurs	15
3.4 Eléments généraux sur les indicateurs sélectionnés	16
3.4.1 Diversité en espèces : Richesse spécifique	16
3.4.2 Espèces à enjeu conservatoire	16
3.4.3 Taux de recouvrement de sol nu	19
3.4.4 Qualité nutritionnelle du fourrage.....	19
3.4.5 Quantité : biomasse aérienne.....	20
3.4.6 Accessibilité, disponibilité et qualité de l'eau.....	20
3.4.7 Présence d'abris naturels	21
3.4.8 Présence d'éléments paysagers amenant des compléments à leur alimentation	21
3.4.9 Surface de l'habitat suffisant.....	21
3.5 Application aux sites de l'association Takh.....	22
3.5.1 Structure d'échantillonnage	22
3.5.2 Protocoles.....	25
4. Résultats	33
4.1 Diversité en espèces.....	33

4.2 Espèces à enjeu conservatoire	35
4.3 Habitats et zones protégés/d'intérêts	35
4.4 Taux de recouvrement de sol nu	36
4.5 Qualité nutritionnelle	36
4.5.1 Risque d'empoisonnement	36
4.5.2 Equilibre monocotylédone/dicotylédone	39
4.5.3 Evaluation indirecte : composition en espèce	39
4.6 Quantité : biomasse.....	40
4.6.1 Résultats masses et hauteurs	40
4.6.2 Test d'effort d'échantillonnage	42
4.7 Accessibilité, disponibilité et qualité de l'eau	45
4.8 Présence d'abris naturels	45
4.9 Présence d'éléments paysagers amenant des compléments à leur alimentation	46
4.10 Utilisation des enclos par les chevaux.....	46
4.11 Temps nécessaire à la réalisation des protocoles	48
4.12 Liste du matériel nécessaire à la réalisation des protocoles	48
5. Discussion	50
5.1 Applicabilité du cadre	50
5.2 Application des indicateurs au Causse Méjean	50
5.3 Pistes d'amélioration.....	53
5.4 Analyse critique de la méthodologie et limites de l'étude.....	55
6. Contribution personnelle.....	56
7. Conclusion.....	57
8. Bibliographie.....	58
9. Annexes.....	67
Guide opérationnel d'évaluation de l'état de l'écosystème dans les pâtures des chevaux.....	

Table des figures

Figure 1. Chevaux de Przewalski à l'association Takh. ©Elise Gilles	7
Figure 2. Localisation de la zone d'étude en France (Caplat et al., 2006).	11
Figure 3. Localisation des deux sites étudiés situés dans le Parc national des Cévennes sur le Causse Méjean.	12
Figure 4. Passage "sas" reliant les deux enclos avec un système d'ouverture et de fermeture. ©Takh	13
Figure 5. A et B Carte des courbes de niveau des enclos.	13
Figure 6. A et B Enclos de Nivoliers. Grand Devès en arrière-plan, plaine en avant plan. C Partie de l'enclos de Nivoliers vue du sommet du Grand Devès. ©Elise Gilles.	14
Figure 7. A et B Enclos du Villaret. ©Takh	14
Figure 8. Carte reprenant les points de l'inventaire systématique de la flore réalisé en 2022 par Mutillod et al. (2024b).	23
Figure 9. Carte représentant les transects dans chacun des enclos.	23
Figure 10. Carte représentant les points d'échantillonnage de 50cm ² placés dans la strate herbacée suivant la stratification sur base de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI).	24
Figure 11. Quadrats de 50cm ² . ©Elise Gilles	24
Figure 12. Parnassius apollo, ©P.Gourdain, source: https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/54496/tab/fiche	27
Figure 13. Gentiana clusii, source: https://alchetron.com/Gentiana-clusii	27
Figure 14. Ophrys aymoninii. ©Elise Gilles	27
Figure 15. Scorzonera purpurea. ©Elise Gilles.	27
Figure 16. Localisation précise des quadrats réalisés pour l'inventaire de Gentiana clusii et vue d'ensemble dans l'enclos de Nivoliers.	28
Figure 17. Photographie de l'exclos englobant les individus de Gentiana clusii. ©Elise Gilles.	29
Figure 18. Boxplot comparant la richesse spécifique selon le niveau de pâturage (1 = faible, 2 = moyen et 3 = élevé) dans chaque enclos. L'enclos de Nivoliers est représenté en rouge et le Villaret en bleu.	33
Figure 19. Graphique de dispersion représentant la relation entre la hauteur moyenne et la masse des échantillons. Chaque point sur le graphique correspond à une placette spécifique dans l'enclos du Villaret. La ligne de régression linéaire (ligne de tendance) et le coefficient de corrélation (r) indiquent la corrélation entre ces deux variables.	41
Figure 20. Graphique de dispersion représentant la relation entre la hauteur moyenne et la masse des échantillons. Chaque point sur le graphique correspond à une placette spécifique dans l'enclos de Nivoliers. La ligne de régression linéaire (ligne de tendance) et le coefficient de corrélation (r) indiquent la corrélation entre ces deux variables.	42
Figure 21. Ce graphique illustre les différences en pourcentage dans les statistiques de la biomasse lorsque différentes proportions des données sont supprimées de manière aléatoire pour l'enclos du Villaret. L'axe des X représente le pourcentage des données supprimées, allant de 10% à 90% et l'axe des Y montre la différence en pourcentage par rapport aux valeurs globales de la moyenne et de l'écart-type. Les lignes et les points en rouge montrent la différence de la moyenne, et ceux en bleu montrent la différence de l'écart-type.	43
Figure 22. Ce graphique montre l'influence de chaque échantillon individuel sur les statistiques globales de la biomasse dans l'enclos du Villaret. L'axe des X représente les identifiants des échantillons (allant de 0 à 49), tandis que l'axe des Y indique la différence en pourcentage par rapport	

aux valeurs globales de la moyenne et de l'écart-type lorsque chaque échantillon est retiré successivement. Les lignes et les points en rouge représentent la différence de la moyenne, et ceux en bleu représentent la différence de l'écart-type. Une grande différence pour un échantillon donné indique qu'il a une influence significative sur les résultats globaux.	43
Figure 23. Ce graphique illustre les différences en pourcentage dans les statistiques de la biomasse lorsque différentes proportions des données sont supprimées de manière aléatoire pour l'enclos de Niveliers. L'axe des X représente le pourcentage des données supprimées, allant de 10% à 50%, et l'axe des Y montre la différence en pourcentage par rapport aux valeurs globales de la moyenne et de l'écart-type. Les lignes et les points en rouge montrent la différence de la moyenne, et ceux en bleu montrent la différence de l'écart-type.	44
Figure 24. Ce graphique montre l'influence de chaque échantillon individuel sur les statistiques globales de la biomasse dans l'enclos de Niveliers. L'axe des X représente les identifiants des échantillons (allant de 0 à 49), tandis que l'axe des Y indique la différence en pourcentage par rapport aux valeurs globales de la moyenne et de l'écart-type lorsque chaque échantillon est retiré successivement. Les lignes et les points en rouge représentent la différence de la moyenne, et ceux en bleu représentent la différence de l'écart-type. Une grande différence pour un échantillon donné indique qu'il a une influence significative sur les résultats globaux.	45
Figure 25. Photographie d'un cheval de Przewalski à l'association Takh en train de manger un arbuste. ©Elise Gilles	46
Figure 26. Points de l'inventaire aléatoire (quadrats de 50cm ²) superposés à la carte de chaleur représentant les zones fréquentées par les groupes de chevaux entre le 2 mai 2023 et le 27 juin 2024. Les zones en rouge foncé sont les plus utilisées et les zones en noir sont les zones non utilisées durant cette période.	47
Figure 27. Points de l'inventaire systématique (quadrats d'1m ²) superposés à la carte de chaleur représentant les zones fréquentées par les groupes de chevaux entre le 2 mai 2023 et le 27 juin 2024. Les zones en rouge foncé sont les plus utilisées et les zones en noir sont les zones non utilisées durant cette période.	47
Figure 28. Transects superposés à la carte de chaleur représentant les zones fréquentées par les groupes de chevaux entre le 2 mai 2023 et le 27 juin 2024. Les zones en rouge foncé sont les plus utilisées et les zones en noir sont les zones non utilisées durant cette période.	48

Table des tableaux

Tableau 1. Cadre multicritère d'évaluation de l'état de l'écosystème de la pâture (et de l'impact des chevaux sur leur milieu à long terme) ainsi que de mesures nécessaires aux réintroductions.....	15
Tableau 2. Clé de détermination des lépidoptères (et des ascalaphidées et anisoptères) créée lors des premières sorties de prospection et utilisée lors du comptage sur le terrain. Pour chaque catégorie, plusieurs espèces sont possibles. Certaines catégories comportent un « / ». Cela signifie qu'aucune espèce/famille n'a pu être identifiée pour celles-ci. Chaque catégorie a été numérotée et le numéro se trouve dans la dernière colonne.	34
Tableau 3. A. Nombre total d'individus comptabilisés pour chaque catégorie par enclos (V pour Villaret et N pour Nivoliers). B. Nombre total d'individus (toutes catégories comprises) comptabilisés par transect	34
Tableau 4. Tableau reprenant les moyennes et écart-types par transect et par enclos pour le comptage des individus de l'Ophrys d'aymonin et de la Scorsonère pourpre.....	35
Tableau 5. Listes des espèces toxiques pour les équidés. Les espèces surlignées sont celles présentes dans les enclos des chevaux.	37
Tableau 6. Liste des espèces avec leur valeur fourragère (score) ainsi que leur pourcentage de recouvrement dans chacun des enclos et enfin la qualité par enclos.....	40
Tableau 7. Présente les résultats de l'analyse de la sensibilité des statistiques de la biomasse lorsqu'un pourcentage variable des données est supprimé de manière aléatoire dans les 50 placettes du Villaret. Chaque ligne correspond à un pourcentage spécifique de données supprimées, allant de 10% à 90%. Les colonnes fournissent les moyennes et écarts-types recalculés après la suppression des données ("mean_mean" et "mean_sd"), ainsi que les écarts-types de ces valeurs ("std_mean" et "std_sd"). Les colonnes "diff_mean" et "diff_sd" indiquent la différence en pourcentage par rapport aux valeurs globales originales ("global_mean" et "global_sd"). Un pourcentage élevé dans ces colonnes indique une plus grande sensibilité des statistiques globales à la suppression des données.....	42
Tableau 8. Présente les résultats de l'analyse de la sensibilité des statistiques de la biomasse lorsqu'un pourcentage variable des données est supprimé de manière aléatoire dans les 50 placettes de Nivoliers. Chaque ligne correspond à un pourcentage spécifique de données supprimées, allant de 10% à 90%. Les colonnes fournissent les moyennes et écarts-types recalculés après la suppression des données ("mean_mean" et "mean_sd"), ainsi que les écarts-types de ces valeurs ("std_mean" et "std_sd"). Les colonnes "diff_mean" et "diff_sd" indiquent la différence en pourcentage par rapport aux valeurs globales originales ("global_mean" et "global_sd"). Un pourcentage élevé dans ces colonnes indique une plus grande sensibilité des statistiques globales à la suppression des données.....	44

1. Introduction

1.1 Extinction et Rewilding

La sixième extinction de masse, en cours et largement attribuée à la pression anthropique des cinq derniers siècles, soulève des questions cruciales sur la relation entre les humains et la nature, ainsi que sur leur impact sur celle-ci (Dirzo et al., 2014). Effectivement, l'extinction d'espèces animales sur Terre aujourd'hui est majoritairement reliée aux activités humaines à l'échelle mondiale (Ceballos & Ehrlich, 2002). Les nuisances anthropogéniques dues à la croissance de la population humaine, telles que la surexploitation, la chasse, la destruction d'habitat, les espèces invasives, la perturbation climatique, sont bel et bien à la base de l'éradication de plusieurs populations animales (Young et al., 2016 ; Carver et al., 2021). Cette situation entraîne une perte considérable en diversité et abondance d'espèces, phénomène désigné par Dirzo et al. (2014) sous le nom de "défaunation de l'anthropocène". Cette extinction pourrait être aussi conséquente que les cinq précédentes, impliquant une perte significative en biens et services procurés par l'écosystème (Ceballos & Ehrlich, 2002).

Les modifications dans la composition des espèces au sein des communautés et la diminution des populations locales engendrent des transformations globales et fondamentales sur le fonctionnement des écosystèmes et induisent des effets cascades. Bien que les événements d'extinction soient médiatisés pour sensibiliser aux problèmes de conservation, ils ne représentent qu'une fraction de la perte actuelle de biodiversité (Dirzo et al., 2014). Ces circonstances tendent à diriger vers un point de non-retour, menaçant d'altérer les fonctions écologiques de manière irréversible (Barnosky et al., 2011).

Les grands mammifères ainsi que les grands herbivores ont été davantage affectés par les conséquences de cette crise et ont traversé des pertes massives historiques (Estes et al., 2011 ; Fløjgaard et al., 2022). En effet, environ 26% des espèces de mammifères sont en danger ou menacées (*The IUCN Red List of Threatened Species*, consulté le 29 février 2024), et cela est principalement dû à l'impact plus conséquent de l'activité humaine sur certaines lignées d'espèces (Dirzo et al., 2014). De plus, selon l'étude de Fløjgaard et al. (2022), les grands herbivores occupant plusieurs écosystèmes sont largement en dessous des niveaux naturels de biomasse soutenables à long terme.

Par ailleurs, chez les vertébrés, plusieurs facteurs sont connus pour accroître le risque d'extinction, notamment un territoire géographique restreint, des taux de reproduction faibles et une taille corporelle élevée. Le besoin d'un domaine vital large est également un risque (Dirzo et al., 2014). D'autres indicateurs tels que la taille de la population, les schémas d'activité et de régime, le niveau trophique, la spécialisation et taille relative du cerveau sont également prédicteurs d'extinction (Young et al., 2016).

Les animaux font partie de réseaux écologiques complexes, où le déclin d'une espèce est rarement un événement isolé. Le déclin des populations d'herbivores de la mégafaune, jouant un rôle clé dans les processus écosystémiques, entraîne généralement des changements dans le reste de la chaîne trophique (Young et al., 2016 ; Fløjgaard et al., 2022). C'est pour cela que

les chevaux de Przewalski, entre autres, grands herbivores, occupent une position cruciale dans l'écosystème, justifiant la mise en œuvre d'actions de conservation visant à préserver non seulement cette espèce, mais aussi son écosystème associé. Toutefois, la question de la densité appropriée ainsi que le niveau d'intensité de pâturage restent à définir (Fløjgaard et al., 2022).

C'est ici que les notions de "réensauvagement" ou de "restauration écologique" deviennent pertinentes, déployées dans un contexte immédiat et alarmant de perte de biodiversité. Ces deux processus ont un point commun : à la suite d'une dégradation anthropique, ils cherchent à rétablir l'écosystème ainsi que ses caractéristiques fonctionnelles ou taxonomiques (Mutillod et al., 2024a).

Selon Carver et al (2021), *"le réensauvagement (rewilding) est le processus de reconstruction, à la suite d'une perturbation humaine majeure, d'un écosystème naturel en restaurant les processus naturels et le réseau alimentaire complet ou presque, à tous les niveaux trophiques, en tant qu'écosystème autonome et résilient avec le biote qui aurait été présent si la perturbation n'avait pas eu lieu."*

Le réensauvagement, contrairement à la restauration écologique, tend à retourner vers un écosystème naturel et fonctionnel, sans ou du moins avec un minimum d'interférences anthropiques (promouvant l'autorégulation du système), restaurant les interactions trophiques grâce à la faune (Hart et al., 2023 ; Mutillod et al., 2024a). Le processus de réensauvagement fournit de multiples services écosystémiques, comme la séquestration du carbone, entre autres (Svenning et al., 2016). Dans le cas du réensauvagement par la réintroduction des chevaux de Przewalski, il vise à rétablir un processus naturel de pâturage (Fløjgaard et al., 2022), autrefois interrompu lors de leur extinction à l'état sauvage.

Grâce à la réintroduction d'espèces parapluies¹, d'espèces clés² et d'espèces ingénieurs de l'écosystème³ tels que les grands herbivores, le réensauvagement dit actif permet à l'écosystème de s'auto-restaurer spontanément (van Klink & DeVries, 2018). Il permet de rétablir les fonctions de tous les niveaux trophiques (Miller & Hobbs, 2019 ; Svenning et al., 2019).

Historiquement, plusieurs grands herbivores peuplaient l'Europe, tels que le bison des steppes (*Bison priscus*), le mammouth laineux (*Mammuthus primigenius*), le rhinocéros laineux (*Coelodonta antiquitatis*) et le cerf géant (*Megaloceros giganteus*). Ces espèces se sont éteintes lors de la transition entre le Pléistocène et l'Holocène. Par la suite, plusieurs milliers d'années plus tard, des mégaherbivores survivants ont pris le relais et ont continué de façonner et structurer les écosystèmes. Parmi eux se trouvent le bison d'Europe (*Bison bonasus*), l'auroch (*Bos primigenius*), l'élan (*Alces alces*), le renne (*Rangifer tarandus*) et le cheval sauvage (*Equus ferus*) (Bocherens et al., 2015 ; Zielke et al., 2019). Ils sont considérés comme des

¹ "espèces occupant un large territoire et dont la conservation de leur biotope permettra également la conservation d'autres espèces vivant dans celui-ci"

² "organismes qui influencent le fonctionnement de l'écosystème de manière disproportionnée à leur abondance"

³ "organismes qui modulent directement ou indirectement la disponibilité en ressources pour d'autres espèces en provoquant des changements d'états physiques dans les matériaux biotiques ou abiotiques"

espèces clés et des ingénieurs de l'écosystème car ils régulent les ressources pour les autres espèces, maintiennent les espaces ouverts et structurent les populations et les communautés dans de nombreux écosystèmes (Zielke et al., 2019). Lorsqu'il s'agit de réensauvagement et de réintroduction de grands herbivores, diverses possibilités sont envisageables, y compris celle du cheval.

La réintroduction des chevaux suit une approche descendante ('top-down'), car ils jouent un rôle d'espèces parapluies et ingénieuses, favorisant la conservation de l'écosystème et d'autres espèces, tout en impactant les organismes inférieurs de la chaîne trophique (Dierendonck & Vries, 1996). Cette approche est appelée le réensauvagement trophique, et est définie de la sorte : *“Stratégie de restauration écologique utilisant la réintroduction d'espèces pour restaurer les interactions trophiques de manière ‘top-down’ et les cascades trophiques associées dans le but de promouvoir l'auto-régulation des écosystèmes.”* (Svenning et al., 2016).

La notion de réensauvagement a longtemps fait débat et comporte de nombreux avantages mais également inconvénients. Les points positifs non exhaustifs de cette pratique sont les suivants. Tout d'abord, elle permet de restaurer la biodiversité rapidement autant à petite qu'à large échelle et donc réduit la dégradation des milieux (Barraud et al., 2019 ; Dufrière, 2023). Ensuite, elle génère des gains et opportunités socio-économiques pour les locaux (Carver et al., 2021). Elle participe indirectement à l'atténuation du changement climatique, et donc joue dans l'amélioration de la santé humaine. En somme, elle rétablit les dommages causés à l'écosystème (Barraud et al., 2019 ; Dufrière, 2023).

Toutefois, les points négatifs sont également multiples. Premièrement, il y a peu de recul sur cette pratique, si bien que les projets de réensauvagement demandent parfois des décennies voire des siècles pour en mesurer les effets (van Klink & DeVries, 2018). Ensuite, l'introduction de pathogènes ou d'espèces envahissantes est problématique, et il peut également y avoir un risque d'interactions avec d'autres espèces (Derham et al., 2018). De plus, dans certaines zones peuplées, un conflit homme-faune peut être généré (Vermeulen, 2023), provoqué à la fois par les dégâts aux cultures et par la diminution de surfaces productives disponibles. Une contrainte conséquente qu'est la compétition pour les terres engendre une opinion négative des grands herbivores par les éleveurs et agriculteurs.

Parfois, ce terme est utilisé à tort dans un but de marketing ou d'attraction de touristes. Ensuite, cette pratique est souvent mal vue car elle permet à l'homme d'avoir encore “la main” sur la nature, de la gérer et façonner à sa manière. Enfin, la question du bien-être animal reste en suspens également. Par exemple, dans la Réserve naturelle d'Oostvaardersplassen aux Pays-Bas, les herbivores introduits en grand nombre ont subi une mortalité élevée à la suite d'une surpopulation, générant un gros débat. En effet, ils n'avaient aucun régulateur et les populations ont augmenté drastiquement (Dufrière, 2023).

C'est la fonctionnalité de l'écosystème résultant qui doit être évaluée, pour déterminer l'utilité et la nécessité du projet.

1.2 Utilités et risques du pâturage par les herbivores

Comme dit précédemment, les herbivores occupent une place importante au sein de l'écosystème, et leur pâturage peut avoir divers effets sur le milieu, via la pression qu'ils exercent sur la végétation.

Selon Turghan et al (2022), les chevaux occupent l'habitat selon la disponibilité en ressources critiques. Avec le temps, ils ont contribué à la diversification des communautés via les impacts sur leur structure et leur composition en espèces (van Wieren & Bakker, 2008). Quand il s'agit de conservation de la nature, les chevaux sont considérés comme un outil utile dans la gestion d'espaces naturels (Wakefield et al., 2003). Cependant, la majorité des systèmes sont actuellement victimes de surpâturage. C'est pour cela qu'il est nécessaire de ne pas dépasser un seuil d'herbivorie pour maintenir la biodiversité et éviter le déclin en diversité de plantes, parfois causé par le pâturage sélectif (van Wieren & Bakker, 2008).

Les impacts engendrés peuvent être directs ou indirects, positifs ou négatifs, à long ou à court terme, à l'échelle du paysage ou d'une plante unique.

D'une part, les effets directs sont induits par le piétinement, la prise d'herbe (sélectivité), et les dépôts d'excréments (van Wieren & Bakker, 2008 ; Harrison & Bardgett, 2008). En effet, l'hétérogénéité structurale qui se crée est favorable pour la diversité floristique et faunistique si le pâturage est modéré. Le pâturage et le piétinement ouvrent le milieu, générant des conditions écologiques variées qui permettent une plus grande coexistence des espèces végétales, permettant à d'autres espèces de prendre la place des espèces compétitives pour la lumière. En revanche, une intensité de pâturage trop faible réduit la richesse en espèces en raison de la compétition pour la lumière, favorisant quelques espèces de grande taille. À l'opposé, les espèces sensibles au piétinement seront remplacées par des espèces tolérantes au pâturage intensif si le chargement est excessif (Fleurance et al., 2011).

En ce qui concerne le sol, les excréments permettent d'améliorer la qualité de la litière et renforcent la disponibilité en nutriment dans le sol via le recyclage d'azote rendu disponible par les plantes (Skarpe & Hester, 2008), dans le cas d'un pâturage modéré. Sinon, ils peuvent altérer la composition chimique du sol (Shelton et al., 2014).

D'autre part, les effets indirects peuvent survenir à la suite de plusieurs processus tels qu'une température plus élevée au sol sur les zones où la couche de végétation est enlevée. Les taux de recyclage des nutriments peuvent être altérés ou promus et la disponibilité en nutriments pour les plantes peut être modifiée. Les intermédiaires de ces processus sont les décomposeurs du sol, rendant les nutriments disponibles pour les plantes. Ces effets indirects peuvent également d'un côté stimuler l'activité microbienne, augmenter leur biomasse, mais peuvent d'un autre côté avoir un effet, qu'il soit négatif, positif ou neutre sur la biomasse racinaire et altérer l'architecture et la morphologie des racines ou réduire leur biomasse. Enfin, ils impactent également les propriétés du sol et donc la productivité de l'écosystème (Harrison & Bardgett, 2008).

Globalement, étant donné que les herbivores ont une préférence pour les plantes riches en nutriments (Van Wijnen et al., 1999), ils pratiquent la cueillette sélective. Cette cueillette est

bien évidemment dépendante de la localisation des individus qui, elle, est influencée par leur comportement (prédation, recherche de refuge, ...) (Skarpe & Hester, 2008).

La cueillette sélective peut entraîner des répercussions négatives, essentiellement dans les écosystèmes qualifiés de non-productifs. Elle entraîne la décroissance des taux de recyclage des nutriments tout en favorisant la prédominance des espèces moins nutritives (Harrison & Bardgett, 2008). Plus généralement, l'influence sur la végétation peut aller de la mort instantanée de la plante, passant par la modification de sa physiologie, composition et fonction, à l'augmentation de la croissance, diversité et richesse spécifique (Crawley, 1983 ; Skarpe & Hester, 2008 ; Wakefield et al., 2003).

Selon Steets & Ashman (2004), la production de fleurs, la phénologie de la floraison ainsi que la masse et le nombre de graines seraient affectés défavorablement.

Toutefois, les grands herbivores possèdent des atouts non négligeables. En effet, ils peuvent favoriser la reproduction des plantes en assurant la dispersion des graines qui adhèrent à leur corps ou passent à travers leur système digestif (Bodmer & Ward, 2006), ainsi que permettre d'accroître l'ouverture des milieux, en réduisant la biomasse (Skarpe et Hester, 2008).

De surcroît, l'herbivorie a d'autres conséquences. La qualité du terrain, de l'eau et les échanges des gaz à effets de serre peuvent être altérés et découlent du tassement, de la compaction et de l'érosion du sol (Harrison & Bardgett, 2008). Son effet sur les invertébrés (création d'hétérogénéité), les pollinisateurs et les oiseaux est semblable. Plus la pression du pâturage est élevée, plus la diversité pour certains groupes d'invertébrés et plus la richesse spécifique en oiseaux sera décroissante. Par exemple, le piétinement de certaines zones propices aux nids d'oiseaux nicheurs au sol (zones d'herbes hautes) peut être dommageable (Allombert et al., 2005). Toutefois, certaines espèces d'oiseaux (insectivores par exemple) dépendent d'un couvert végétal ras et de bonne qualité (ou d'un milieu ouvert) pour leur alimentation (Fleurance et al., 2011 ; Köhler et al., 2016). Au contraire, la diversité et la richesse spécifique seront favorisées lorsque la pression est faible à modérée (van Wieren & Bakker, 2008). Cette pression tolérable, est, selon Coughenour (1985), bénéfique également pour la reproduction végétative et stimule le fitness. Les pollinisateurs, eux, sont plus abondants et actifs dans les lieux pâturés (Garrido et al., 2019). Cependant, sous l'effet de densité trop élevée, ils seront également impactés (Sakata & Yamasaki, 2015). En effet, selon l'étude de Konvička et al. (2021) en République Tchèque, les papillons ont été retrouvés en plus grand nombre et selon une diversité plus importante dans les zones où la faune avait été introduite.

Au terme de l'analyse, il est important de garder à l'esprit que l'impact du pâturage dépend de certains facteurs abiotiques (climat, topographie, fertilité du sol, ...), faisant fluctuer la grande majorité des effets cités précédemment (Harrison & Bardgett, 2008). Pour n'importe quelle réintroduction d'herbivore, il est crucial de suivre des densités proches des références historiques sous lesquelles le système a évolué, en vue d'un système durable (van Wieren & Bakker, 2008). La gestion naturelle de ces populations, que ce soit via les prédateurs ou des facteurs biotiques/abiotiques, est essentielle pour que les populations se maintiennent sans nuire à l'écosystème (Hart et al., 2023). Les nombreux résultats montrent tout de même que les projets de réensauvagement à l'aide de grands herbivores permettent d'obtenir des communautés particulièrement riches et fonctionnelles (Hart et al., 2023).

1.3 Le cheval de Przewalski et l'association Takh

Le cheval de Przewalski (*Equus ferus ssp. przewalskii* (Groves 1986)) (figure 1), également connu sous le nom de takh(i) en mongol, est la dernière espèce de cheval considérée comme sauvage à l'heure actuelle (Ryder, 1988 ; Lu et al., 2021). Cet équidé typique représentatif de la steppe Eurasienne, habitat optimal (Turghan et al., 2022 ; Dierendonck & Vries, 1996), était historiquement distribué en Asie centrale, Chine, Mongolie ainsi qu'en Europe de l'ouest (Ryder, 1988). Néanmoins, tous les individus capturés lors des 19 et 20e siècles (les premiers dans les années 1890) proviennent du désert de Gobi, dans la région du Xinjiang en Chine (Turghan et al., 2022 ; Jiang & Zong, 2019).

Il est difficile de connaître leur distribution exacte et type d'habitat préféré étant donné que peu de données existent avant leur vie en captivité. Les derniers individus observés dans leur habitat naturel pourraient avoir cherché refuge dans un environnement qui n'était pas entièrement adapté à leur mode de vie (Wakefield et al., 2003).

Selon leur répartition historique et actuelle, les habitats des chevaux se distinguent par un climat continental aride, froid et tempéré, avec des précipitations estivales atteignant leur pic (Kaczensky et al., 2017). Néanmoins, la steppe aride du désert de Gobi semble leur convenir relativement bien (Dierendonck & Vries, 1996), et selon Pereladova et al (1999), les chevaux peuvent se maintenir en bonne condition et se reproduire grâce à la végétation naturelle du désert. Ils peuvent s'adapter aux conditions arides (semi-déserts et déserts secs) s'ils ont toutefois un accès à l'eau, même s'ils sont avant tout des herbivores de steppe (Dierendonck & Vries, 1996 ; Kaczensky et al., 2017). Il est à retenir que, néanmoins, ce sont dans les habitats optimaux que leur taux de survie et de reproduction sont les plus élevés (Turghan et al., 2022). C'est après cette période de capture dans les années 1800-1900 ainsi qu'après la seconde guerre mondiale que la population de chevaux a drastiquement diminué (Wakefield et al., 2003). En 1969, le dernier individu sauvage a été repéré en Mongolie, dans le désert de Gobi (Bouman & Bouman, 1994 ; Der Sarkissian et al., 2015). La forte demande en individus en Occident fût une des causes de sa disparition. En effet, le seul moyen d'en capturer était d'attraper les poulains et s'il le fallait, en tuant le reste du groupe, les adultes étant trop rapides et craintifs (Bouman & Bouman, 1994). Ce cheval est dès lors listé comme éteint à l'état sauvage (EW) par l'UICN, à la suite de recherches et investigations en Chine et Mongolie non concluantes (Ryder, 1988). Aujourd'hui, il est classifié par l'UICN comme en danger (EN) (Keeper et al., 2014).

Le cheval de Przewalski fut sauvé de l'extinction totale grâce aux "élevages" en captivité et aux programmes de réintroduction (Bouman et al., 1982 ; Dierendonck & Vries, 1996) et sa population est à l'heure d'aujourd'hui croissante.

Cependant, il doit toujours faire face à de nombreuses menaces telles que la détérioration de l'habitat, la perte de gènes fondateurs, la prédation par les loups, la dépression consanguine, les maladies parasitaires, la concurrence pour l'espace avec les troupeaux domestiques et le croisement avec les chevaux domestiques (et donc la transmission de maladie) (Turghan et al., 2022 ; Wakefield et al., 2003).

Il est la première espèce à retourner à l'état sauvage après avoir vécu en captivité dans les zoos et parcs pendant des générations (Jiang & Zong, 2019 ; Wakefield et al., 2003).

Il y a environ 3100 individus (référencés dans le Studbook en 2022) au niveau mondial, et ils sont tous descendants d'environ 12-13 individus conservés dans des zoos, parcs animaliers et zones protégées (Turghan et al., 2022 ; Der Sarkissian et al., 2015 ; Lu et al., 2021 ; Wakefield et al., 2003). Grâce aux reproductions des individus dans les parcs, des programmes de réintroduction ont pu commencer, d'abord dans des zones restreintes (semi-réserves) pour permettre une phase d'adaptation. Les premiers centres en Chine datent de 1985 et 1989 (Turghan et al., 2022 ; Wakefield et al., 2003). Toutefois, bien que leurs populations se soient reproduites et développées, les centres étaient incapables de les relâcher, les conditions de l'environnement étant non adéquates (tel que le manque d'eau dans le désert) (Wakefield et al., 2003). En Mongolie, en 1992, deux projets de réintroduction ont également eu lieu, les chevaux passant d'abord par une aire d'acclimatation. Quelques relâchés ont alors eu lieu, mais certains individus ont dû être rapatriés à l'aire à la suite d'attaques de loups (Wakefield et al., 2003), cette prédation étant l'une des causes de mortalité chez les chevaux les plus importantes (Turghan et al., 2022). Les projets ont été réalisés avec succès en 1997-1998.

Au niveau de la structure sociale, deux types de groupes sociaux existent. Premièrement, la famille est constituée d'un étalon et de plusieurs juments, avec leurs poulains (Zalewski, 2018). Ensuite, les jeunes mâles, mâles sans famille ou qui n'en n'ont jamais eu et anciens étalons de famille constituent ce qu'on appelle le groupe bachelier/de célibataires ou solitaires (s'ils sont seuls). Ceux-ci sont plus mobiles que les mâles des familles (Turghan et al., 2022 ; Zalewski, 2018). Chaque famille possède son domaine vital, mais il est possible que certains domaines se chevauchent, les chevaux n'étant pas des espèces qui défendent leur territoire (Kerekes et al., 2021).



Figure 1. Chevaux de Przewalski à l'association Takh. ©Elise Gilles

Étant donné ses similitudes en termes de climat et de végétation avec les steppes mongoles, le Causse Méjean fut un lieu adéquat pour accueillir les chevaux de Przewalski (Roche & Tatin, 2021). Depuis le début du 19^e siècle, le paysage et les habitats du Causse Méjean sont forgés par le pâturage intensif des ovins (Marty et al., 2002). Récemment, un changement progressif des herbivores pour le pâturage a été observé. En plus des chevaux domestiques élevés sur le

Causse, l'introduction des chevaux de Przewalski en remplacement des ovins soulève des enjeux de préservation. Le Causse Méjean abrite un Mésobromion, milieu extrêmement riche, notamment en orchidées. Le risque de surpâturage, déjà significatif avec les moutons, pourrait s'accroître avec les chevaux en raison de leur manière de pâturer, de leur taille et de leur poids. Un autre risque majeur pour le Causse est la transformation des terres en zones de culture. Effectivement, plusieurs menaces pèsent sur le Causse, telles que l'abandon des systèmes pastoraux et le sous-pâturage, l'intensification agricole et la mise en culture, ainsi que les modifications des pratiques culturales (INPN, consulté le 16 juillet 2024).

Les deux sites faisant l'objet de cette étude sont pâturés par les chevaux de l'association Takh, œuvrant à leur conservation grâce à leurs programmes de réintroduction.

Cette association a été fondée en 1990, dans le but de conserver cette espèce et son habitat. C'est trois ans plus tard, en 1993 et en 1994, que onze chevaux arrivent au Villaret, lieu de l'implantation de l'association Takh dans le Parc national des Cévennes. Ces chevaux fondateurs proviennent de huit zoos européens (Saïdi & Mende, 1999). L'objectif principal était de favoriser des interactions sociales autonomes chez les chevaux, tant dans la recherche de ressources alimentaires que dans le choix des partenaires de reproduction, afin de favoriser l'émergence d'une population de chevaux avec une structure sociale bien établie (Roche & Tatin, 2021). Le projet initial visait à fonder une population viable, suivant des conditions de vie les plus naturelles possibles, pouvant être réintroduite en Mongolie. En plus de contribuer à la sauvegarde de cette espèce, le projet de l'association Takh permet également de maintenir la biodiversité des pelouses calcaires sèches et de favoriser l'ouverture du milieu, lequel possède une valeur patrimoniale élevée.

Ces chevaux vivent en semi-liberté à l'association. Cela signifie que l'intervention humaine est évitée dans la majorité des cas. En effet, il n'y a peu ou pas de soins vétérinaires, les chevaux ne sont ni nourris, ni vermifugés ni vaccinés et les seuls contacts avec l'homme se font lors de leur translocation (Mutillod et al., 2024b). Le seul apport réalisé est en pierre à sel. Toutefois, ils ne sont pas en totale liberté pour des raisons pratiques, légales (car considérés comme sauvages et dangereux) et de compétition avec les terres du Causse. Le site est donc clôturé sur 388 hectares.

La population de chevaux chez Takh a atteint cinquante-cinq individus avant d'être partiellement réintroduite en Mongolie en 2004 (douze chevaux) et 2005 (dix chevaux) vers Seer, Khomyn Tal, qui est le troisième site en Mongolie à accueillir des chevaux issus de programmes de réintroduction. Par la suite, deux chevaux ont été envoyés au Haut Thorenc en France en 2006, suivis de six autres en 2009. En Espagne, trois chevaux ont été introduits à San Cebrian de Muda en 2012 et huit à Atapuerca en 2014. Quelques années plus tard, en 2015, six chevaux ont été transférés en Russie, à Orenburg (Zalewski, 2018). La sélection des chevaux pour ces réintroductions s'est basée sur des critères tels que l'âge, la condition physique et la composition des groupes.

1.4 Indicateurs de biodiversité

Les indicateurs de biodiversité sont intéressants et utilisés dans le cadre du suivi de la biodiversité à différents niveaux et échelles (Duelli & Obrist, 2003). Selon Heink & Kowarik

(2010), *“en écologie et en planification environnementale, un indicateur est une composante ou une mesure de phénomènes pertinents pour l'environnement, utilisé pour décrire ou évaluer les conditions ou les changements environnementaux ou pour fixer des objectifs environnementaux”*.

Parmi les indicateurs existants, plusieurs catégories existent. Tout d'abord, ils peuvent être soit descriptifs, soit normatifs. Les premiers sont définis comme des indicateurs utilisés pour décrire des changements ou états environnementaux. Les seconds sont utilisés pour la même chose, mais également pour évaluer ces changements/états et définir des objectifs. Ensuite, certains indicateurs sont utilisés comme mesures d'attributs écologiques (par exemple la richesse spécifique) et d'autres comme composantes écologiques (une espèce précise par exemple) (Heink & Kowarik, 2010). Les indicateurs peuvent également être simples, c'est-à-dire unidimensionnels et reflétant des conditions singulières à court-terme, ou complexes (telle que la durabilité par exemple). Ces derniers sont multidimensionnels, incluant différents domaines pour lesquels des informations sont nécessaires et peuvent intégrer différentes informations sur une vaste zone et une longue période.

Les indicateurs dits simples seront sélectionnés dans le cadre de ce travail car ils fournissent des informations sur les facteurs environnementaux.

Une différence est également présente entre les indicateurs relatifs ou absolus. Les premiers mettent en évidence la différence entre un stade initial et final de biodiversité tandis que les seconds montrent un état absolu de la biodiversité (Duelli & Obrist, 2003).

Plusieurs motivations peuvent répondre à la question “pourquoi développer des indicateurs de biodiversité?”. Celles de ce travail sont les suivantes :

- Conservation de l'écosystème et des espèces présentes, avec un focus sur les espèces rares et en danger
- Résilience écologique de l'écosystème

Pour chaque motivation identifiée, il est nécessaire de sélectionner plusieurs indicateurs (Duelli & Obrist, 2003).

2. Objectifs

Ce projet vise à élaborer une méthodologie d'évaluation de l'état de l'écosystème dans les pâtures occupées par les chevaux de Przewalski. Il convient de se demander dans quelle mesure le réensauvagement par les chevaux pourrait favoriser ou menacer des enjeux de conservation actuels. L'enjeu principal pour les porteurs de projet de réensauvagement étant la résilience/durabilité de l'écosystème. Cette méthodologie permettra d'obtenir un état des lieux sur les sites possibles de réintroduction, que ce soient les sites déjà pâturés ou les sites futurs sur lesquels des projets auront lieu. Grâce à cet état des lieux, un suivi dans le temps pourra être effectué et permettra de connaître l'évolution de l'écosystème sous la pression de pâturage des chevaux.

Dans ce cadre, ce travail de fin d'étude vise aux objectifs suivants :

Dans un premier temps, un cadre multi-critères d'indicateurs sera proposé, applicable à tous les sites de (ré)introduction (Hongrie, Espagne, Mongolie, ...). Celui-ci reprendra des éléments de résilience du système mais également des caractéristiques propres au site liées à l'adaptabilité du système. La faisabilité, pertinence et complexité de chacun des indicateurs proposés seront évalués par les différents acteurs des programmes de réintroduction des chevaux de Przewalski.

Dans un second temps, l'état de l'écosystème de la pâture actuellement occupée par les chevaux de Przewalski de l'association Takh, introduits dans la situation locale dans une logique de laisser-faire maximal (sur le Causse Méjean, en France) sera évaluée grâce aux indicateurs proposés. Leur interaction avec l'écosystème représenté par sa communauté végétale suivant un angle de la valeur conservatoire sera évaluée. Dès lors, la méthodologie proposée pourra être testée. L'état de conservation de l'écosystème présent via les espèces patrimoniales, à enjeu conservatoire ainsi que les possibles statuts de protection seront évalués. De plus, la valeur fourragère sera également évaluée, autant en termes de qualité que de quantité. En effet, il est nécessaire de connaître la soutenabilité du système pour les chevaux, et de connaître les éléments importants que contient l'écosystème pour les chevaux.

Finalement, après avoir sélectionné les indicateurs et testé la méthodologie, un guide opérationnel sera rédigé pour l'association. Ce document concis contiendra toutes les informations nécessaires à la reproduction de la méthodologie (matériel nécessaire, temps demandé, fiches de terrain à compléter) afin qu'ils puissent le suivre à l'avenir.

3. Matériel et méthode

3.1 Zone d'étude

Les sites étudiés se situent partiellement en zone cœur du Parc national des Cévennes sur le Causse Méjean, plateau calcaire de 360km² se trouvant en Lozère, dans le sud de la France (figure 2). Le Causse Méjean fait partie de la région montagneuse du Massif Central, au sud-est.

L'altitude du plateau varie entre 800 et 1250 mètres et se positionne entre trois vallées, le Tarn au nord et à l'ouest, la Jonte au sud et le Tarnon à l'est.

Le climat est d'influence méditerranéo-montagnarde, caractérisé par un été aride (avec parfois plusieurs mois de sécheresse) et un hiver long, froid et humide (Caplat et al., 2006). Les températures moyennes varient de -3°C en janvier à 23°C en juillet mais des extrêmes ont déjà été enregistrés, tels que -17,5°C et 38°C (Fonderflick et al., 2010). Les précipitations annuelles varient de 800 à 900mm (Caplat et al., 2006).

Cette région naturelle est caractérisée par un réseau karstique dû à l'épaisseur de la couche calcaire et par un paysage composé de prairies de type steppique. Elles correspondent en partie au type d'habitat EUNIS (code E1.51) des steppes montagnardes méditerranéennes (European Environment Agency, 2019). Les espèces d'origine steppique présentes caractérisent l'endémisme important de la flore (Mutillod et al., 2024b).

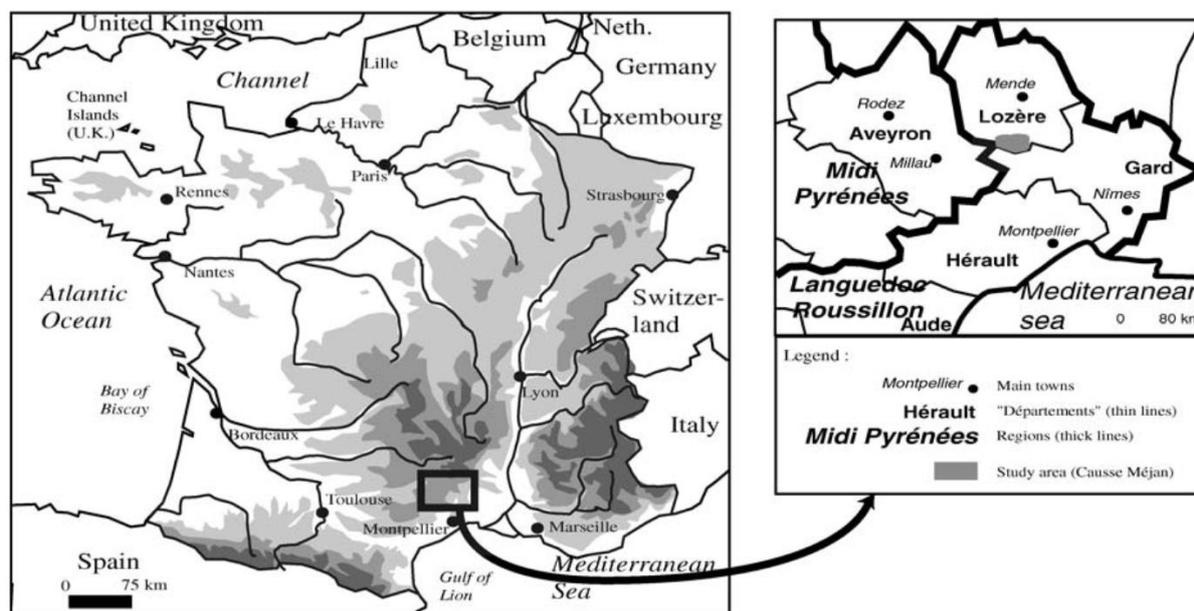


Figure 2. Localisation de la zone d'étude en France (Caplat et al., 2006).

3.2 Sites étudiés

Le premier site étudié, le Villaret (figures 3 et 7), est le hameau qui a donné son nom au premier enclos et qui a accueilli les chevaux en 1993 sur le Causse Méjean. Cet enclos s'étend sur 217 hectares et est généralement pâturé durant le printemps et l'été (de mi-mai à novembre).

Le second site, Nivoliers (hameau à l'est du Villaret, figure 3), couvre 171 hectares (dont 113 de sectional mis à disposition par la mairie) et communique avec le premier grâce à un passage

“sas” permettant de faire transiter les chevaux d’un côté à l’autre (figure 4). Il est pâturé durant l’automne et l’hiver (de novembre à mi-mai) depuis 2001. Ces périodes de pâturage sont théoriques. En effet, le passage est seulement ouvert en mai et novembre et les chevaux transitent selon leur plein gré, et cela ne se fait pas toujours directement. Pour des questions sanitaires et de gestion du milieu, le mouvement d’un enclos à l’autre est obligatoire et peut-être incité grâce aux pierres à sel ou à la gestion des points d’eau.

Lors de l’étude, entre 36 et 39 chevaux étaient présents dans les enclos de l’association Takh, trois poulains étant nés pendant la période d’étude, c’est-à-dire mai-juin 2024.

Les enclos présentent tout de même une certaine hétérogénéité. En effet, dans l’enclos de Nivoliers, deux zones sont ensemencées par les cultures de pins et présentent des jeunes pins. Elles se situent au nord-est de l’enclos ainsi qu’au sud-ouest. D’autres zones de l’enclos sont plus rocailleuses et réparties de manière variable. Une forte pente, celle du Grand Devès (1200 mètres d’altitude), traverse l’enclos du sud-ouest au nord-est, avec une plaine (1050 mètres d’altitude) qui s’étend à son pied (figure 5 A, figure 6). Au Villaret, une butte d’environ 1060 mètres d’altitude se trouve au centre de l’enclos. Les plaines de part et d’autre sont à hauteur de 1000 mètres d’altitude (figure 5 B). Comme à Nivoliers, les zones rocailleuses sont réparties dans tout l’enclos, mais celui-ci ne présente pas de zones réellement arbustives/arborées (figure 7).

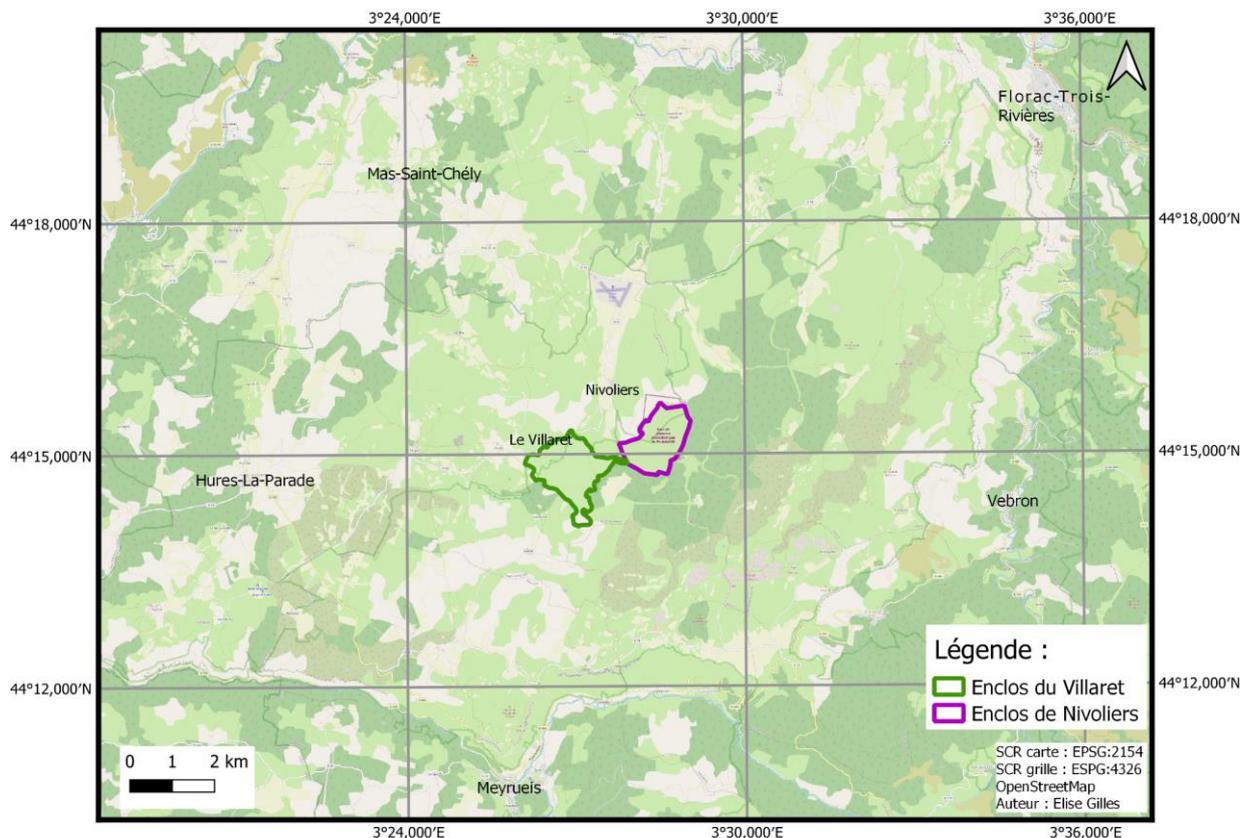


Figure 3. Localisation des deux sites étudiés situés dans le Parc national des Cévennes sur le Causse Méjean.



Figure 4. Passage “sas” reliant les deux enclos avec un système d’ouverture et de fermeture. ©Takh

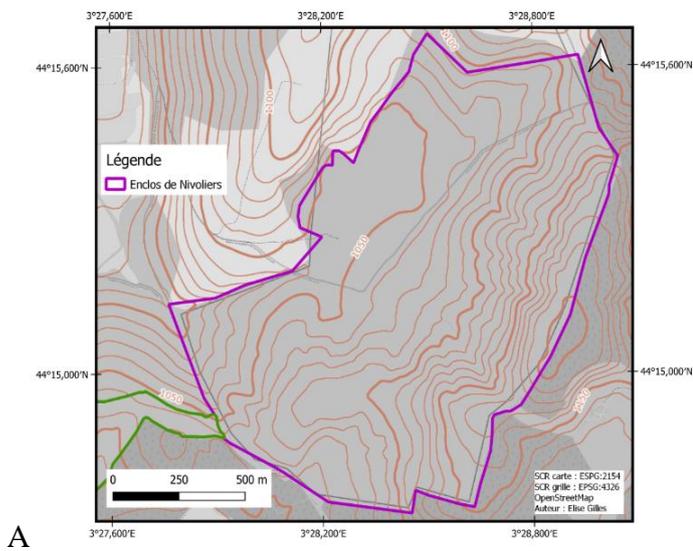


Figure 5. A et B Carte des courbes de niveau des enclos.

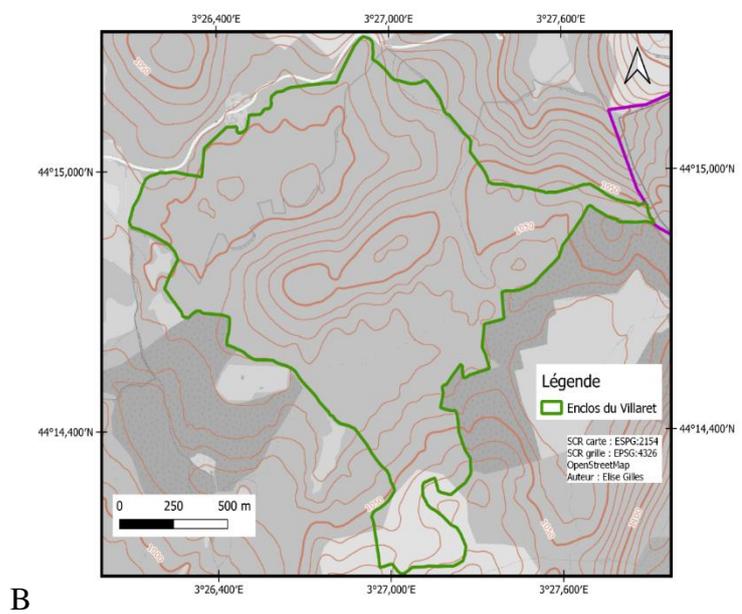




Figure 6. A et B Enclos de Nivolières. Grand Devès en arrière-plan, plaine en avant plan. C Partie de l'enclos de Nivolières vue du sommet du Grand Devès. ©Elise Gilles



Figure 7. A et B Enclos du Villaret. ©Takh

3.3 Cadre d'indicateurs

3.3.1 Création du cadre

Le premier objectif est la création d'un cadre d'indicateurs sur lequel les protocoles seront basés, afin d'évaluer l'état de l'écosystème dans les pâtures des chevaux de l'association Takh. Il s'est basé sur des indicateurs descriptifs car, dans un premier temps, ils serviront à décrire les états environnementaux. À l'avenir, ces indicateurs pourront être utilisés par les différents acteurs comme indicateurs normatifs pour définir des objectifs. Ils sont simples, car conçus pour ce projet sur une courte période, mais ils sont destinés à être suivis sur le long terme et pourront alors devenir complexes. Enfin, ils sont qualifiés d'absolus car, une fois évalués pour la première fois, ils reflètent un état absolu de la biodiversité. Si ce protocole atteint son objectif et est suivi dans le temps, les indicateurs deviendront relatifs car ils permettront de comparer les informations entre un stade initial et un stade ultérieur.

Les indicateurs appropriés ont également été sélectionnés s'ils répondaient positivement à ces questions proposées par Normander et al. (2012) :

- L'indicateur peut-il être mesuré annuellement ou périodiquement ?
- L'indicateur peut-il être utilisé à une échelle plus large ?
- L'indicateur permet-il la comparaison entre sites, entre pays ?

En somme, l'indicateur peut-il être réutilisable dans différents contextes ?

Les indicateurs, sélectionnés pour leur pertinence dans l'évaluation de l'état de l'écosystème et leur applicabilité à d'autres contextes de réintroduction, sont tirés pour la plupart des rapports techniques de l'European Environment Agency de 2002 et 2007 (EEA, 2002 ; EEA, 2007). Ils ont également été discutés avec l'équipe Takh en fonction de leur pertinence, de leur complexité et de leur faisabilité. Ainsi, 14 indicateurs ont été retenus, comme indiqué dans le tableau 1.

Tableau 1. Cadre multicritère d'évaluation de l'état de l'écosystème de la pâture (et de l'impact des chevaux sur leur milieu à long terme) ainsi que de mesures nécessaires aux réintroductions.

		Phénomènes à mesurer	Indicateurs	
Avant/pendant/après réintroduction	Résilience du système	Impact sur la biodiversité (et contraintes de la zone)	Diversité en espèces	Richesse spécifique
		Soutenabilité fourragère	Espèces à enjeu conservatoire	Présence et abondance d'espèces menacées d'extinction
			Habitats protégés/d'intérêts	Présence et abondance d'espèces protégées
			Sol	Présence, nombre, surface et distribution des zones/habitats à statut de protection
	Avant réintroduction	Adaptabilité du système	Qualité nutritionnelle	Sol
Quantité				Risque d'empoisonnement
			Eau	Équilibre monocotylédone/dicotylédone
				Abrès naturels
Eléments paysagers			Évaluation directe : Composition chimique	
	Taille de l'habitat	Biomasse		
			Eau	Accessibilité, disponibilité et qualité de l'eau
		Abrès naturels	Présence d'abrès naturels	
		Eléments paysagers	Présence d'éléments paysagers amenant des compléments à leur alimentation	
		Taille de l'habitat	Surface de l'habitat suffisant	

3.3.2 Avis des acteurs

Le tableau 1 a été discuté avec l'équipe scientifique de Takh et leur avis d'un point de vue niveau de complexité, faisabilité et pertinence a été demandé. Il en est ressorti que tous les indicateurs étaient pertinents, mais que la composition chimique n'était pas un point prioritaire et non faisable pour/par eux. Cependant, avec du budget, ils pourraient faire faire ces analyses

par des laboratoires externes. En ce qui concerne la faisabilité, la surface de l'habitat est plus complexe car découle également de tous les autres indicateurs. Le niveau de complexité est variable d'un indicateur à l'autre. Les avis des acteurs quant à la complexité sont repris en annexe 1 et des solutions sont proposées dans la partie 5.3 de ce travail.

3.4 Eléments généraux sur les indicateurs sélectionnés

3.4.1 Diversité en espèces : Richesse spécifique

Pour cet indicateur, la richesse spécifique, le phénomène à mesurer est la diversité en espèces. Elle peut être évaluée en termes de flore et de faune.

La richesse spécifique peut être estimée localement (à l'échelle d'une placette ou d'un transect) ou à l'échelle de l'enclos.

Pour la flore, la méthode appropriée est l'inventaire dans des quadrats.

Pour la faune, il faut, pour obtenir des résultats ayant une signification pour la zone étudiée, se concentrer sur les groupes d'espèces (un ordre par exemple) intéressants. Les orthoptères constituent un ordre intéressant, mais leur identification requiert des protocoles complexes incluant des captures. De plus, une étude par Tatin et al. (2000) a déjà été réalisée. Autrement, les papillons sont de bons bio-indicateurs et jouent un rôle dans le fonctionnement et la stabilité de l'écosystème. Dans les milieux ouverts, ils contribuent à l'évaluation et au suivi de l'état de conservation de l'habitat (Cotrel, 2010). Les chenilles sont liées à la ressource alimentaire herbacée et les adultes à la ressource florale (Garrido et al., 2019). Parmi les espèces cibles du Parc national des Cévennes (PNC) figurent le papillon d'Apollon (*Parnassius apollo*) et, parmi celles du Plan National d'Action (PNA), les papillons Maculinea (genre *Phengaris*) (Parc national des Cévennes, consulté le 4 juillet 2024). Un focus peut donc être réalisé sur l'ordre des lépidoptères.

La méthode de comptage par transect, simple et efficace, est la plus adaptée pour cet ordre pour couvrir au maximum la zone et permet un suivi léger et reproductible, garantissant des résultats comparables d'une année à l'autre. Les transects doivent être espacés de minimum 50 mètres pour éviter un double-comptage des individus (Demerges & Bachelard, 2002). Réaliser ces transects à plusieurs reprises, espacés dans le temps mais à la même période, permet de suivre l'évolution du nombre d'espèces et de leur abondance, offrant une indication sur leur croissance ou décroissance au fil du temps. Lors de futures réintroductions des chevaux, cette méthode pourra être appliquée avant l'introduction, puis tous les ans (ou tous les 3-5 ans) par la suite pour suivre l'évolution. Tout comme les Pollard walks, cette méthode donne une idée de l'abondance relative plutôt que d'estimer l'abondance totale de la population (Taron & Ries, 2015). Si les connaissances en espèces ne sont pas précises, des observations simples telles que les couleurs et morphotypes des papillons permettent déjà de différencier des espèces ou des familles.

3.4.2 Espèces à enjeu conservatoire

Pour cet indicateur, plusieurs critères peuvent être évalués. Il est possible de se baser sur le statut UICN, la rareté, les menaces portant sur l'espèce et/ou son habitat, les statuts de

protection (qui sont eux-mêmes dérivés des points précédents). Tout ceci pouvant être établi à l'échelle nationale ou locale. Ils peuvent être combinés, ou pris au cas par cas uniquement.

Il est à retenir que, dans une évaluation locale, une espèce considérée comme rare ou menacée au niveau national possède une valeur de conservation supérieure à celle d'une espèce commune. En effet, elle contribue de manière plus significative à la biodiversité régionale ou nationale par rapport aux espèces omniprésentes (Duelli & Obrist, 2003).

Dans le cas présent, chez Takh, les deux enclos font majoritairement partie de la zone cœur du Parc national des Cévennes (voir partie 4.3). Le Parc participe à des plans d'action pour la conservation de certaines espèces menacées, basés principalement sur les listes rouges régionales de l'UICN. Que ce soit pour la faune ou la flore, le Parc a établi sa propre hiérarchisation basée sur un score des priorités en termes de conservation des espèces appelées "patrimoniales".

Pour l'étude et l'application des indicateurs à cette zone, ce sont les critères du Parc qui sont pris en compte et qui regroupent plusieurs des critères cités ci-dessus.

En ce qui concerne la faune, le score repose sur la somme des notes de trois critères. Le premier critère, la responsabilité patrimoniale, s'appuie sur le nombre de départements qu'occupe l'espèce au niveau national. La note varie de 0 (plus de 16 départements) à 4 (moins de 4 départements). Le second, la rareté, dépend de l'abondance relative et/ou de la distribution dans le Parc. Il varie de 0 (très commune) à 4 (très rare). Le troisième, la fragilité par rapport à l'habitat combine les deux facteurs suivants. L'évolution temporelle des habitats varie de 0 s'il y a une augmentation de la superficie des habitats favorables à l'espèce à 2 s'il y a une réduction importante de la superficie des habitats favorables et/ou un accroissement important des pressions anthropiques sur ceux-ci. Enfin, le degré de spécialisation de l'espèce varie également de 0 (espèce généraliste en ce qui concerne les habitats utilisés) à 2 (espèce très spécialisée pour un type d'habitat). Ce sont ces critères, tous pris en considération pour chaque espèce, qui définissent la hiérarchisation. Le score maximum pouvant être obtenu est de 12.

Quarante-huit espèces sont classées en haut de la liste du Parc des espèces de faune à enjeux conservatoires (ayant un score élevé, de 8 à 12/12). Parmi celles-ci, sont retrouvées certaines espèces de rhopalocères telles que le papillon Apollon, plusieurs espèces d'odonates, d'orthoptères et d'avifaunes par exemple. Le Plan National d'Action (PNA) du Parc se focalise également sur certaines de ces espèces ou groupes d'espèces (*Participation aux Plans nationaux d'action | Parc national des Cévennes*, consulté le 4 juillet 2024). L'avifaune est également intéressante et de nombreuses espèces sont reprises dans le PNA, étant donné que plusieurs oiseaux nicheurs au sol peuvent être menacés par la pression que les chevaux imposent. Pour cela, il faudrait dénombrer le nombre de nids trouvés au sol, et suivre ce nombre dans le temps. Cependant, il est difficile de lier l'espèce au type de nid si celle-ci n'est pas présente aux alentours.

En ce qui concerne la flore, les listes du Parc sont construites légèrement différemment, bien que les critères de classement soient presque identiques à ceux de la faune. Ils se basent sur la responsabilité patrimoniale du territoire pour le taxon, qui varie cependant de 0 (plus de 25 départements) à 5 (moins de 4 départements), sur la rareté locale du taxon, variant de 1

(commun ou très commun) à 5 (très rare ou exceptionnel) et sur la fragilité de l'habitat du taxon. Le score de ce dernier critère est fixé en fonction du grand type de milieu abritant le taxon. Une note de 1 pour les falaises/rochers, de 2 pour les forêts et lisières, de 3 pour les pelouses, landes et prairies, et enfin de 4 pour les cultures, zones humides et mégaphorbiaies. Le score maximum ici étant de 14. Pour établir une présélection pour cette liste, les taxons choisis devaient être repris dans au moins un des référentiels naturalistes suivant ; TAXREF protection nationale ou régionale, la liste rouge nationale, la liste du plan national d'action "messicole", « espèces végétales déterminantes pour la constitution des ZNIEFF Languedoc Roussillon » (2005) : statuts « déterminant » à « remarquable », ainsi que le catalogue des plantes vasculaires du PNC.

L'adonis de printemps (*Adonis vernalis*), par exemple, est relativement haut dans la liste. Ce taxon est pourtant très présent dans les enclos des chevaux, et n'a donc pas été choisi. De plus, celui-ci n'était plus en fleur dès le début des inventaires.

Cet indicateur est également mesuré le long de transect, méthode la plus pertinente. Pour les espèces extrêmement rares et/ou peu détectables, un point GPS peut être enregistré à leur localisation ou leur position peut être notée en mètres par rapport au début du transect.

Si aucun voir peu d'individus n'ont été retrouvés dans chacun des enclos, des quadrats de 50x50m sont placés aux endroits où l'espèce a déjà été repérée auparavant (données trouvables sur Geonature ou fournies par le Parc sur demande).

En fonction de la zone, il n'est pas toujours possible d'avoir des hiérarchisations et listes toutes faites, c'est pour cela que deux indicateurs sont proposés ci-après.

3.4.2.1 Présence et abondance d'espèces menacées d'extinction

Cet indicateur est évalué sur base des espèces reprises dans les listes rouges de l'UICN dans la zone donnée. Derrière ces listes, les critères de rareté ou d'espèce endémique sont souvent pris en considération. Dans le but de décider des espèces à suivre, il faudra préciser les enjeux locaux. L'échelle géographique doit également être précisée. Les listes rouges sont établies à l'échelle nationale mais également à l'échelle locale.

La méthode d'inventaire peut être également réalisée via des transects et un relevé du nombre d'espèces de la liste que l'on observe et/ou le nombre d'individus de chaque espèce, pour plus de précision.

3.4.2.2 Présence et abondance d'espèces protégées

Cet indicateur, similaire au précédent, est mesuré de la même manière, mais prend en compte des espèces protégées sur la zone, même si elles ne figurent pas sur les listes rouges. Selon le pays, la zone et les données disponibles, ces indicateurs peuvent être évalués différemment.

Les mesures, autant pour les espèces menacées d'extinction et protégées, peuvent être qualitatives ou quantitatives, il est possible de définir un seuil de viabilité de la population, en fonction des besoins, ou bien de quantifier si l'espèce est présente abondamment ou rarement. Les ordres de grandeur peuvent être de différents types. Cela peut être semi-quantitatif, comme

en classes de nombre d'individus, ou encore qualifier si la population est en hausse/en baisse si un stade initial/ultérieur est disponible.

3.4.3 Taux de recouvrement de sol nu

Il est intéressant de suivre le pourcentage de sol nu sur la parcelle comparé au sol couvert au cours du temps, et donc son évolution. En effet, les chevaux, par leur poids, leur piétinement et les roulades effectuées à des endroits répétés, peuvent engendrer des zones/taches non couvertes par la végétation. Plusieurs méthodes sont possibles pour obtenir ces données. Par exemple, l'utilisation d'images par drones donne des résultats de haute qualité. Cependant, cela perturbe et dérange les chevaux de l'association Takh, car ils en ont très peur.

3.4.4 Qualité nutritionnelle du fourrage

Pour évaluer la qualité de la pâture, quatre indicateurs sont pris en compte. Ils sont conçus pour être suivis au fil du temps afin de déterminer s'il y a une amélioration ou une détérioration de la qualité de la pâture.

3.4.4.1 Risque d'empoisonnement

Le risque d'empoisonnement pour ces chevaux vivant en liberté ou semi-liberté est important à prendre en compte. Certaines plantes sont toxiques pour leur santé et peuvent même mener à la mort si ingérées en grande quantité. Toutefois, des indigestions alimentaires peuvent être causées par n'importe quelles plantes consommées en excès, telles que certaines légumineuses. D'après l'IFCE, le recouvrement de la prairie par les légumineuses ne doit pas dépasser 20% (IFCE, consulté le 12 juillet 2024).

Un autre point valant la peine d'être mentionné quant aux risques d'intoxication sont les chenilles processionnaires. Celles-ci libèrent des soies au sol, qui, une fois ingurgitées par les chevaux, sont mortelles (IFCE, consulté le 12 juillet 2024).

3.4.4.2 Equilibre monocotylédone/dicotylédone

Cet indicateur est également évalué dans le but de caractériser la qualité de la pâture, étant donné l'attrait pour les chevaux vers une alimentation de type graminée par rapport aux autres espèces variétales (Pereladova et al., 1999 ; Skarpe & Hester, 2008 ; Fleurance et al., 2011). Celui-ci, à suivre dans le temps, permet de caractériser la pâture et d'anticiper une éventuelle homogénéisation et dominance des dicotylédones, ce qui pourrait devenir problématique dans l'alimentation des chevaux.

3.4.4.3 Evaluation indirecte : composition en espèce

Cet indicateur de qualité est indirect car il prend en compte les pourcentages de couverture de chaque espèce de graminée et leurs valeurs fourragères respectives. De plus, bien que les graminées garantissent le rendement en kilogrammes de matière sèche, ce sont les légumineuses (famille des papilionacées) qui améliorent la qualité nutritionnelle du couvert végétal en fournissant des protéines, du calcium et du phosphore. Ces dernières, étant pérennes, procurent également des matières azotées digestibles (IFCE, consulté le 12 juillet 2024).

Toutes les espèces n'ont cependant pas toujours de valeur fourragère attribuée dans la littérature. Cet indicateur complémentaire caractérisant la qualité d'une pâture peut compléter les autres si les données sont disponibles.

3.4.4.4 Evaluation directe : composition chimique

Un indicateur direct de la qualité est évalué grâce aux composants chimiques retrouvés dans les plantes. Une fois la végétation herbacée coupée, identifiée et séchée, les espèces peuvent être analysées grâce à la spectrophotométrie avec rayon infra-rouge dans un laboratoire dans le but d'identifier les taux des différents composants qu'elles contiennent, par exemple en azote. Cet indicateur n'est pas évalué dans le cadre de ce projet. Toutefois, des laboratoires/universités peuvent réaliser ces analyses directement pour des demandeurs.

3.4.5 Quantité : biomasse aérienne

Cet indicateur mesure la quantité de matière sèche de végétation herbacée disponible dans les enclos pour la consommation des chevaux. Il permet d'estimer, à un moment donné, le nombre de chevaux qu'un enclos ou une zone peut supporter. Selon l'étude de (Pozdnyakova et al., 2011), les chevaux de Przewalski en 'liberté' ingèrent en moyenne 9,2kg de matière sèche par jour. Bien que les quantités ingérées puissent être très variables et que la végétation n'est pas figée, surtout au printemps en pleine croissance, il reste possible d'estimer le nombre de chevaux qu'un milieu peut soutenir sur un mois en termes de ressources fourragères. De plus, il est crucial de garder à l'esprit le seuil de 25 % de prélèvement en milieu aride. Si ce seuil est dépassé et que le pâturage est permanent, la végétation finira par être dégradée (Bindelle, 2024).

3.4.6 Accessibilité, disponibilité et qualité de l'eau

Pour évaluer l'accessibilité et la disponibilité en eau, il est essentiel de bien connaître le site de réintroduction et d'identifier les points d'eau existants. Cela peut se faire grâce à une prospection du site, des images satellites, des vols drones, ou bien grâce aux connaissances des locaux.

L'accessibilité peut se mesurer via la distance (par rapport au lieu de réintroduction des chevaux), mais également via la topographie et les éléments du paysage les séparant du point d'eau. En effet, le dénivelé peut les dissuader ainsi que les zones très boisées. Cela a été observé en Mongolie, les chevaux ont parfois préféré boire dans les bras morts de la rivière plutôt que de traverser la zone boisée (Communication personnelle, Florian Drouard).

Si des points d'eau ne sont pas présents, il faudra en créer, à un lieu propice et adéquat.

Un point supplémentaire, non évalué dans le cadre de ce travail, est un échantillonnage de l'eau des lavognes où les chevaux s'abreuvent pour en déterminer la qualité. Cet échantillonnage, bien que nécessitant un laboratoire et des outils précis, reste pertinent. Un kit d'analyse simple, pouvant être utilisé par les gestionnaires, est également une option. Des données simples telles que le pH, la conductivité, la température et la saturation en oxygène peuvent déjà s'avérer utiles. Cela permettrait de suivre la qualité de l'eau et de détecter d'éventuelles infestations. Idéalement, ces mesures devraient être effectuées quatre fois par an, une fois par saison.

3.4.7 Présence d'abris naturels

Même les chevaux vivants en liberté ou semi-liberté ont des critères concernant l'habitat. Bien que les chevaux de Przewalski soient rustiques, ils affectionnent particulièrement les habitats proches de rivière pour s'abreuver ou de forêt fournissant de l'ombre pour s'abriter. L'été, lors des fortes chaleurs, ils profitent des flancs de colline venteux, non seulement pour la fraîcheur, mais également pour se défaire des mouches. Les plaines et espaces plats jouent également un rôle crucial, ceux-ci permettent aux chevaux de rester attentifs aux prédateurs à distance (Turghan et al., 2022). C'est également pour ces raisons que les forêts ne sont en réalité pas tellement utilisées (Communication personnelle, Peter Csoban).

Avant une réintroduction des chevaux, il est essentiel de prospecter ou de bien connaître la zone afin de repérer la présence des différents abris naturels.

3.4.8 Présence d'éléments paysagers amenant des compléments à leur alimentation

Les chevaux de Przewalski, comme tous les équidés, se nourrissent principalement de graminées. Cependant, si la ressource vient à perdre en qualité, ils savent s'adapter, par exemple en augmentant les quantités ingurgitées (Köhler et al., 2016). Si la ressource vient à manquer, ils pourront compenser naturellement par d'autres sources de nourriture telle que les feuilles de buissons, des fruits ou d'autres espèces végétales, leur fournissant assez de minéraux ou d'énergie par exemple.

Ils sont qualifiés de fermenteurs de l'intestin postérieur, ils doivent donc manger en grande quantité de la nourriture peu qualitative (*Smithsonian's National Zoo and Conservation Biology Institute*, consulté le 11 juillet 2024). Ces éléments paysagers peuvent se traduire par des buissons, des arbustes, des arbres fruitiers, des points d'eau salée amenant du sel, un sol ferreux,...

3.4.9 Surface de l'habitat suffisant

Avant toute réintroduction, surtout dans un site clos, il est nécessaire de savoir si la taille de la zone est suffisante, en fonction du nombre de chevaux introduits. Le domaine vital d'un cheval est comparé avec la taille de l'habitat et une surface minimum lors des réintroductions peut être fixée.

Si l'habitat est trop faible comparé à ce dont ont besoin les chevaux (lors d'une croissance démographique), il faudra repérer si d'autres zones à proximité sont accessibles via des corridors pour relier ces taches fragmentées. Il est nécessaire d'avoir un plan en amont des transports des chevaux. D'autres solutions sont possibles. L'une d'elle est la translocation des chevaux dans d'autres régions/pays, comme le fait l'association Takh. Il existe aussi d'autres méthodes de gestion plus directe par l'humain telles que l'abattage sélectif ou la stérilisation. Cet indicateur dépend intrinsèquement d'autres indicateurs, tel que la qualité de la pâture. Il est destiné à être utilisé dans les futurs programmes de réintroduction, et son évaluation ici n'a pas de pertinence.

3.5 Application aux sites de l'association Takh

Les méthodes de mesures des indicateurs retenus et appliqués aux deux enclos accueillant les chevaux de Przewalski chez Takh sont explicitées ci-après.

3.5.1 Structure d'échantillonnage

- Inventaire systématique par quadrats de 1m² (Mutillod et al., 2024b) :

Un inventaire a été réalisé selon une grille systématique posée aléatoirement (figure 8). Les points de la grille, couvrant chacun 1m², sont tous espacés de 200 mètres, ce qui a permis de placer 40 placettes à Nivoliers et 49 au Villaret. Cet inventaire a été réalisé par Mutillod et al. (2024b) en juin 2022.

Les données utilisées dans le cadre de ce travail sont les espèces, leur taux de recouvrement, les taux de recouvrement de sol nu, de dicotylédone et de monocotylédone.

- Transects :

Onze transects dans l'enclos du Villaret et huit dans celui de Nivoliers, tous espacés de 200 mètres, sont parcourus sur la zone, de manière à ce que chaque type d'habitat retrouvé dans l'enclos soit traversé. En effet, les enclos présentent une certaine hétérogénéité, peu marquée mais tout de même présente. Ces transects sont placés selon le dénivelé et l'homogénéité du terrain, c'est-à-dire que la végétation est similaire le long d'un transect. C'est pour cela qu'ils sont dirigés nord-sud dans l'enclos de Nivoliers et est-ouest dans l'enclos du Villaret (figure 9). Les lépidoptères ainsi que les plantes à enjeux conservatoires sont comptés le long de ces transects.

- Inventaire aléatoire par quadrats de 50cm² :

Cet échantillonnage est principalement conçu pour le point relatif à la biomasse. La zone est stratifiée selon l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) dans le but d'avoir un échantillonnage le plus représentatif du milieu (figure 10). Pour ce faire, un code sur Google Earth Engine a été réalisé. Trois strates ont été définies : sol nu, végétation herbacée et végétation arbustive/arborée. Les valeurs de NDVI, qui varient entre -1 et +1, ont été classées selon des seuils spécifiques. La strate sol nu correspond aux valeurs de [-1;0,39], la végétation herbacée aux valeurs de]0,39;0,6050] et la végétation arbustive/arborée aux valeurs de]0,6050;1]. Ensuite, l'image Sentinel-2 a été filtrée sur une période de six mois, d'avril à septembre 2023. C'est l'image médiane qui a été sélectionnée. Cette image raster a ensuite été vectorisée dans QGIS (version 3.22.11) pour obtenir les trois classes distinctes sous forme de polygones et pouvoir calculer des surfaces.

Cinquante points dans chaque enclos, placés aléatoirement dans la strate de végétation herbacée sont soumis à l'échantillonnage, dans des placettes de 50cm² (toutes séparées de minimum 100 mètres environ) (figure 11).

En plus de la coupe (à l'aide d'un sécateur) de la végétation, plusieurs informations sont prises dans ces quadrats : hauteurs à cinq points, taux de recouvrement de sol nu, de dicotylédone et de monocotylédone, nombre et taux de recouvrement des espèces toxiques.

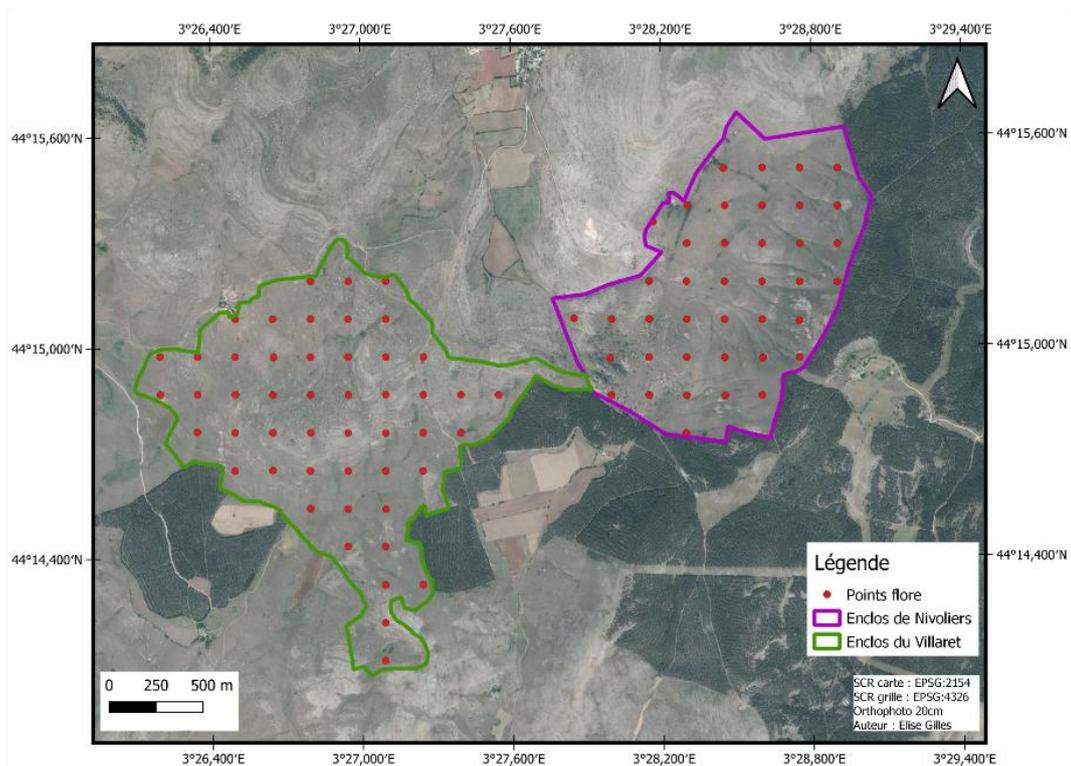


Figure 8. Carte reprenant les points de l'inventaire systématique de la flore réalisé en 2022 par Mutillod et al. (2024b).

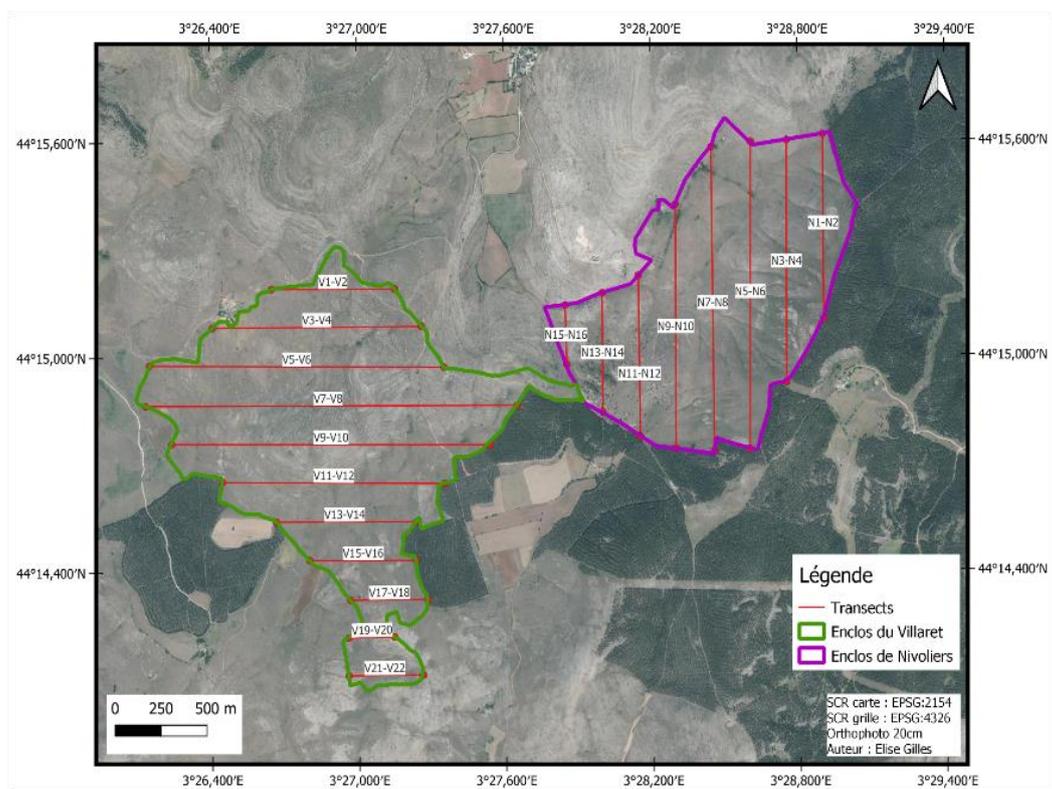


Figure 9. Carte représentant les transects dans chacun des enclos.

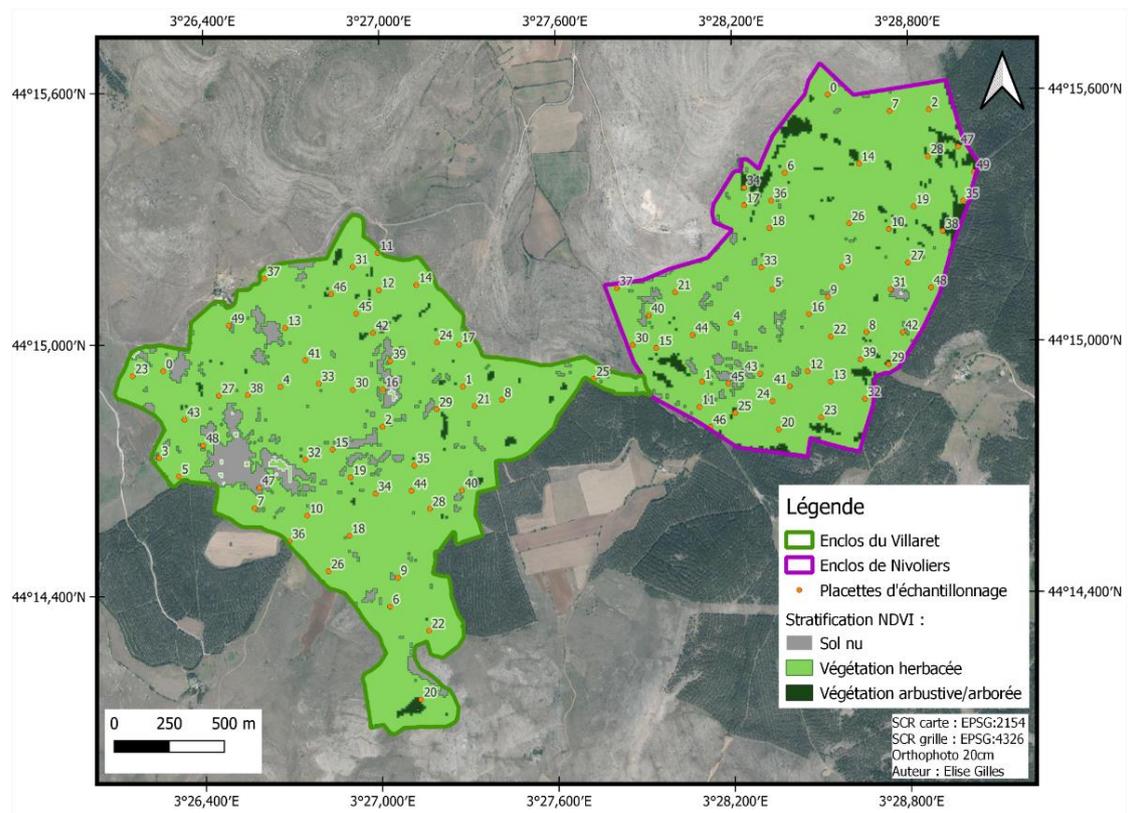


Figure 10. Carte représentant les points d'échantillonnage de 50cm² placés dans la strate herbacée suivant la stratification sur base de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI).



Figure 11. Quadrats de 50cm². ©Elise Gilles

3.5.2 Protocoles

3.5.2.1 Diversité en espèces : Richesse spécifique

- Flore :

Ces données pour la flore ont été récoltées dans les deux enclos des chevaux (Villaret et Nivoliers) par Mutillod et al. (2024b) en juin 2022 (figure 8). Elles sont reprises de leur base de données. Chacune des espèces a été identifiée dans chaque placette et leurs taux de recouvrement en pourcentage estimés (Mutillod et al., 2024b).

- Faune :

Comme mentionné précédemment, cet indicateur est évalué pour l'ordre des lépidoptères le long des transects (figure 9).

Théoriquement, la vitesse de marche le long du transect est constante et d'environ 2km/h mais cela est rarement le cas, étant donné différents facteurs qui pourraient ralentir la cadence (versant escarpé par exemple). Le temps de parcours d'un transect dépend donc étroitement des différents facteurs environnementaux (Demerges & Bachelard, 2002).

Le temps de parcours par transect est systématiquement noté. Une campagne de prospection test sur les premiers transects a été réalisée pour acquérir l'expérience nécessaire et élaborer une clé de détermination basée sur la couleur dominante et la taille pour affiner le comptage.

En termes de mesures, les papillons (imagos) observés à une distance de cinq à dix mètres devant et à côté de l'observateur sont comptés et notés dans la clé créée au préalable. Aucune capture n'est effectuée.

La période de suivi s'est déroulée du 3 au 6 juin 2024.

Les contraintes météorologiques conditionnent les sorties. La température joue sur le comportement des lépidoptères, et ceux-ci ont besoin d'un plein soleil pour déployer leurs ailes (Demerges & Bachelard, 2002). Les prises de données sont réalisées uniquement la journée entre 10h et 18h et sous des conditions spécifiques. Les conditions météorologiques respectées pour l'observation de papillons sont les suivantes : pas de pluie, vent faible (échelle de Beaufort maximum 3, maximum 30km/h), une température minimum de 14°C ensoleillé ou faiblement nuageux et de minimum 17°C s'il fait nuageux (Demerges & Bachelard, 2002).

Des informations additionnelles sont prises pour chaque période d'observation : la date, l'heure de début et de fin, la température, la couverture nuageuse moyenne, et la vitesse du vent.

Pour l'identification des espèces et familles qui étaient possibles par catégorie, les guides de Higgins (1983), Townsend & Waring (2020), Lafranchis (2014), Hentz et al. (2022) et Haahtela et al. (2017) ont été utilisés.

3.5.2.2 Espèces à enjeu conservatoire

La méthode par transect est la méthode utilisée aussi bien pour la flore que pour la faune (figure 9). En effet, elle permet de parcourir la zone différemment et de repérer des espèces qui n'auraient potentiellement pas été retrouvées dans l'inventaire systématique (réalisé pour la richesse spécifique en flore).

- Faune :

Le choix de l'espèce de type faune suivie dans le parc et reprise dans la liste fournie par les agents du Parc est *Parnassius apollo*, l'Apollon (figure 12). Ce choix s'est basé sur sa présence dans les enclos (annexe 2) ainsi que sur les préférences de l'équipe Takh et du Parc. L'Apollon est classé comme à enjeu sur le PNC, et les mesures de gestion prises pour sa conservation sont le maintien du pâturage et la réalisation d'un suivi annuel ou tous les 3-5ans. Il est également repris dans les espèces de l'Annexe IV de la directive 92/43 (Chabin, 2011). Ce papillon (le stade adulte) peut être observé de mai à septembre (Inventaire National du Patrimoine Naturel, consulté le 05 mai 2024) et est actif lors des journées chaudes et ensoleillées, sans pluie (Nakonieczny et al., 2007). Les conditions pour l'observer sont donc les mêmes que pour l'inventaire des lépidoptères (point 1 : Diversité en espèce : Richesse spécifique). Cependant, l'espèce *Parnassius* a tendance à se cacher dès que les nuages apparaissent ou qu'une différence de température survient (Demerges & Bachelard, 2002). Etant donné la période sur laquelle s'étend la récolte de données, c'est-à-dire début juin, les chenilles n'ont pas pu être observées.

Ce taxon est inventorié en nombre d'individus observés le long des transects (figure 9) lors du comptage des papillons (voir point 3.5.2.1). Cependant, lorsque celui-ci est observé, le quart du transect dans lequel il a été repéré est précisé.

- Flore :

Le choix pour la flore s'est porté sur trois espèces. Elles ont été sélectionnées sur base de la hiérarchie du Parc. Elles sont présentes dans les enclos (annexes 2 et 3) mais rares, présentes dans peu de départements et dans des habitats fragiles. Ce sont la Gentiane de Coste (*Gentiana clusii*) (figure 13), l'Ophrys d'aymonin (*Ophrys aymoninii*) (figure 14) et la Scorsonère pourpre (*Scorzonera purpurea*) (figure 15) (citées selon l'enjeu patrimonial décroissant). L'Ophrys d'aymonin fait d'ailleurs partie des espèces remarquables pour le Languedoc-Roussillon (Chabin, 2011).

Les individus sont comptés le long des transects (figure 9) à une distance de dix à quinze mètres devant et à côté de l'observateur. Chaque transect a été numéroté et divisé en quatre parties égales, de sorte que les individus détectés sont notés dans un quart du transect. (Exemple : le long d'un transect de 400 mètres, le nombre d'individus est noté séparément pour chaque segment de 100 mètres. Cela permet de déterminer la zone où les individus d'une espèce sont retrouvés).

Cet inventaire s'est déroulé du 6 au 11 juin 2024.



Figure 12. *Parnassius apollo*, ©P. Gourdain, source: https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/54496/tab/fiche



Figure 13. *Gentiana clusii*, source: <https://alchetron.com/Gentiana-clusii>



Figure 14. *Ophrys aymoninii*. ©Elise Gilles



Figure 15. *Scorzonera purpurea*. ©Elise Gilles

Quatre quadrats, additionnels aux transects, ont été réalisés pour inventorier *Gentiana clusii* (figure 13), espèce extrêmement rare et presque uniquement présente dans un exclos, celui-ci se situant dans l'enclos de Niveliers (Communication personnelle, Sébastien Carton de Grammont ; GeoNature, consulté le 27 mai 2024).

L'exclos (figure 17), mesurant 5m², a été inventorié ainsi qu'un quadrat de 50m² englobant celui-ci (C sur la figure 16). Deux autres quadrats, de 50m² également, ont été réalisés autour de deux points GPS montrant la présence de ce taxon et provenant de données extraites de GeoNature (A et B, figure 16). Le quadrat B est une zone référencée telle quelle dans GeoNature, la forme a donc été gardée pour l'inventaire. GeoNature, reprenant des informations importantes et des coordonnées GPS de certaines espèces rares, est un outil essentiel également à prendre en compte.

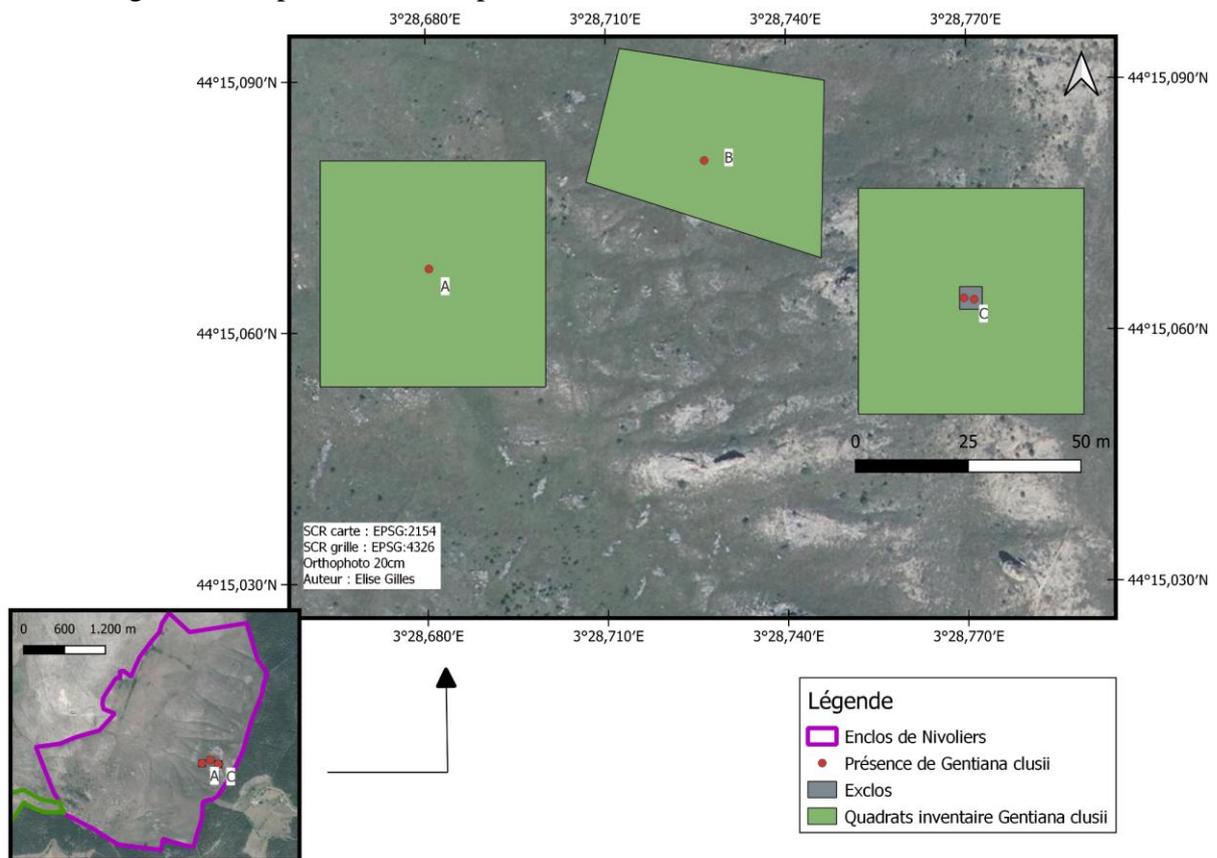


Figure 16. Localisation précise des quadrats réalisés pour l'inventaire de *Gentiana clusii* et vue d'ensemble dans l'enclos de Niveliers.



Figure 17. Photographie de l'enclos englobant les individus de *Gentiana clusii*. ©Elise Gilles

3.5.2.3 Présence, nombre, surface et distribution des zones/habitats à statut de protection ou d'intérêts

Le phénomène à mesurer ici concerne les habitats et les zones protégés/d'intérêts. Il est mesuré en pourcentage de l'enclos se trouvant sur un site d'importance. Parmi ces zones à enjeux, sont retrouvés les Parcs Nationaux, les zones et sites Natura 2000 remarquables (n'étant pas toutes protégées), les habitats de la directive Oiseaux, de la directive Habitats (ces derniers n'étant pas tous protégés), et bien d'autres.

Ce point est entièrement réalisé grâce à l'outil QGIS version 3.22.11. Pour cartographier ces habitats, le flux WMS fourni par l'IGN permet de créer une connexion WMS (Géoservices, consulté le 12 avril 2024). Ces connexions permettent de superposer les couches rasters des zones protégées à la zone cible. Les différentes couches et cartes SIG, pour le cas d'étude présent qu'est le Causse Méjean, peuvent également être trouvées sur le site de l'INPN (INPN, consulté le 16 juillet 2024). Les surfaces sont ensuite calculées.

3.5.2.4 Taux de recouvrement de sol nu

Ces données sont obtenues en comparant trois sources d'informations.

La première méthode est la stratification sur base du NDVI. Elle est réalisée pour cartographier les zones de sol nu et leur surface est calculée (figure 10).

La seconde est l'inventaire systématique qui permet de calculer dans chaque placette (89 de 1m², figure 8), visuellement, le pourcentage de sol couvert par la végétation, et le pourcentage découvert et donc nu. Ces données ont été prises par Mutillod et al. (2024b).

Enfin, la troisième calcule ce même pourcentage dans les 100 quadrats de 50cm² placés aléatoirement dans les deux enclos choisis pour les relevés de végétation (figure 10 et 11).

Ces résultats pour un même indicateur permettent de comparer trois protocoles différents et d'obtenir l'estimation la plus précise possible à l'échelle de l'enclos.

3.5.2.5 Qualité nutritionnelle du fourrage

3.5.2.5.a Risque d'empoisonnement

Une liste des espèces toxiques pour les équidés est créée grâce aux connaissances de l'équipe Takh et est confirmée et complétée par la littérature. Cet indicateur est mesuré en nombre d'espèces et pourcentage de recouvrement de chaque espèce végétale toxique à l'échelle de l'enclos. Ces mesures sont réalisées sur les espèces correspondant à la liste établie préalablement retrouvées dans l'inventaire floristique de Mutillod et al. (2024b). De plus, les mêmes données ont été prises pour certaines espèces toxiques dans les 100 quadrats placés aléatoirement dans la strate herbacée (figure 10).

3.5.2.5.b Equilibre monocotylédone/dicotylédone

Cet indicateur est mesuré grâce au pourcentage de recouvrement de monocotylédones par rapport au recouvrement des dicotylédones. Il est calculé en rapport monocotylédone/dicotylédone. De nouveau, les pourcentages de couverture de monocotylédones et de dicotylédones viennent de deux sources de données. Les pourcentages sont repris de la base de données de Mutillod et al. (2024b) et sont également estimés visuellement sur les 100 quadrats de 50cm² (figure 10).

3.5.2.5.c Evaluation indirecte : composition en espèce

La qualité de la pâture est calculée comme suit, selon Novak (2004) :

$$E = (\sum(D * FV)) / 100$$

E étant la qualité de la pâture, D le taux de recouvrement de l'espèce en pourcentage et FV la valeur fourragère de l'espèce (reprise de différentes sources bibliographiques et fixe par espèce).

Elle se calcule en prenant en compte les espèces dominantes, les espèces peu présentes n'ayant pas de valeur fourragère ni un grand impact dans l'équation.

Les données des taux de recouvrement (D) des différentes espèces de graminées et de légumineuses ayant une valeur dans la littérature lors de l'inventaire de Mutillod et al. (2004b) sont reprises. Les espèces couvrant plus de 10% sur au moins une placette sont prises en compte pour le calcul.

3.5.2.6 Quantité du fourrage : biomasse aérienne

L'indicateur de la quantité de fourrage est la biomasse. La méthode de référence pour la biomasse aérienne est celle choisie dans le cadre de ce projet. Elle consiste à couper la végétation, la sécher et ensuite la peser.

La biomasse aérienne est mesurée par la coupe de la végétation dans les 100 placettes de 50m² (figure 10 et 11) à l'aide d'un sécateur, à 1cm du sol (Zhu et al., 2012) (distance en réalité au plus proche possible du sol car les chevaux broutent l'herbe à ras du sol, plus bas que les bovins et ovins (Martinson et al., 2016)) puis est pesée, séchée à l'étuve à 80° pendant 48h (Patty et al., 2010 ; Körner & Renhardt, 1987) et ensuite pesée de nouveau.

La hauteur de la végétation à cinq points différents est également mesurée dans chaque quadrats. La hauteur de la végétation, ou plutôt la longueur puisque la mesure se fait sur un individu tendu, est utile comme indicateur dans les systèmes de pâturage pour déterminer le

moment opportun de pâture par les animaux. En effet, la végétation haute et les graminées en fleurs n'ont plus la même qualité de fourrage que la végétation plus courte, riche en sucres solubles et protéines (IFCE, consulté le 12 juillet 2024 ; Fleurance et al., 2001). Selon Van Staalduinen et al. (2007), les plantes derrière les protections placées pour éviter le pâturage présentent une concentration en azote plus faible. Cela est utile également pour connaître le degré de fourrage utilisé par les chevaux. Une corrélation est faite entre ces mesures de hauteurs et la masse sèche des échantillons (Heady, 1957), grâce à un graphique de dispersion et le coefficient de corrélation est calculé.

Ces données de biomasse sont ensuite extrapolées à toute la zone de végétation herbacée grâce à la stratification pour connaître la masse sèche totale par enclos. En effet, la strate de sol nu ne contient pas de végétation herbacée et la dernière strate reprend les arbres et les buissons. Ceux-ci ne sont pas quantifiés non plus, étant donné qu'ils ne sont pas à la base du régime alimentaire des chevaux, bien qu'ils en fassent partie, par exemple comme compléments. Toutefois, ils ne viendront jamais manger entièrement un jeune pin ou un genévrier.

Étant donné que les chevaux n'étaient pas encore passés dans l'enclos du Villaret lors de la prise d'échantillon, le nombre de chevaux maximum pouvant occuper l'enclos en termes de ressources fourragères est ensuite calculé. Le calcul est également réalisé pour l'enclos de Nivolières même s'il a été pâture tout l'hiver. Ce nombre est calculé sur un mois (mai 2024).

Le nombre nécessaire de relevés est ensuite testé (en supprimant une partie des données), pour optimiser le temps et les informations récoltées. Cela permet de savoir quel effort serait nécessaire de la part des gestionnaires pour avoir une information correcte mais en un nombre de placettes réduit, mais également de savoir si certaines zones ont un effet significatif sur les résultats.

Pour ce faire, un code sur Rstudio est réalisé. Pour chacun des enclos, un script est créé qui calcule les statistiques globales, et ensuite supprime aléatoirement 10%, 20%, etc., des données, tout en répétant l'opération de suppression plusieurs fois pour chaque pourcentage pour calculer des statistiques moyennes et écart-types pour chaque ensemble réduit. Le code répète donc plusieurs fois la suppression aléatoire pour chaque pourcentage spécifié. La fonction "sample_and_calculate_stats" prend en paramètres le pourcentage de données à supprimer ainsi que le nombre d'itérations (100 dans le cadre de ce projet). Elle effectue la suppression aléatoire et le calcul des statistiques (moyenne et écart-type) pour chaque itération, puis retourne les moyennes de ces statistiques.

Les moyennes et écart-types des échantillons réduits sont comparés aux statistiques globales de l'ensemble complet des données.

Ensuite, la différence relative en pourcentage entre la moyenne des échantillons réduits et la moyenne globale ainsi que celle entre l'écart-type des échantillons réduits et l'écart-type global sont calculées. C'est grâce à ces paramètres, qu'un seuil est fixé en fonction de la volonté de précision des acteurs. Par exemple, le seuil peut être fixé à 5%.

Enfin, la fonction "gg_plot" permet d'obtenir un graphique, plus représentatif visuellement, pour visualiser les différences entre les statistiques des échantillons réduits et les statistiques globales. Il sert à visualiser et déterminer à quel pourcentage la représentativité des échantillons commence à se dégrader significativement.

Après cela, une analyse de sensibilité est réalisée. Celle-ci permet de savoir quels échantillons influencent significativement les résultats. La fonction “sensitivity_analysis” supprime chaque échantillon individuellement et calcule les nouvelles moyennes et écarts-types. De nouveau, les différences en pourcentage par rapport aux statistiques globales originales sont calculées (diff_mean et diff_sd). Pour visualiser ces différences, un graphique montrant comment chaque échantillon influence les statistiques globales est également réalisé.

3.5.2.7 Accessibilité, disponibilité et qualité de l'eau

Au niveau des enclos de l'association Takh, un point d'eau dans chacun d'eux est déjà présent, creusé artificiellement. Ils sont alimentés par l'eau de pluie et l'un d'eux est équipé d'une pompe qui permet de fournir de l'eau de pluie de la citerne ou du réseau en cas de grosse sécheresse.

L'application de ce projet à leurs enclos fournit essentiellement une cartographie des points d'eau qui sera fournie aux gestionnaires sous forme de fichier shapefile pour le SIG ainsi qu'un calcul de la distance maximale possible par rapport à ceux-ci.

3.5.2.8 Présence d'abris naturels

La présence d'abris naturels est définie grâce à une prospection des sites. Les cartes disponibles (couches rasters de relief, pentes, orthophotos,...) sont également utilisées pour appuyer les éléments repérés lors des sorties terrain.

3.5.2.9 Présence d'éléments paysagers amenant des compléments à leur alimentation

Cet indicateur est évalué en type d'éléments paysagers. Comme le point précédent, l'analyse des sites est nécessaire ainsi que l'observation des comportements des chevaux. L'équipe de Takh a également beaucoup de connaissances sur ce point, étant donné les heures d'observation des chevaux réalisées.

3.5.2.10 Utilisation des enclos par les chevaux

Un point supplémentaire, ayant une fonction explicative des différents résultats obtenus lors des relevés de terrain, est ici proposé.

Des points GPS reprenant la position de chaque groupe de chevaux pris deux fois par semaine sur une année sont utilisés pour créer une carte de chaleur. Cette carte permet de mettre en évidence les zones les plus utilisées par les chevaux durant l'année, dans les deux enclos. Les points sont pris entre le 2 mai 2023 et le 27 juin 2024, les mois de mai et juin 2024 étant pris en compte car correspondant à la période de l'étude.

4. Résultats

4.1 Diversité en espèces

- Flore :

Dans l'enclos de Nivoliers, la richesse spécifique en flore à l'échelle d'une placette de 1m² varie de 18 à 41 espèces, avec une moyenne de 28,9 espèces et un écart-type de 4,92 à l'échelle de tout l'enclos. Au Villaret, elle varie de 19 à 42 espèces, avec une moyenne de 28,8 espèces et un écart-type égal à 5,75. La figure 18 compare les deux enclos selon le niveau de pâturage, c'est-à-dire selon l'utilisation du milieu par les chevaux (figure 27). Les zones fortement utilisées par les chevaux sont représentées par un niveau de pâturage égal à 3, les zones moyennement utilisées par un niveau de 2 et les zones non utilisées par un niveau de 1.

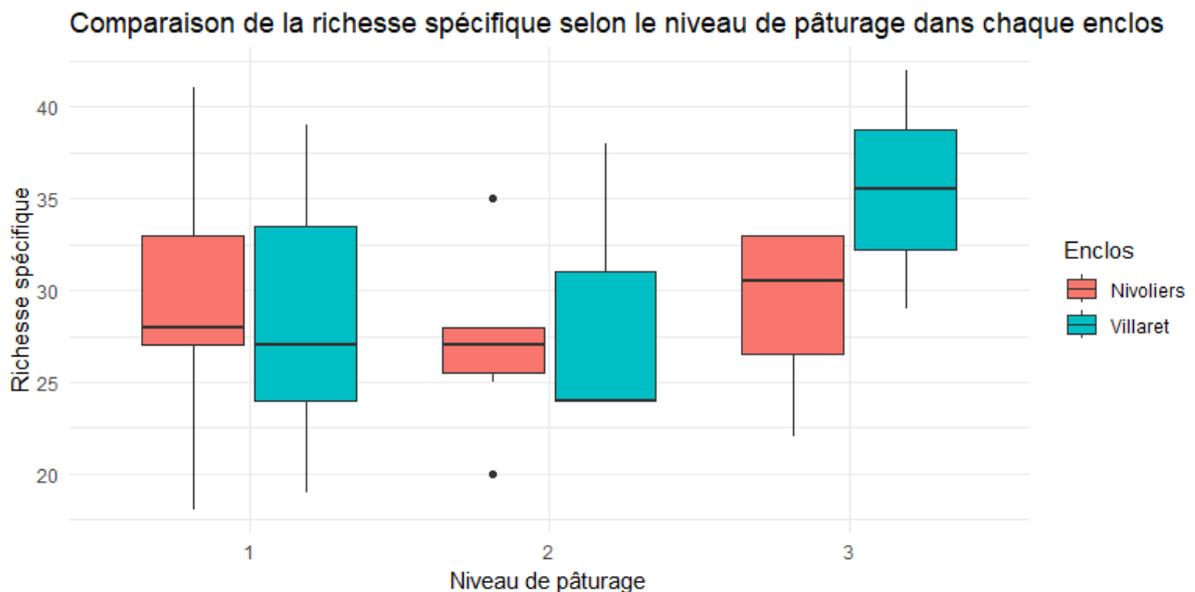


Figure 18. Boxplot comparant la richesse spécifique selon le niveau de pâturage (1 = faible, 2 = moyen et 3 = élevé) dans chaque enclos. L'enclos de Nivoliers est représenté en rouge et le Villaret en bleu.

- Faune :

Au total, 23 catégories ont été créées, reprenant parfois plusieurs espèces et/ou familles difficilement différenciables en vol. Ces 23 catégories sont reprises dans la clé de détermination réalisée grâce aux prospections de terrain (tableau 2). Certaines espèces ont pu être identifiées avec certitude grâce aux photos prises sur le terrain, mais toutes n'ont pas été reconnues. Ainsi, cette clé d'identification n'est pas exhaustive quant aux espèces présentes.

2092 individus ont été comptabilisés dans les deux enclos, soit 592 dans l'enclos de Nivoliers et 1500 dans l'enclos du Villaret (faisant 47 hectares de plus). En moyenne, ce sont 110 individus comptabilisés par transect, pour un écart-type de 69,8. A Nivoliers, le nombre de catégories observées par transect varie de 6 à 14, tandis qu'au Villaret il varie de 7 à 15.

Le nombre d'individus par catégorie ainsi que le nombre d'individus par transect sont repris dans le tableau 3.

Tableau 2. Clé de détermination des lépidoptères (et des ascalaphidées et anisoptères) créée lors des premières sorties de prospection et utilisée lors du comptage sur le terrain. Pour chaque catégorie, plusieurs espèces sont possibles. Certaines catégories comportent un « / ». Cela signifie qu'aucune espèce/famille n'a pu être identifiée pour celles-ci. Chaque catégorie a été numérotée et le numéro se trouve dans la dernière colonne.

	Blanc-brun	/	5
	Peu de noir en taches ou nervures	Piérade de la rave (<i>Pieris rapae</i>), Pieridae Gazé (<i>Aporia crataegi</i>), Pieridae	8
Majoritairement blanc	Orange sur l'aile antérieure	Aurore (<i>Anthocharis cardamines</i>), Pieridae	18
	Damier noir	L'échiquier ibérique (<i>Melanargia lachesis</i>), Nymphalidae Demi-deuil (<i>Melanargia galathea</i>), Nymphalidae	23
	Ocelle blanc cerclé de rouge	Apollon (<i>Parnassius apollo</i>), Papilionidae	10
Majoritairement jaune	Ocelle blanc aile postérieure + bord aile noir	Souci (<i>Colias crocea</i>), Pieridae	11
	Grand, jaune et noir, tache rouge aile postérieure	Machaon (<i>Papilio machaon</i>), Papilionidae	
	Petit, fond jaune ligné noir	/	17
Majoritairement bleu	Dessus aile entièrement bleu	Azuré commun (<i>Polyommatus icarus</i>), Lycaenidae	4
Majoritairement orange	Grand, orange et noir	Belle-dame (<i>Vanessa cardui</i>), Nymphalidae	1
	Moyen/petit, dessus aile orange pâle, dessous brun	Fadet commun (<i>Coenonympha pamphilus</i>), Nymphalidae	3
	Moyen avec traits/taches noires uniformes	Mélitée des centaures (<i>Melitaea phoebe</i>), Nymphalidae	
		Mélitée des scabieuses (<i>Melitaea parthenoides</i>), Nymphalidae Mélitée du plantain (<i>Melitaea cinxia</i>), Nymphalidae	9
Majoritairement rouge	Petit, gros corps noir, petites ailes rouges	Zygaenidae zygaeninae zygaena : Zygène de l'espargette (<i>Zygaena rhadamanthus</i>)	14
Majoritairement brun	Brun/gris	La plupart sont des hétérocères	2
	Brun foncé	Plain-chant/Hespérie du faux-buis (<i>Pyrgus alveus</i>), Hesperidae (et d'autres Geometridae (Géomètre à barreaux (<i>Chiasmia clathrata</i>)))	
		Argus Frêle (<i>Cupido minimus</i>), Lycaenidae Mi noir (<i>Callistege mi</i>), Noctuidae	7
	Beige	/	12
	Petit, tigré brun/roux	/	20
	Petit, brun, damier et bord aile blanc	Hespérie de la mauve (<i>Pyrgus malvae</i>), Hesperidae	21
	Gros corps, petites ailes, aile postérieure orange	Morosphinx (<i>Macroglossum stellatarum</i>), Sphingidae	15
Majoritairement noir	Uniformément noir, pointe aile blanche	Ramoneur (<i>Odezia atrata</i>), Geometridae	22
Majoritairement vert	Petit, vert/turquoise argenté long et plat	Zygaenidae Procrinae, genre Adscita	13
	Vert/turquoise dessous aile, brun dessus	Thécla de la ronce (<i>Callophrys rubi</i>), Lycaenidae	16
Ascalaphidae		Ascalaphe soufré (<i>Libelloides coccajus</i>)	6
Anisoptera		Odonata, Anisoptera (Libellule)	19

Tableau 3. A. Nombre total d'individus comptabilisés pour chaque catégorie par enclos (V pour Villaret et N pour Nivoliers). B. Nombre total d'individus (toutes catégories comprises) comptabilisés par transect

A.

Catégories	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Nombre total N	55	127	113	49	2	21	13	20	145	0	7	4	2	2	3	3	2	2	1	1	20	0	0
Nombre total V	14	317	326	142	1	57	21	136	423	0	8	2	11	23	1	3	0	0	1	0	5	6	3

B.

ID transect	Nombre total	ID transect	Nombre total
N16-N15	33	V8-V7	184
N12-N11	60	V6-V5	174
N1-N2	39	V4-V3	93
N3-N4	99	V10-V9	294
N5-N6	49	V12-V11	221
N13-N14	38	V22-V21	122
N10-N9	159	V20-V19	56
N8-N7	115	V18-V17	80
		V16-V15	83
		V14-V13	126
		V2-V1	67

4.2 Espèces à enjeu conservatoire

En ce qui concerne l'Apollon, *Parnassius apollo*, aucun individu n'a été observé lors des transects.

Pour les plantes, au Villaret, 923 Ophrys d'aymonin (dont 264 seulement sur le premier quart du transect V15-V16 et 225 sur le deuxième quart du V17-V18) et 704 Scorsonères pourpres (dont 404 sur le troisième quart du transect V21-V22) ont été retrouvés.

Tandis qu'à Nivoliers, 272 Ophrys d'aymonin et 14 Scorsonères pourpres (ces dernières sur seulement trois transects) étaient présentes le long des transects. Les moyennes et écart-types sont repris dans le tableau 4. Aucune Gentiane de Coste n'a été retrouvée sur les transects.

Lors de l'inventaire dans les quadrats de la Gentiane de Coste, aucun individu n'a été retrouvé dans les quadrats A et B. Dans l'exclos de 5m², 187 individus ont été comptés. Dans le quadrat C, qui englobe l'exclos, 40 individus ont été retrouvés, tous situés à maximum deux mètres de la clôture de l'exclos (figure 16).

Tableau 4. Tableau reprenant les moyennes et écart-types par transect et par enclos pour le comptage des individus de l'Ophrys d'aymonin et de la Scorsonère pourpre.

	Villaret		Nivoliers	
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
Ophrys d'aymonin	32,96	67,44	12,95	14,20
Scorsonère pourpre	25,14	76,85	0,67	1,49

4.3 Habitats et zones protégés/d'intérêts

Les couches disponibles sur QGIS via la connexion WMS ainsi que leur surface couvrant les enclos sont reprises ci-dessous :

- Préservation des prairies et pâturages permanents en zone Natura2000 : couvre 100% de l'enclos du Villaret et 27 hectares, soit 15,7% de l'enclos Nivoliers.
- Biotopes d'espèces protégées : ne concernent pas les enclos.
- Réserves de biosphère et Parcs nationaux (protected areas) : les deux enclos se trouvent en grande partie en zone de cœur du Parc national des Cévennes. Au total, ce sont 305 hectares concernés, soit 78,6% des deux enclos.
- Terrains des conservatoires d'espaces naturels : ne concernent pas les enclos.
- Parcs naturels régionaux : ne concernent pas les enclos.
- Zones humides d'importance internationale : ne concernent pas les enclos.
- Réserves biologiques : ne concernent pas les enclos.
- Réserves intégrales de Parcs Nationaux : ne concernent pas les enclos.
- Réserves naturelles nationales : ne concernent pas les enclos.
- Réserves naturelles régionales : ne concernent pas les enclos.
- Sites Natura2000 au titre de la directive Habitats : la majorité de l'enclos du Villaret, 190 hectares soit 87,6% se trouve en site d'importance communautaire (SIC). L'enclos de Nivoliers n'est pas concerné.
- Zones écologiques de nature remarquable (ZNIEFF1) : 25 hectares, soit 14,6% de l'enclos de Nivoliers est concerné uniquement, mais d'autres vastes zones se trouvent à proximité.

- Zones fonctionnelles de nature remarquable (ZNIEFF2) : 100% des deux enclos sont concernés par ce statut. Cette zone recouvre presque totalement le Parc national des Cévennes et s'étend au-delà.
- Zones de protection renforcée : ne concernent pas les enclos et ne se trouvent pas à proximité.
- Sites Natura2000 au titre de la directive Oiseaux : les deux enclos sont entièrement couverts (100%) par la zone de protection spéciale (ZPS).
- Zone d'importance pour la conservation des oiseaux (ZICO) : les deux enclos sont majoritairement concernés. Au total, ce sont 295,6 hectares qui sont repris. Cela correspond à 76,2% des deux enclos.

4.4 Taux de recouvrement de sol nu

- NDVI :

Selon la stratification basée sur l'indice de végétation par différence normalisée, il y a 17,43 hectares au Villaret, représentant 8,03% de l'enclos et 4,51 hectares à Nivoliers, représentant 2,64% de l'enclos, de sol qualifié comme "sol nu".

- Quadrats de 50cm² :

Sur l'ensemble des 100 quadrats réalisés, c'est-à-dire 25m² au total dans chacun des enclos, le pourcentage total de sol nu est de 17,72% au Villaret, ce qui représente 34,98 hectares de sol nu sur les 197,4 hectares de végétation herbacée. A Nivoliers, le pourcentage de sol nu est de 18,54, ce qui équivaut à 29,38 hectares de sol nu sur les 158,5 hectares de végétation herbacée. Ces deux sources d'informations ci-dessus sont complémentaires. En additionnant les résultats obtenus grâce au NDVI ainsi qu'aux quadrats, il y aurait donc au total sur l'ensemble de l'enclos, 52,41 hectares de sol nu au Villaret et 33,89 hectares à Nivoliers. Pour rappel, ces quadrats ont été placés uniquement dans la strate herbacée (cartographiée grâce au NDVI) sans tenir compte des zones de sol nu (au contraire des quadrats de 1m², placés systématiquement dans tout l'enclos sans prendre en compte différentes strates).

- Quadrats de 1m² (Mutillod et al., 2024b) :

Au Villaret, sur les 49m² de quadrats inventoriés, il y a 5,99% de sol nu. Cela représente 13 hectares sur les 217 hectares totaux. A Nivoliers, sur les 40m², il y a 6,56%, ce qui représente 11,2 hectares sur les 171 totaux. Cet inventaire ayant été réalisé de manière systématique sur toute la zone sans la stratifier au préalable, l'entièreté des enclos est prise en compte.

4.5 Qualité nutritionnelle

4.5.1 Risque d'empoisonnement

- Quadrats de 50cm² :

Lors de la récolte de données dans les quadrats de 50cm², les espèces toxiques retrouvées sont majoritairement des euphorbes (*Euphorbia cyparissias*, *Euphorbia duvalii*, *Euphorbia seguieriana*) ainsi que des renoncules (*Ranunculus gramineus*). Six placettes sur les 100 présentaient des euphorbes et une placette des renoncules, recouvrant 0,34% des 50m² totaux

inventoriés. Au Villaret, cela représente 0,44% des 25m² étudiés (neuf euphorbes et une douzaine de renoncules) et à Nivolières, 0,24% (sept euphorbes).

- Quadrats d'1m² (Mutillod et al., 2024b) :

Une liste de 95 espèces toxiques pour les équidés (tableau 5) a été créée à partir de plusieurs listes et sources (IFCE équipédia, consulté le 13 juillet 2024 ; RESPE, consulté le 13 juillet 2024 ; Caloni & Cortinovis, 2015 ; Ducerf, 2021). Cette liste a permis de déterminer que 20 espèces toxiques sont présentes dans les deux enclos grâce aux inventaires de Mutillod et al. (2024b). Ces espèces sont surlignées dans la liste (tableau 5). Il y a par exemple plusieurs espèces d'euphorbes ou de renoncules qui sont toutes toxiques (mais pas toutes citées dans la liste, seulement le genre).

Les plantes toxiques recouvrent 6,36% des placettes à Nivolières, tandis qu'elles couvrent 3,18% des placettes au Villaret.

Tableau 5. Listes des espèces toxiques pour les équidés. Les espèces surlignées sont celles présentes dans les enclos des chevaux.

Nom commun	Nom latin	Famille	Niveau de toxicité
Erable negundo	<i>Acer negundo</i>	Acéracées	hautement toxique
Erable sycomore	<i>Acer pseudoplatanus</i>	Sapindacées	hautement toxique
Aconite	<i>Aconitum</i>	Renonculacées	hautement toxique
Adonis	<i>Adonis</i>	Renonculacées	hautement toxique
Nielle des blés	<i>Agrostemma githago</i>	Caryophyllacées	faiblement toxique
Genre Allium	<i>Allium spp</i>	Amaryllidacées	
Ammi élevé	<i>Ammi majus</i>	Apiacées	moyennement toxique
Celeri	<i>Apium graveolens</i>	Apiacées	
Argemone mexicaine	<i>Argemone mexicana</i>	Papaveracées	
Arnica	<i>Arnica</i>	Astéracées	hautement toxique
Absinthe	<i>Artemisia absinthium</i>	Astéracées	hautement toxique
Armoise	<i>Artemisia incana</i>	Astéracées	hautement toxique
Asclepiades	<i>Asclepias</i>	Apocynacées	
Astragale	<i>Astragalus</i>	Fabacées	
Belladone	<i>Atropa belladonna</i>	Solanacées	moyennement/hautement toxique
Akéé	<i>Blighia sapida</i>	Sapindacées	
Brugmansie	<i>Brugmansia</i>	Solanacées	
Buis	<i>Buxus sempervirens</i>	Buxacées	moyennement toxique
Colchique	<i>Colchicum</i>	Colchicacées	hautement toxique
Ciguë	<i>Conium maculatum</i>	Apiacées	hautement toxique
Muguet	<i>Convallaria majalis</i>	Asparagacées	
Cotoneaster	<i>Cotoneaster</i>	Rosacées	moyennement toxique
Cyprès	<i>Cupressus sempervirens</i>	Cupressacées	moyennement toxique
Thuja	<i>Thuja occidentalis</i>	Cupressacées	moyennement toxique
Crépides	<i>Crepis</i>	Astéracées	
Cognassier	<i>Cydonia oblonga</i>	Rosacées	
Cynoglosse officinale	<i>Cynoglossum officinale</i>	Boraginacées	
Genêt à balais	<i>Cytisus scoparius</i>	Fabacées	
Daphné	<i>Daphne spp</i>	Thyméléacées	moyennement toxique
Datura/pomme épineuse	<i>Datura stramonium</i>	Solanacées	moyennement/hautement toxique
Digitales	<i>Digitalis</i>	Scrofulariacées	moyennement/hautement toxique
Fougère mâle	<i>Dryopteris filix-mas</i>	Dryoptéridacées	hautement toxique
Prêle	<i>Equisetum spp</i>	Equisétacées	moyennement toxique
Fusain d'Europe	<i>Euonymus europaeus</i>	Célastracées	faiblement toxique
Euphorbe	<i>Euphorbia</i>	Euphorbiacées	moyennement/hautement toxique
Fâines de Hêtre	<i>Fagus sylvatica</i>	Fagacées	faiblement toxique

Férule	<i>Ferula</i>	Férulacées	moyennement/hautement toxique
Ficaires	<i>Ficaria</i>	Renonculacées	hautement toxique
Figuier	<i>Ficus carica</i>	Moracées	moyennement toxique
Héliotrope	<i>Heliotropium</i>	Boraginacées	
Hellébore	<i>Helleborus orientalis</i>	Renonculacées	
Berce du Caucase	<i>Heracleum mantegazzianum</i>	Apiacées	moyennement toxique
Jusquiame	<i>Hyoscyamus</i>	Solanacées	moyennement/hautement toxique
Millepertuis	<i>Hypericum</i>	Hypericacées	faiblement toxique
Porcelle enracinée	<i>Hypochaeris radicata</i>	Astéracées	moyennement toxique
Séneçon de Jacob	<i>Jacoba vulgaris</i>	Astéracées	hautement toxique
Noyer noir d'Amérique	<i>Juglans nigra</i>	Juglandacées	moyennement toxique
Genévrier sabbine	<i>Juniperus Sabina</i>	Cupressacées	hautement toxique
Cytise	<i>Laburnum</i>	Fabacées	faiblement toxique
Lantanie	<i>Lantana camara</i>	Arecacées	
Gesse	<i>Lathyrus</i>	Fabacées	faiblement toxique
Troëne	<i>Ligustrum</i>	Oléacées	faiblement toxique
Lin	<i>Linum</i>	Linacées	
Litchi	<i>Litchi chinensis</i>	Sapindacées	
Ivraie	<i>Lolium</i>	Poacées	hautement toxique
Lancepod	<i>Lonchocarpus</i>	Fabacées	
Lupin jaune	<i>Lupinus luteus</i>	Fabacées	
Mandragore	<i>Mandragoras</i>	Solanacées	
Laurier rose	<i>Nerium oleander</i>	Apocynacées	hautement toxique
Tabac	<i>Nicotiana tabacum</i>	Solanacées	hautement toxique
Oenanthe safranée	<i>Oenanthe crocata</i>	Apiacées	hautement toxique
Ornithogale en ombelle	<i>Ornithogalum umbellatum</i>	Asparagacées	
Oxalis	<i>Oxalis</i>	Oxalidacées	
Oxytropis spp	<i>Oxytropis spp</i>	Fabacées	
Kleingrass	<i>Panicum coloratum</i>	Poacées	
Pavot d'Islande	<i>Papaver nudicaule</i>	Papaveracées	
Coquelicot	<i>Papaver rhoeas</i>	Papaveracées	faiblement/moyennement toxique
Pavot à opium	<i>Papaver somniferum</i>	Papaveracées	
Avocatier	<i>Persea americana</i>	Lauracées	
Peucedan	<i>Peucedanum</i>	Apiacées	
Cerisier	<i>Prunus cerasus</i>	Rosacées	
Laurier cerise	<i>Prunus laurocerasus</i>	Rosacées	moyennement toxique
Fougère aigle	<i>Pteridium aquilinum</i>	Dennstaedtiacées	moyennement toxique
Chêne	<i>Quercus</i>	Fagacées	faiblement toxique
Renoncules	<i>Ranunculus</i>	Renonculacées	moyennement toxique
Rhododendron	<i>Rhododendron</i>	Ericacées	hautement toxique
Robinier ou faux acacia	<i>Robinia pseudoacacia</i>	Fabacées	hautement toxique
Oseille	<i>Rumex</i>	Polygonacées	
Rue fétide	<i>Ruta graveolens</i>	Rutacées	
Séneçon du Cap	<i>Senecio inaequidens</i>	Astéracées	moyennement/hautement toxique
Séneçon commun	<i>Senecio vulgaris</i>	Astéracées	
Morelle noire	<i>Solanum nigra</i>	Solanacées	hautement toxique
Sorgho jaune	<i>Sorgho luteus</i>	Poacées	
Genêt d'Espagne	<i>Spartium junceum</i>	Fabacées	moyennement toxique
Consoude	<i>Symphytum</i>	Boraginacées	
Tanaisie commune	<i>Tanacetum</i>	Astéracées	faiblement toxique
If	<i>Taxus baccata</i>	Taxacées	hautement toxique
Tribule terrestre	<i>Tribulus terrestris</i>	Zygophyllacées	
Trèfle hybride	<i>Trifolium hybridum</i>	Fabacées	
Trèfle incarnat	<i>Trifolium incarnatum</i>	Fabacées	
Trèfle des prés	<i>Trifolium pratense</i>	Fabacées	faiblement toxique
Verâtre	<i>Veratrum</i>	Liliacées	hautement toxique
Vesce	<i>Vicia</i>	Fabacées	
Lampourde	<i>Xanthium strumarium</i>	Astéracées	hautement toxique

4.5.2 Equilibre monocotylédone/dicotylédone

- Quadrats de 50cm² :

Le rapport monocotylédone/dicotylédone estimé sur les 50 placettes de l'enclos du Villaret est de 2,57 en moyenne. A Nivoliens, pour le même nombre de placettes, il est de 2,87.

- Quadrats d'1m² :

Le rapport équivaut à 1,38 à Nivoliens sur les 40 placettes inventoriées et 1,37 au Villaret sur les 49 placettes.

4.5.3 Evaluation indirecte : composition en espèce

Le tableau 6 a été créé reprenant les espèces de graminées, de légumineuses mais également quelques autres espèces inventoriées dans les deux enclos avec leur valeur et leur taux de recouvrement. Les espèces reprises couvrent au moins 10% d'au minimum une placette sur les deux enclos. 47 espèces sont reprises, mais les valeurs fourragères de onze parmi celles-ci n'ont pas pu être trouvées.

Les valeurs fourragères proviennent de l'article de Novak (2004), des livres de Ducerf (2021) et de l'IFCE (consulté le 13 juillet 2024).

La qualité totale de la pâture de Nivoliens est de 34,7% et du Villaret de 30,9%. Selon Novak (2004), si la pâture se trouve entre 25% et 50%, elle est peu qualitative.

Tableau 6. Liste des espèces avec leur valeur fourragère (score) ainsi que leur pourcentage de recouvrement dans chacun des enclos et enfin la qualité par enclos.

Nom latin	Famille	Score	% de recouvrement Niv	% de recouvrement Vill	Qualité Niveliers	Qualité Villaret
Adonis vernalis	Ranunculaceae	-0,5	0,000	0,878	0	-0,4388
Anthyllis montana	Fabaceae	0,9	7,730	4,729	6,957	4,2561
Anthyllis vulneraria	Fabaceae	0,9	2,725	0,73	2,4525	0,657
Brachypodium rupestre	Poaceae	?	1,900	0,816		
Briza media	Poaceae	0,63	0,238	0,8	0,14994	0,504
bromus erectus	Poaceae	0,625	12,98	12,696	8,1125	7,935
bromus hordeaceus	Poaceae	0,375	0,005	0,27	0,001875	0,10125
Carex halleriana	Cyperaceae	0,1875	0,975	0,755	0,1828125	0,1415625
Carex humilis	Cyperaceae	0,1875	10,488	7,565	1,9665	1,4184375
Coronilla minima	Fabaceae	?	3,136	3,649		
Dactylis glomerata	Poaceae	0,875	0,025	0,000	0,021875	0
Eryngium campestre	Apiaceae	-0,25	1,186	1,378	-0,2965	-0,3444
Festuca marginata	Poaceae	0,375	1,350	2,796	0,50625	1,0485
festuca ovina	Poaceae	0,2	4,26	5,25	0,852	1,05
festuca rubra	Poaceae	0,4	0,075	0,16	0,03	0,064
Genista hispanica	Fabaceae	0	3,300	5,735	0	0
Genista pilosa	Fabaceae	0	2,268	0,955	0	0
Globularia bisnagarica	Fabaceae	?	0,930	0,700		
Helianthemum oelandicum	Cistaceae	?	2,685	1,565		
Helictochloa pratensis	Poaceae	?	0,723	1,708		
koeleria pyramidata	Poaceae	0,9	0,0025	0,24	0,00225	0,216
koeleria vallesiana	Poaceae	0,9	6,51	5,55	5,859	4,995
Lavandula angustifolia	Lamiaceae	?	0,125	0,980		
Linum suffruticosum	Linaceae	-0,125	4,105	0,965	-0,513125	-0,120625
lotus corniculatus	Poaceae	0,9	0,64	0,64	0,576	0,576
medicagogroupe sativa	Poaceae	0,9	0,0125	0,11	0,01125	0,099
medicago lupulina	Poaceae	0,9	0,025	0,000	0,0225	0
onobrychis viciifolia	Poaceae	0,875	0,000	0,88	0	0,77
ononis pusilla	Poaceae	0	0,000	0,000	0	0
ononis spinosa	Poaceae	0	0,000	0,000	0	0
Ononis striata	Poaceae	0	1,79	1,66	0	0
phleum pratense	Poaceae	1	0,005	0,67	0,005	0,67
Phyteuma orbiculare	Campanulaceae	?	0,488	0,367		
poa bulbosa	Poaceae	0,375	0,005	0,15	0,001875	0,05625
poa pratensis	Poaceae	0,9	0,0025	1,398	0,00225	1,2582
Potentilla verna	Rosaceae	?	1,365	3,665		
Prunella spp	Lamiaceae	0,25	0,000	0,245	0	0,06125
Prunus spinosa	Rosaceae	?	0,025	0,960		
Salvia pratensis	Lamiaceae	0,25	0,450	1,306	0,1125	0,3265
sesleria caerulea	Poaceae	0,25	1,775	0,99	0,44375	0,2475
Stipa pennata	Poaceae	1	7,215	5,382	7,215	5,382
Teucrium botrys	Lamiaceae	?	0,001	0,286		
Teucrium montanum	Lamiaceae	?	1,353	1,655		
Trifolium incarnatum	Fabaceae	0,9	0,000	0,0204	0	0,01836
trifolium montanum	Fabaceae	0,625	0,000	0,002	0	0,00125
trifolium pratense	Fabaceae	0,9	0,005	0,000	0,0045	0
Vicia onobrychioides	Fabaceae	-0,125	0,000	0,408	0	-0,051
TOTAL					34,6795025	30,898335

4.6 Quantité : biomasse

4.6.1 Résultats masses et hauteurs

- Villaret :

La biomasse totale dans les 50 quadrats réalisés (50cm²) est de 697,3 grammes de matière sèche et la moyenne est de 13,95g par quadrat.

Le rapport moyen masse fraîche/masse sèche est de 1,582g.

Une fois les données extrapolées à toute la zone de végétation herbacée, ce sont 55057,2 kg de matière sèche pour les 197,4 hectares.

La quantité disponible pour le pâturage des chevaux (25% du total pour ne pas dégrader la végétation) est de 13764,3kg. Sur le mois de mai (31 jours), et prenant en compte qu'un cheval mange en moyenne 9,2kg de matière sèche, l'enclos peut accueillir 48 chevaux.

Les hauteurs moyennes de végétation varient de 2,5cm à 30,7cm pour la placette numéro 37.

La placette 46 a également une hauteur moyenne élevée, de 28,9cm.

Comme visible dans la figure 19, les échantillons présentant une hauteur moyenne la plus élevée présentent également la masse sèche la plus haute. Le coefficient de corrélation est relativement proche de 1, équivalant à 0,88.

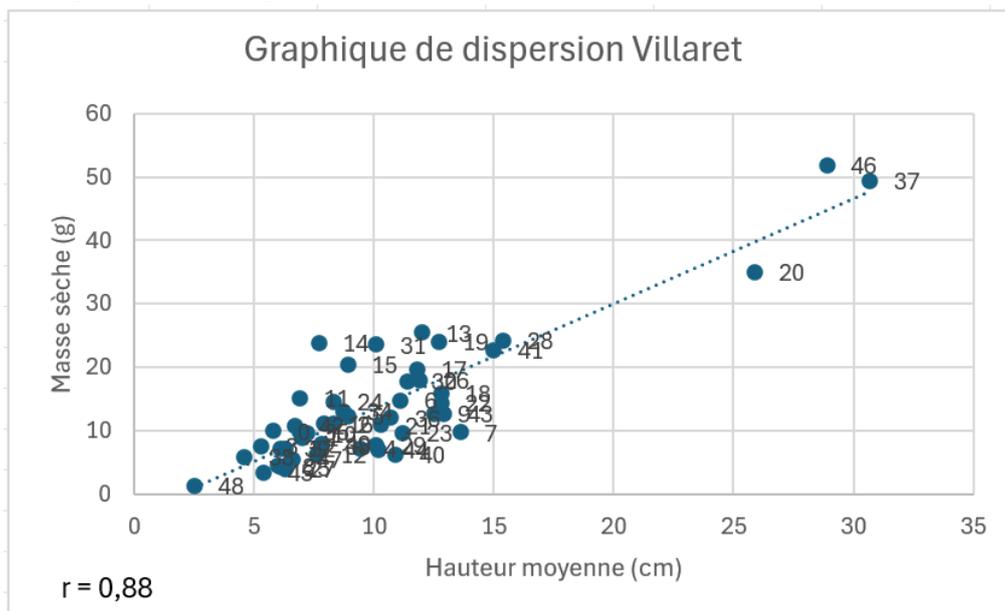


Figure 19. Graphique de dispersion représentant la relation entre la hauteur moyenne et la masse des échantillons. Chaque point sur le graphique correspond à une placette spécifique dans l'enclos du Villaret. La ligne de régression linéaire (ligne de tendance) et le coefficient de corrélation (r) indiquent la corrélation entre ces deux variables.

- Nivoliens :

La biomasse totale dans les 50 quadrats réalisés (50cm²) est de 967,28 grammes de matière sèche et la moyenne est de 19,35g par quadrat.

Le rapport moyen masse fraîche/masse sèche est de 2,559g.

Une fois les données extrapolées à toute la zone de végétation herbacée, ce sont 61306,2 kg de matière sèche pour les 158,45 hectares.

La quantité disponible pour le pâturage des chevaux (25% du total pour ne pas dégrader la végétation) est de 15326,6kg. Sur le mois de mai (31 jours), et prenant en compte qu'un cheval mange en moyenne 9,2kg de matière sèche, l'enclos peut accueillir 53 chevaux.

Les hauteurs moyennes de végétation varient de 2,9cm à 21,7cm pour la placette numéro 21.

Certains échantillons de cet enclos présentent une hauteur élevée pour une masse sèche relativement faible contrairement à l'autre enclos. Le coefficient de corrélation est tout de même proche de 1 (0,74) (figure 20).

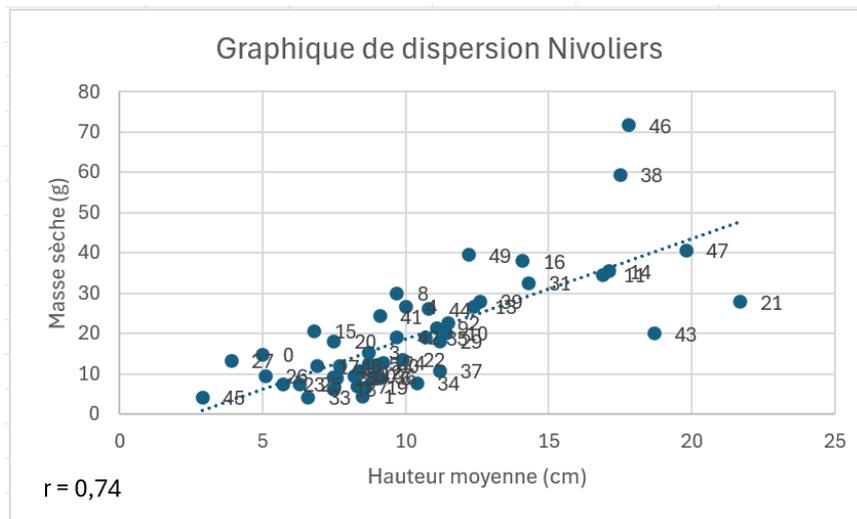


Figure 20. Graphique de dispersion représentant la relation entre la hauteur moyenne et la masse des échantillons. Chaque point sur le graphique correspond à une placette spécifique dans l’enclos de Nivoliers. La ligne de régression linéaire (ligne de tendance) et le coefficient de corrélation (r) indiquent la corrélation entre ces deux variables.

4.6.2 Test d’effort d’échantillonnage

- Villaret :

Les résultats sont repris dans le tableau 7 pour chaque pourcentage de données retirées aléatoirement allant jusqu’à 90%. La figure 21 permet de visualiser à partir de quel pourcentage retiré la différence relative sera trop importante. Si le seuil de 5% est pris, jusqu’à 60% des données peuvent être retirées aléatoirement.

Le graphique suivant (figure 22) montre que les échantillons influençant significativement les résultats sont les numéros 37 et 46 (différence supérieure à 5%). L’échantillon numéro 20 a tout de même également une grosse influence. Cela se remarque également sur le graphique de dispersion (figure 19). Ces trois placettes se trouvent dans la zone de plaine (deux du côté nord et une du côté sud de l’enclos) et présentent en grande majorité des monocotylédones (plus de 85% de recouvrement). Les placettes 46 et 20 se trouvent dans une doline.

Tableau 7. Présente les résultats de l’analyse de la sensibilité des statistiques de la biomasse lorsqu’un pourcentage variable des données est supprimé de manière aléatoire dans les 50 placettes du Villaret. Chaque ligne correspond à un pourcentage spécifique de données supprimées, allant de 10% à 90%. Les colonnes fournissent les moyennes et écarts-types recalculés après la suppression des données (“mean_mean” et “mean_sd”), ainsi que les écarts-types de ces valeurs (“std_mean” et “std_sd”). Les colonnes “diff_mean” et “diff_sd” indiquent la différence en pourcentage par rapport aux valeurs globales originales (“global_mean” et “global_sd”). Un pourcentage élevé dans ces colonnes indique une plus grande sensibilité des statistiques globales à la suppression des données.

pourcentage	mean_mean	std_mean	mean_sd	std_sd	global_mean	global_sd	diff_mean	diff_sd
0,1	13,970	0,473	10,239	0,635	13,946	10,251	0,173	0,124
0,2	13,917	0,732	10,101	1,068	13,946	10,251	0,204	1,467
0,3	13,638	0,897	9,817	1,527	13,946	10,251	2,209	4,238
0,4	13,949	1,192	10,046	1,727	13,946	10,251	0,025	1,999
0,5	13,804	1,544	9,817	2,149	13,946	10,251	1,012	4,239
0,6	13,763	1,736	9,935	2,581	13,946	10,251	1,311	3,084
0,7	13,935	1,938	9,652	2,829	13,946	10,251	0,077	5,843
0,8	13,970	2,726	9,610	4,004	13,946	10,251	0,174	6,259
0,9	14,137	5,019	8,876	6,294	13,946	10,251	1,374	13,416

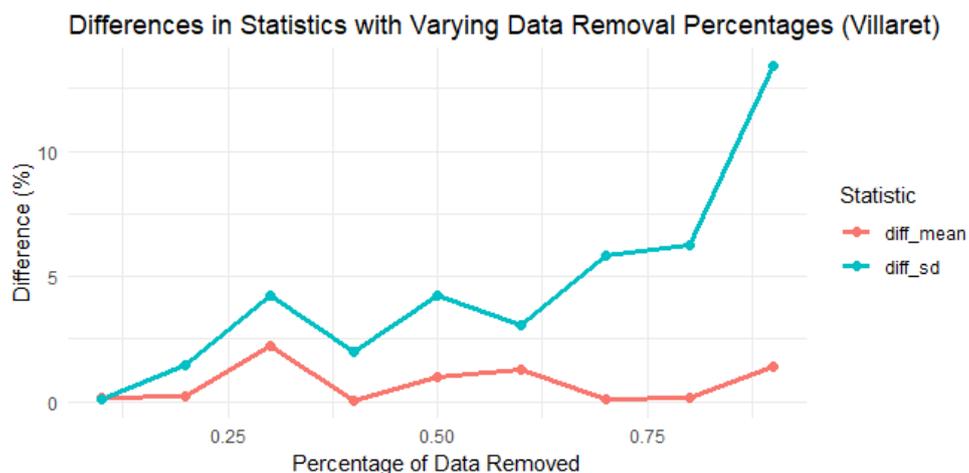


Figure 21. Ce graphique illustre les différences en pourcentage dans les statistiques de la biomasse lorsque différentes proportions des données sont supprimées de manière aléatoire pour l'enclos du Villaret. L'axe des X représente le pourcentage des données supprimées, allant de 10% à 90% et l'axe des Y montre la différence en pourcentage par rapport aux valeurs globales de la moyenne et de l'écart-type. Les lignes et les points en rouge montrent la différence de la moyenne, et ceux en bleu montrent la différence de l'écart-type.

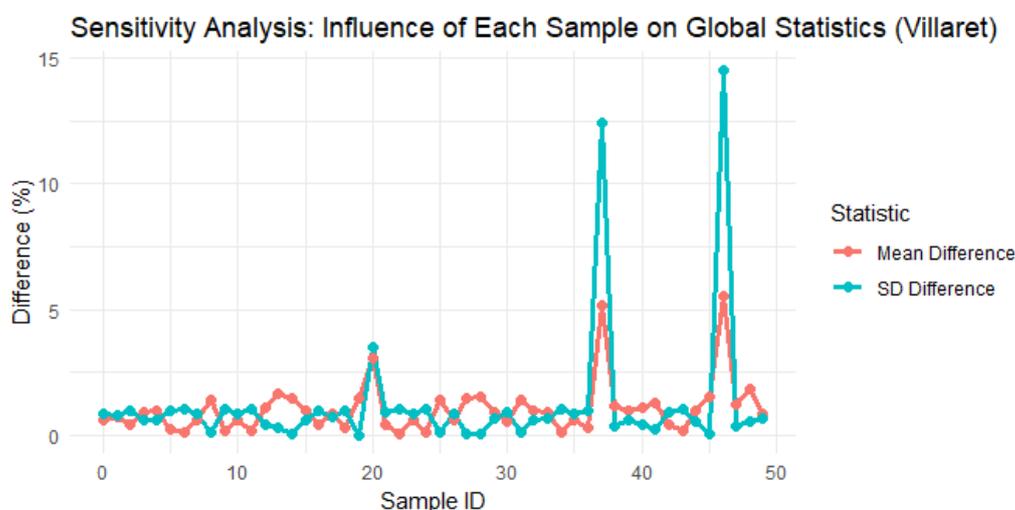


Figure 22. Ce graphique montre l'influence de chaque échantillon individuel sur les statistiques globales de la biomasse dans l'enclos du Villaret. L'axe des X représente les identifiants des échantillons (allant de 0 à 49), tandis que l'axe des Y indique la différence en pourcentage par rapport aux valeurs globales de la moyenne et de l'écart-type lorsque chaque échantillon est retiré successivement. Les lignes et les points en rouge représentent la différence de la moyenne, et ceux en bleu représentent la différence de l'écart-type. Une grande différence pour un échantillon donné indique qu'il a une influence significative sur les résultats globaux.

- Nivoliers :

Si le seuil de 5% est pris, jusqu'à 70% des données peuvent être retirées aléatoirement (tableau 8 et figure 23).

Le graphique suivant (figure 24) montre que les échantillons influençant significativement les résultats sont les numéros 38 et 46 (différence supérieure à 5%). La placette 38 se trouve en haut du Grand Devès et la 46 est dans une combe. Elles présentent toutes les deux plus de 88% de recouvrement par les monocotylédones.

Tableau 8. Présente les résultats de l'analyse de la sensibilité des statistiques de la biomasse lorsqu'un pourcentage variable des données est supprimé de manière aléatoire dans les 50 placettes de Nivoliers. Chaque ligne correspond à un pourcentage spécifique de données supprimées, allant de 10% à 90%. Les colonnes fournissent les moyennes et écarts-types recalculés après la suppression des données ("mean_mean" et "mean_sd"), ainsi que les écarts-types de ces valeurs ("std_mean" et "std_sd"). Les colonnes "diff_mean" et "diff_sd" indiquent la différence en pourcentage par rapport aux valeurs globales originales ("global_mean" et "global_sd"). Un pourcentage élevé dans ces colonnes indique une plus grande sensibilité des statistiques globales à la suppression des données.

pourcentage	mean_mean	std_mean	mean_sd	std_sd	global_mean	global_sd	diff_mean	diff_sd
0,1	19,336	0,692	13,803	0,761	19,346	13,856	0,050	0,380
0,2	19,392	0,902	14,005	1,117	19,346	13,856	0,240	1,077
0,3	19,187	1,259	13,715	1,602	19,346	13,856	0,819	1,019
0,4	19,214	1,617	13,738	1,925	19,346	13,856	0,679	0,855
0,5	19,759	1,767	14,235	2,330	19,346	13,856	2,135	2,732
0,6	19,124	2,023	13,366	2,927	19,346	13,856	1,146	3,534
0,7	19,056	2,904	13,294	3,828	19,346	13,856	1,495	4,055
0,8	19,295	4,190	12,807	4,657	19,346	13,856	0,261	7,572
0,9	19,631	6,391	13,106	7,077	19,346	13,856	1,473	5,411

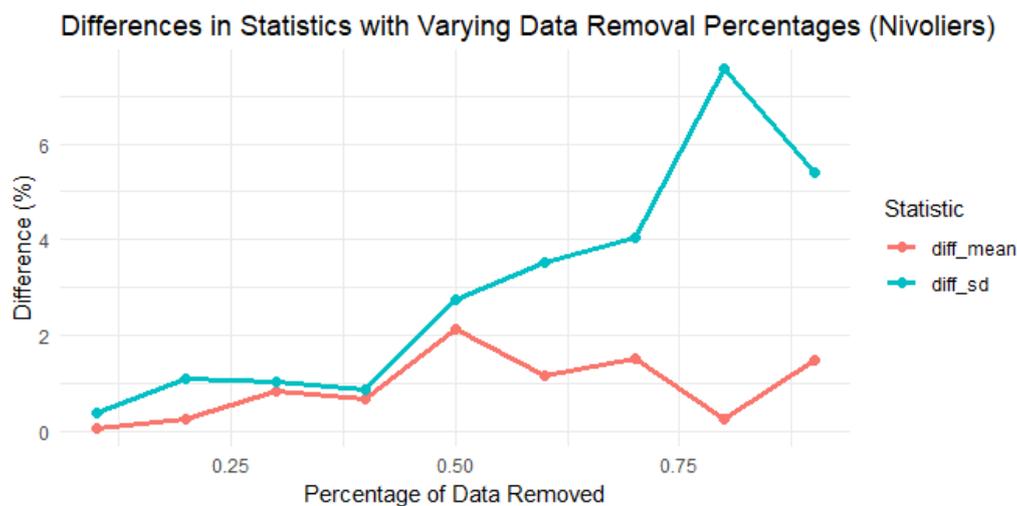


Figure 23. Ce graphique illustre les différences en pourcentage dans les statistiques de la biomasse lorsque différentes proportions des données sont supprimées de manière aléatoire pour l'enclos de Nivoliers. L'axe des X représente le pourcentage des données supprimées, allant de 10% à 90%, et l'axe des Y montre la différence en pourcentage par rapport aux valeurs globales de la moyenne et de l'écart-type. Les lignes et les points en rouge montrent la différence de la moyenne, et ceux en bleu montrent la différence de l'écart-type.

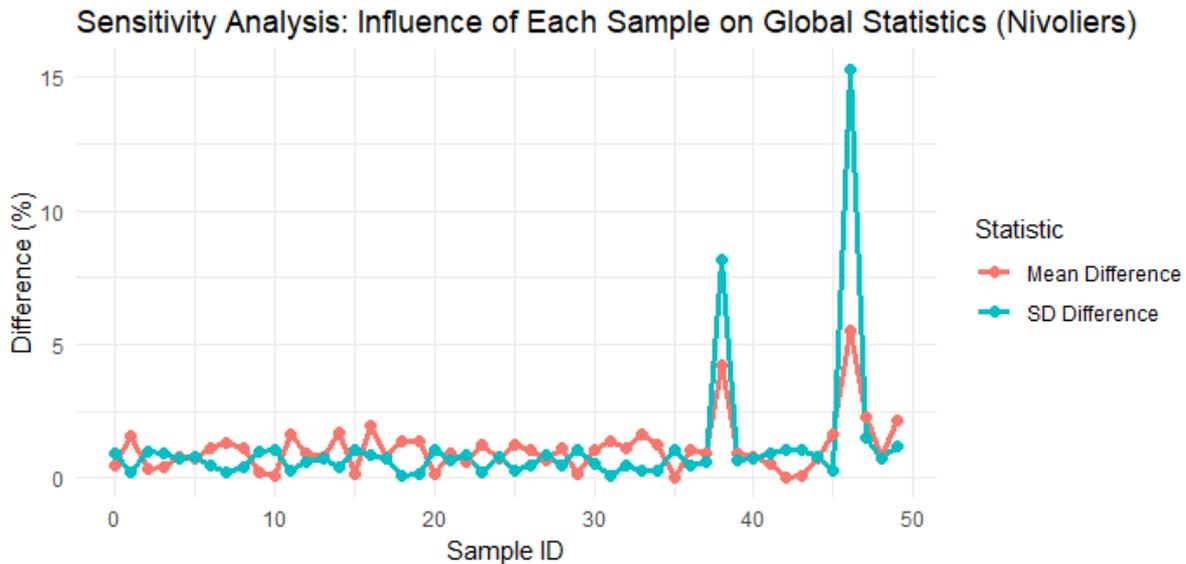


Figure 24. Ce graphique montre l'influence de chaque échantillon individuel sur les statistiques globales de la biomasse dans l'enclos de Nivoliers. L'axe des X représente les identifiants des échantillons (allant de 0 à 49), tandis que l'axe des Y indique la différence en pourcentage par rapport aux valeurs globales de la moyenne et de l'écart-type lorsque chaque échantillon est retiré successivement. Les lignes et les points en rouge représentent la différence de la moyenne, et ceux en bleu représentent la différence de l'écart-type. Une grande différence pour un échantillon donné indique qu'il a une influence significative sur les résultats globaux.

4.7 Accessibilité, disponibilité et qualité de l'eau

Le point le plus éloigné de l'eau dans l'enclos du Villaret est à environ 2000 mètres. A Nivoliers, 1350 mètres est la distance la plus longue. L'eau est en principe toujours disponible, grâce aux lavognes créées à cet effet, pouvant être approvisionnées par un tuyau souterrain le cas échéant.

4.8 Présence d'abris naturels

Les enclos de chez Takh présentent plusieurs abris naturels. Plusieurs éléments sont essentiels dans leur paysage tel qu'un point d'eau, comme discuté au point précédent. Cette zone est d'ailleurs appréciée des chevaux. Certaines zones ont étéensemencées par les forêts de pins alentour où de jeunes mais aussi de plus vieux pins sont présents. Cet habitat tendant plutôt vers le forestier, retrouvé dans une partie de l'enclos de Nivoliers, peut servir d'abri. Les plaines, idéales pour repérer les prédateurs et profiter du vent l'été, sont particulièrement appréciées. Dans l'enclos de Nivoliers, une plaine s'étend en bas du Grand Devès et les familles y passent beaucoup de temps. L'enclos du Villaret présente également des plaines au nord ainsi qu'au sud, de part et d'autre de la petite colline. Les flancs de collines, utilisés pour leur fraîcheur et sommets, également abondants dans les deux enclos, sont utilisés pour observer ce qui se passe dans l'ensemble de la zone.

4.9 Présence d'éléments paysagers amenant des compléments à leur alimentation

Ces informations proviennent d'observations opportunistes sur le terrain ainsi que des connaissances venant des nombreuses heures d'observations faites par les employés de Takh, en particulier Sébastien Carton de Grammont et Florian Drouard. Chez Takh, les chevaux se nourrissent parfois de jeunes pousses de pin, de fleurs d'amélanchier (*amelanchier*), de baies de genévrier (*juniperus*), de fruits de cynorhodons (*rosa canina*), de *prunus* aussi quelques fois, mais également de racines et de dicotylédones à l'occasion (figure 25). Ils peuvent gratter pour obtenir la terre à la recherche de minéraux. Cependant, ils sont complétés avec des pierres à sel disposées dans l'enclos (Communication personnelle, Sébastien Carton de Grammont).

4.10 Utilisation des enclos par les chevaux

Les cartes de chaleur (figures 26, 27, 28) découlant des points GPS (annexe 4) montrent que dans chaque enclos, une zone principale est très utilisée par les chevaux. Il s'agit des deux plaines, situées non loin des points d'eau. Lors des prises de points GPS, certaines zones n'étaient jamais occupées par les chevaux.



Figure 25. Photographie d'un cheval de Przewalski à l'association Takh en train de manger un arbuste. ©Elise Gilles

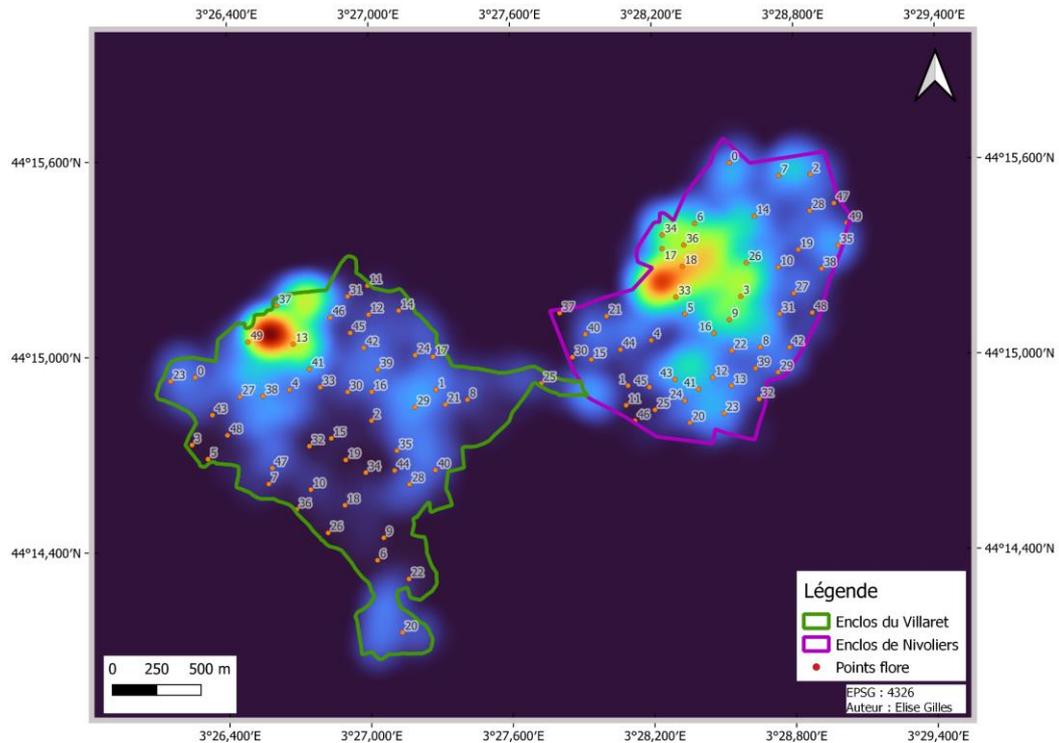


Figure 26. Points de l'inventaire aléatoire (quadrats de 50cm²) superposés à la carte de chaleur représentant les zones fréquentées par les groupes de chevaux entre le 2 mai 2023 et le 27 juin 2024. Les zones en rouge foncé sont les plus utilisées et les zones en noir sont les zones non utilisées durant cette période.

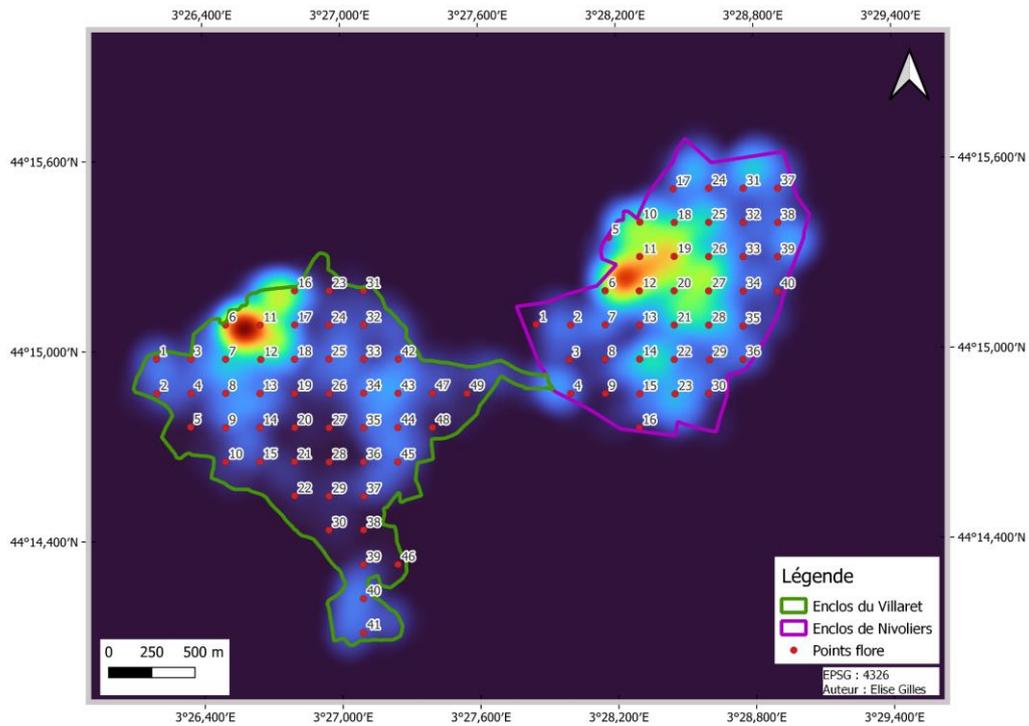


Figure 27. Points de l'inventaire systématique (quadrats d'1m²) superposés à la carte de chaleur représentant les zones fréquentées par les groupes de chevaux entre le 2 mai 2023 et le 27 juin 2024. Les zones en rouge foncé sont les plus utilisées et les zones en noir sont les zones non utilisées durant cette période.

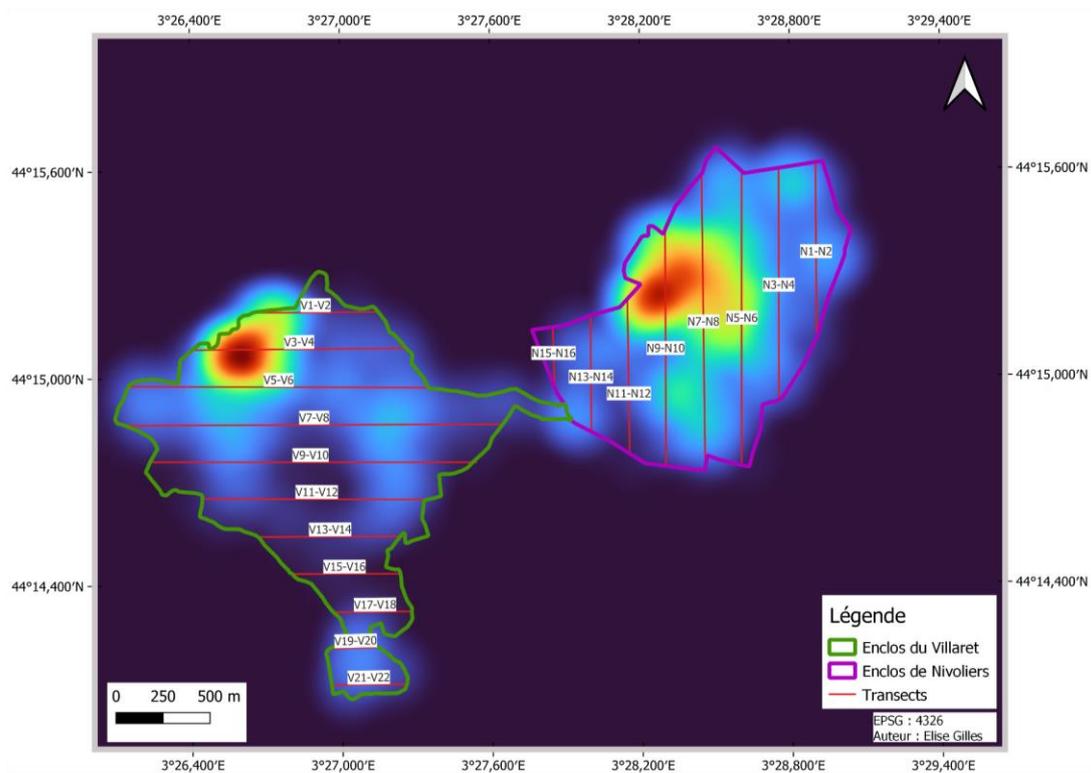


Figure 28. Transects superposés à la carte de chaleur représentant les zones fréquentées par les groupes de chevaux entre le 2 mai 2023 et le 27 juin 2024. Les zones en rouge foncé sont les plus utilisées et les zones en noir sont les zones non utilisées durant cette période.

4.11 Temps nécessaire à la réalisation des protocoles

Le nombre d'heures ou de jours indiqué ci-après constitue une estimation pour des personnes ayant un minimum de formation, notamment en botanique pour les inventaires floristiques.

- Inventaire floristique :

Dix placettes sont réalisables par jour, environ neuf jours sont nécessaires.

- Inventaire lépidoptères :

Le temps sur un transect est en moyenne de 30 minutes. Trois jours sont nécessaires.

- Inventaire plantes à enjeux :

Trois jours sont nécessaires pour les transects et cinq heures pour les quadrats.

- Biomasse :

Environ cinq jours sont nécessaires pour la récolte des échantillons.

4.12 Liste du matériel nécessaire à la réalisation des protocoles

- Cadre de 50cm²
- Feuilles et crayon
- Sachet en papier (soit 220x315mm soit 185x270mm)
- Sécateur (marque Gardena)

- Mètre rigide
- Indélébile
- GPS (Marque Garmin, GPSMAP 62stc)
- Etuves
- Balance de précision
- Mètre ruban 50 mètres (marque Stanley)
- Flores :

Bernard, C., 2009. Petite Flore portative des Causses (Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest. ed) et Tison, J.M., Jauzein, P., Michaud, H., 2014.

Flore de la France méditerranéenne continentale. Naturalia publications, Turriers.

L'annexe 5 contient le guide opérationnel conçu pour l'association afin de permettre la réutilisation des protocoles et leur application régulière sur le terrain. Ce guide présente de manière concise les protocoles, le matériel requis pour chaque méthode, ainsi que le nombre de jours nécessaires pour leur mise en œuvre. Des fiches préremplies sont également fournies pour faciliter l'enregistrement des données directement sur le terrain.

5. Discussion

5.1 Applicabilité du cadre

Le cadre créé et proposé a été appliqué à un cas précis du Causse Méjean. Chacun des indicateurs a pu être testé et évalué sur le terrain. Tous ces indicateurs, qualifiés de pertinents par les différents acteurs, ont une place importante dans les projets de réintroduction des chevaux de Przewalski et ont fourni des résultats non négligeables. Certains sont plus complexes et demandent plus de temps et de matériel que d'autres. C'est pour cela que des solutions sont proposées dans le point 5.3. Certains protocoles doivent bien évidemment être adaptés à la surface étudiée, s'ils sont utilisés pour d'autres zones, tels que les espacements entre les transects ou quadrats.

5.2 Application des indicateurs au Causse Méjean

L'absence de point de comparaison temporel empêche une évaluation précise des menaces pesant sur la biodiversité. Toutefois, cette étude fournit un état des lieux actuel et un point de référence pour les futurs inventaires.

Tout d'abord, il est à noter que la biodiversité doit être suivie de près car les deux enclos étudiés sont partiellement ou totalement situés dans des zones protégées (Parc national, Natura 2000, etc.), ce qui confère à ces zones une grande importance en termes de conservation.

En ce qui concerne la flore, Mutillod et al. (2024b) ont observé que la richesse spécifique et l'hétérogénéité sont plus élevées chez les chevaux de Przewalski par rapport aux chevaux domestiques et aux moutons. Cette hétérogénéité est due, entre autres, selon Fleurance et al. (2001), à l'évitement des zones de défécation pour réduire les risques de contamination parasitaire et maximiser l'assimilation de la végétation de bonne qualité présente sur les zones rases. La figure 18 permet de relier les richesses spécifiques à leur localisation dans les enclos. À Nivoliers, les placettes situées dans la zone très utilisée (niveau de pâturage = 3) présentent une richesse relativement élevée (médiane la plus haute) bien que les placettes dans la zone non utilisées présentent également des richesses parfois très élevées (figure 18). Deux des placettes les moins riches se trouvent en pente (8 et 32) dans des zones peu utilisées, et une autre se situe dans la plaine (18) (figure 27). Au Villaret, les placettes situées dans la zone très utilisée (niveau de pâturage = 3) affichent systématiquement une richesse au-dessus de la moyenne (figure 18). En revanche, les placettes présentant une richesse très faible (9, 13, 14, 20, 27, 44) se trouvent sur le sommet de la colline ou en pente, des lieux également moins pâturés par les chevaux (figure 27). Il est probable que certaines placettes dans la plaine, situées à proximité de placettes à haute diversité, présentent une diversité plus faible. En effet, les zones de latrines, utilisées par les chevaux pour leurs besoins, sont moins pâturées et affichent, selon Loucougaray et al. (2004), une moindre diversité. Comme mentionné dans l'introduction, ces résultats sont confirmés par plusieurs études dont celle de Fleurance et al. (2011). En effet, cette étude montre que le pâturage intensif permet d'augmenter la richesse spécifique en

diminuant les espèces compétitives (qui dominent si le pâturage est léger) et permettant à d'autres espèces de s'installer.

Pour les papillons, bien que moins nombreux à Nivoliers, leur présence n'est pas particulièrement réduite sur les transects où les chevaux sont très présents, c'est-à-dire les N7-8, N9-10, V5-6 et V3-V4 (Tableau 3B, figure 28). L'étude de Konvička et al. (2021) corrobore ces résultats. En effet, elle montre que les lépidoptères sont plus abondants et diversifiés dans les zones occupées par la faune.

Le nombre total d'individus plus élevé au Villaret pourrait s'expliquer par le fait que les chevaux pâturent Nivoliers depuis six mois, ce qui a probablement entraîné le piétinement et la consommation de certaines fleurs, rendant ainsi cette ressource moins favorable. De plus, les transects étaient plus nombreux au Villaret et les températures en moyenne plus élevées, l'enclos de Nivoliers ayant été inventorié plus tôt en mai.

Pour l'Apollon, bien que cette espèce soit rare, les transects ont été prospectés la première semaine de juin, et il est probable que cette période soit trop précoce pour observer des adultes, du moins sur le Causse Méjean.

Il en va de même en ce qui concerne les plantes à enjeux suivies. En effet, il y a environ trois fois moins d'Ophrys et cinquante fois moins de Scorsonères à Nivoliers. Toutefois, les transects à Nivoliers ont été réalisés plus tardivement et certaines plantes commençaient déjà à faner, ce qui les rendait moins détectables. Pour la Gentiana, il est crucial de suivre son évolution dans le temps pour voir si les individus trouvés hors de l'enclos déclinent. Il se pourrait que le pâturage ait un effet négatif, car cette plante n'a pas été retrouvée ailleurs. Cependant, la période d'observation était également trop tardive, rendant les plantes moins détectables car presque toutes déjà fanées.

Ensuite, en ce qui concerne le taux de recouvrement de sol nu, les données obtenues grâce à la méthode avec le NDVI et celles des quadrats de 1 m² sont proches. Elles peuvent être surestimées dans les quadrats de 50 cm² en raison de l'inexpérience. Il est crucial de suivre l'évolution du pourcentage de sol nu en utilisant une méthode cohérente (la même personne effectuant les mesures pour éviter les biais) pour garantir la fiabilité des résultats dans le temps.

La qualité de la pâture pour les chevaux dépend de plusieurs indicateurs. Premièrement, le pourcentage d'espèces toxiques est minime et les chevaux n'y touchent généralement pas. Ensuite, le ratio monocotylédones/dicotylédones supérieur à 1 indique une dominance des monocotylédones, favorable aux chevaux. Toutefois, en termes de composition et de recouvrement des espèces, la prairie est considérée de faible qualité. Certaines espèces importantes, manquent à l'équation car leurs valeurs fourragères n'ont pas été trouvées, ce qui peut sous-estimer le résultat final. Cependant, cela ne signifie pas que d'un point de vue biologique, la qualité de la pâture est médiocre. En effet, la diversité des plantes à fleurs et des insectes pollinisateurs pourrait être favorisée par la préférence des chevaux pour les monocotylédones (Fleurance et al., 2011), étant donné que les chevaux effectuent un contrôle sur celles-ci et laissent place aux autres espèces (Mutillod et al., 2024b). D'un autre côté, selon Van Staalduinen et al. (2007), les zones pâturées présentent une meilleure qualité, car le rapport vivant/mort de la végétation est plus élevé.

Il est difficile de lier les masses mesurées à un moment donné à une tendance spécifique, car les données sont très variables. Par exemple, un mois plus tard, la hauteur avait presque doublé dans l'enclos du Villaret car les chevaux n'y étaient pas encore. De plus, les zones de type doline sont particulièrement fertiles, avec une végétation qui y pousse plus vigoureusement. Lors des relevés, une plus grande quantité de fourrage a été observée à Nivoliers, malgré la présence des chevaux depuis six mois. Cela indique que les chevaux ne surpâtèrent pas l'ensemble de l'enclos, bien que certaines zones, comme les plaines, présentent des masses et des hauteurs de végétation plus faibles (figures 19, 20 et 26). Les quantités de fourrage trouvées dans l'enclos de Nivoliers pourraient donc encore suffire à soutenir la population actuelle, bien que le changement d'enclos prévu pour le printemps soit davantage motivé par des raisons sanitaires et administratives. Par ailleurs, le nombre de chevaux que l'enclos pourrait théoriquement accueillir (48 à 53) selon cette étude est supérieur au nombre actuel (40), ce qui le confirme.

Idéalement, le pâturage ne devrait pas être trop intense et laisser 4 à 6cm de hauteur (Bindelle, 2024). Dans les enclos, très peu de placettes présentent une hauteur inférieure à 4cm, mais la majorité ont une hauteur supérieure à 6cm (figures 19 et 20). L'inconvénient étant que les graminées sont moins nutritives une fois en fleurs (Fleurance et al., 2001).

En ce qui concerne l'effort d'échantillonnage, les mêmes résultats de biomasse auraient pu être obtenus avec des relevés pris dans 20 placettes au Villaret et 15 à Nivoliers, choisies aléatoirement. Certaines placettes ont un effet très significatif, surtout celles situées dans les dolines plus riches où la végétation pousse plus vite. Ces données ponctuelles devraient être prises plusieurs fois par an pour réduire l'effort d'échantillonnage tout en augmentant les répliques.

Pour savoir si le système est surpâturé, il faut suivre les indicateurs dans le temps. Si le retour vers le milieu (état initial de l'écosystème) se fait différemment, après plusieurs années de pâturage, c'est qu'il a été trop intensif (Communication personnelle, Hervé Picq).

Chez Takh, tous les indicateurs d'adaptabilité du système sont pris en compte. Pour les futures réintroductions, il est important de considérer des éléments tels que la période de sécheresse et la distance à parcourir pour accéder à un point d'eau. Les abris naturels et les éléments paysagers sont plus difficiles à identifier sur la cartographie. La surface de l'habitat est suffisante si les ressources sont abondantes et si toutes les conditions sont réunies. En réalité, le domaine vital des chevaux est très variable et dépend de la disponibilité en ressources. Un domaine vital peut être très petit, si l'eau et la nourriture sont abondantes. De plus, les saisons font également varier sa taille, les ressources dépendant de celles-ci (IFCE, consulté le 9 juillet 2024). Toutefois, même avec des ressources suffisantes, des problèmes comportementaux et de fertilité peuvent survenir en cas de surpopulation dans un espace clos. Comme le montre l'étude de Tatin et al. (2009), la fécondité diminue avec la densité. Au Villaret, la population a augmenté jusqu'à 55 chevaux en 2003 (Zalewski, 2018), entraînant des comportements agressifs (Communication personnelle, Sébastien Carton de Grammont). Ils connaissent donc la population maximale à ne pas dépasser et le moment opportun pour programmer des réintroductions.

5.3 Pistes d'amélioration

Enfin, des éléments qui pourraient être également pertinents dans les processus de réintroduction et quelques pistes d'amélioration sont proposés à la suite.

Premièrement, il serait bénéfique d'ajouter et de suivre plusieurs autres éléments complémentaires mentionnés ci-après. Pour commencer, il serait utile de prendre un point GPS quotidiennement, au moins pour les groupes familiaux, afin d'obtenir un suivi plus précis et une meilleure compréhension des zones utilisées par les chevaux dans les enclos. Certains gestionnaires travaillant avec les chevaux de Przewalski les équipent de colliers GPS pour obtenir automatiquement ces informations, ou bien ils se rendent sur place chaque jour pour enregistrer un point général du groupe.

Ensuite, concernant la flore, il est pertinent de suivre les espèces envahissantes et à risque telles que le séneçon. En effet, la diversité végétale dépend de deux mécanismes : la gestion des espèces compétitives et l'ouverture d'une fenêtre d'opportunité pour les espèces moins compétitives (Loucougaray et al., 2004). Par ailleurs, approfondir les recherches sur les espèces de plantes bénéfiques pour la santé des chevaux, notamment celles ayant des propriétés vermifuges, serait judicieux.

En ce qui concerne la faune, un suivi des hétérocères (papillons de nuit) pourrait également être envisagé. Les protocoles pour ces derniers sont simples et efficaces, tels que l'utilisation d'un drap éclairé la nuit et de pièges à phéromones. Pour les papillons diurnes, et plus spécifiquement pour l'Apollon sur le Causse, un protocole idéal mais non réalisable dans le cadre de ce travail consisterait à inventorier les dalles à orpins (en mai), zones très prisées par les chenilles de ce papillon.

Le long des transects, les odonates observées ont été comptées. Une suggestion serait de réaliser un échantillonnage spécifique autour des points d'eau (lavognes) entre mai et septembre, soit par comptage, soit plus précisément par capture à l'aide d'un filet pour identification. Les orthoptères, comme mentionné précédemment, représentent également un groupe d'intérêt à ne pas négliger. Leur inventaire peut être réalisé par capture avec des filets à des points fixes, ou par simple comptage le long des transects. La méthodologie peut également être reprise de l'étude de Tatin et al. (2000) réalisée dans l'enclos du Villaret pour pouvoir comparer plusieurs années après.

Enfin, la biomasse, comme mentionné, varie considérablement en fonction de la période de récolte. Un conseil pour les gestionnaires lors de la réalisation de ce protocole à l'avenir serait d'effectuer la récolte de biomasse chaque mois, pour ensuite effectuer une moyenne sur l'année du nombre possible de chevaux que pourrait accueillir l'enclos. Il est important de ne pas rééchantillonner les mêmes placettes pour éviter de fausser les données, mais de le faire dans un rayon de deux mètres autour des précédents échantillonnages.

Deuxièmement, plusieurs autres points essentiels doivent être pris en compte avant toute action dans ce type de projet. Dans de nombreux pays, il est crucial de considérer la compétition pour

le site de réintroduction et les pâturages, ainsi que les risques d'hybridation et l'activité humaine. En effet, dans les zones peuplées ou proches des villages et villes, des problèmes d'interaction et d'acceptation des chevaux par les habitants peuvent survenir. Un autre point, moins primordial mais néanmoins problématique, est la présence d'insectes piqueurs. En grande quantité, ces insectes peuvent déranger les chevaux, qui ne tolèrent pas les piqûres et dépensent beaucoup de temps et d'énergie à essayer de les chasser.

Dernièrement, il convient d'aborder les solutions éventuelles pour les indicateurs de ce projet, relativement complexes à mettre en œuvre (annexe 1). La diversité en espèces demande du temps et des compétences solides en botanique. Le protocole utilisé par Mutillod et al. (2024b) a de fortes chances d'être réutilisé dans les années à venir par cette même équipe, qui possède les connaissances nécessaires en flore. De plus, un réseau de placettes permanentes est déjà présent dans les enclos, facilitant ainsi le renouvellement de ce protocole. Si ce n'est pas le cas, le nombre de placettes peut être réduit en testant l'effort d'échantillonnage idéal, comme cela a été fait pour la biomasse dans le cadre de ce travail. En ce qui concerne les zones protégées, le travail a été réalisé pour l'association Takh dans ce mémoire et n'a pas besoin d'être refait. Ce point est complexe pour les autres pays car les cartes ne sont pas toujours disponibles et le personnel n'est pas toujours formé aux SIG (systèmes d'information géographique). Bien que difficilement réalisable sans utiliser les SIG, il est probable que les parcs aux alentours de la zone cible possèdent ces informations. Ensuite, le taux de sol nu n'est pas simple à évaluer, surtout à partir d'images satellites. Cependant, le protocole d'estimation dans les placettes est simple, très rapide et reproductible sur le réseau de placettes permanentes. La composition en espèces pour la qualité est sans doute le point le plus compliqué à évaluer de manière totalement fiable car les valeurs fourragères de chaque espèce ne sont pas toujours disponibles et il est nécessaire de connaître leurs taux de recouvrement. Cela dit, l'équation peut être réalisée seulement pour les graminées et/ou légumineuses, tant que le nombre et les espèces suivies restent fixes au fil des années. La composition chimique nécessite du matériel ou l'assistance d'un laboratoire externe. Comme mentionné précédemment, ces données peuvent être obtenues par un organisme externe. Les éléments paysagers apportant des compléments à l'alimentation requièrent une connaissance préalable de la zone cible. Sans cela, il est impossible de déterminer la composition de l'écosystème et ses caractéristiques. Enfin, la surface de l'habitat découle en réalité de tous les autres indicateurs, tels que la qualité de la prairie, la quantité de fourrage disponible, le nombre de chevaux, etc. Pour appréhender toute la complexité du système, une aide extérieure est certainement nécessaire. Toutefois, jusqu'à présent, les acteurs déterminent plutôt le nombre de chevaux possible en fonction de la surface, principalement grâce aux observations des comportements des chevaux.

5.4 Analyse critique de la méthodologie et limites de l'étude

Cette étude présente certains biais. Premièrement, bien que des protocoles rigoureux aient été mis en place pour représenter au mieux la zone d'étude, sa vaste étendue suggère que l'ajout de placettes ou de transects aurait pu offrir des résultats plus précis. Deuxièmement, les taux de recouvrement (sol nu, chaque espèce, etc.) sont subjectifs et varient selon les observateurs, d'où l'importance que la même personne effectue les relevés. De plus, il est possible qu'en plus de l'effet observateur, les périodes d'étude ainsi que les conditions météorologiques et de pâturage jouent un rôle sur l'estimation de ces données. Les résultats du rapport monocotylédone/dicotylédone entre les deux méthodes sont également différents. Ces différences pourraient venir du protocole. En effet, lors de ce travail, la placette a été divisée en trois parties : monocotylédone, dicotylédone et sol nu. Les bryophytes, par exemple, ont été classés à tort dans les dicotylédones pour plus de facilité, ce qui surestime cette classe. Troisièmement, les périodes de terrain n'ont pas toujours été optimales pour certaines espèces, comme l'Apollon ou la Gentiane de Coste, ce qui a également affecté l'inventaire des plantes à enjeux, puisque l'un des enclos a été étudié plus tardivement. Pour compenser l'avancée de la saison, il est pertinent de considérer l'alternance des enclos pour les relevés. Ensuite, un biais significatif est la possibilité de double-comptage des papillons sur les transects, car ces derniers, espacés de 200 mètres, n'ont pas tous été inventoriés le même jour, ce qui a pu entraîner des comptages multiples. Par-après, le NDVI permet de stratifier la zone selon des seuils qui varient en fonction de plusieurs facteurs et peuvent ne pas être parfaitement adaptés, entraînant une sous-estimation ou une surestimation de certaines strates. D'autre part, la composition en espèces est également moins fiable, car plusieurs d'entre elles, sans valeur fourragère, couvrent néanmoins une certaine partie de la zone.

Enfin, l'utilisation des enclos reflète bien les zones fréquemment utilisées, mais certaines zones peuvent également être exploitées à d'autres moments, y compris la nuit.

Cette étude s'applique et se limite aux enclos de l'association Takh mais offre un cadre générique d'indicateurs applicables à d'autres sites.

6. Contribution personnelle

J'ai d'abord consacré un temps considérable à comprendre les enjeux liés à mon sujet et à me documenter grâce à des recherches bibliographiques, que j'ai synthétisées dans mon travail. L'état de l'art et la mise en contexte m'ont permis de créer un cadre d'indicateurs pertinent et original. Bien que certains indicateurs proviennent de la littérature, j'ai modifié ou adapté certains d'entre eux à la suite de discussions avec mes encadrants pour les intégrer de manière optimale. Ces indicateurs étaient essentiels et nécessaires dans le contexte de l'étude.

J'ai mis en place les protocoles qui ont été basés sur la littérature, puis adaptés pour répondre aux besoins spécifiques de chaque indicateur tout en étant réalisables dans un délai réduit et sans être trop complexes. En effet, ces méthodes sont destinées à être réutilisées par les gestionnaires pour suivre l'évolution des enjeux et de la biodiversité dans les enclos au fil du temps, et pourraient potentiellement être appliquées ailleurs.

Pour récolter les données et répondre aux questions de l'étude, je me suis rendue pendant deux mois à l'association Takh. Mon objectif principal était de tester mes méthodes et d'obtenir des résultats pouvant servir de point de référence pour les futurs relevés. J'ai dû m'adapter aux contraintes météorologiques, qui m'ont parfois obligée à repousser certains protocoles réalisables uniquement sous des conditions spécifiques.

Pour l'analyse des résultats, j'ai principalement utilisé Excel et j'ai également conçu un code sur Rstudio pour tester l'effort d'échantillonnage.

J'ai ensuite interprété les résultats obtenus de manière critique, en m'appuyant sur les connaissances acquises au cours de mon parcours universitaire et sur la littérature. J'ai également proposé des alternatives et solutions aux protocoles complexes pour faciliter leur réalisation future par les gestionnaires.

7. Conclusion

En conclusion, cette étude fournit un cadre d'indicateurs génériques ainsi qu'un état des lieux initial de la biodiversité, des habitats et des ressources disponibles dans les enclos étudiés à l'association Takh. Les résultats obtenus montrent que la pression exercée par les chevaux de Przewalski, bien que présente, n'a pas conduit à un surpâturage généralisé des ressources, comme en témoignent les quantités de fourrage encore disponibles à Nivoliers après six mois de pâturage continu. Ces données, basées sur une méthodologie rigoureuse incluant des indicateurs descriptifs, serviront de référence pour les évaluations futures et permettront d'adapter les pratiques de gestion en vue d'optimiser la conservation des chevaux et la préservation de leur milieu naturel. En tenant compte de facteurs tels que la disponibilité en ressources et la présence de certaines espèces à enjeux conservatoires, cette étude permet de mieux connaître la zone cible et vise à définir des stratégies de gestion durable. Le suivi des indicateurs dans le temps issus de ce travail est essentiel pour les futures réintroductions et pour assurer le bien-être des chevaux de Przewalski tout en garantissant la protection et la biodiversité des habitats naturels du Causse Méjean et des autres sites de réintroduction.

8. Bibliographie

Accueil | Géoservices. (s.d.). Consulté le 12 avril 2024, à l'adresse <https://geoservices.ign.fr/>

Allombert, S., Gaston, A. J., & Martin, J.-L. (2005). A natural experiment on the impact of overabundant deer on songbird populations. *Biological Conservation*, 126(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.04.001>

Barnosky, A. D., Matzke, N., Tomiya, S., Wogan, G. O. U., Swartz, B., Quental, T. B., Marshall, C., McGuire, J. L., Lindsey, E. L., Maguire, K. C., Mersey, B., & Ferrer, E. A. (2011). Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature*, 471(7336), Article 7336. <https://doi.org/10.1038/nature09678>

Barraud, R., Andreu-Boussut, V., Chadenas, C., Portal, C., & Guyot, S. (2019). Ensauvagement et ré-ensauvagement de l'Europe : Controverse et postures scientifiques. *Bulletin de l'association de géographes français. Géographies*, 96(2), Article 2. <https://doi.org/10.4000/bagf.5141>

Bindelle J. (2024). *Bromatologie et gestion du pâturage*, Gembloux Agro Bio Tech, Gembloux.

Bocherens, H., Hofman-Kamińska, E., Drucker, D. G., Schmölcke, U., & Kowalczyk, R. (2015). European Bison as a Refugee Species? Evidence from Isotopic Data on Early Holocene Bison and Other Large Herbivores in Northern Europe. *PLOS ONE*, 10(2), e0115090. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115090>

Bodmer, R., & Ward, D. (2006). Frugivory in large mammalian herbivores. In J. Pastor, K. Danell, P. Duncan, & R. Bergström (Éds.), *Large Herbivore Ecology, Ecosystem Dynamics and Conservation* (p. 232-260). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511617461.010>

Bouman, J., Bouman, I., Groeneveld, A. (1982) Semi-reserves for Przewalski's horse. In *Breeding Przewalski Horses in Captivity for Release into the Wild; Foundation for the Preservation and Protection of the Przewalski Horse: Rotterdam, The Netherlands*; pp. 221–240.

Bouman, D.T., Bouman, J.G. (1994). The history of Przewalski's Horse. In *Przewalski's Horse: The History and Biology of an Endangered Species*; Boyd, L., Houpt, D.A., Eds.; State University of New York Press: Albany, NY, USA; pp. 5–38.

Caloni, F., & Cortinovis, C. (2015). Plants poisonous to horses in Europe. *Equine Veterinary Education*, 27(5), 269-274. <https://doi.org/10.1111/eve.12274>

Caplat, P., Lepart, J., & Marty, P. (2006). Landscape patterns and agriculture : Modelling the long-term effects of human practices on *Pinus sylvestris* spatial dynamics (Causse Mejean, France). *Landscape Ecology*, 21(5), 657-670. <https://doi.org/10.1007/s10980-005-4430-1>

Carver, S., Convery, I., Hawkins, S., Beyers, R., Eagle, A., Kun, Z., Van Maanen, E., Cao, Y., Fisher, M., Edwards, S. R., Nelson, C., Gann, G. D., Shurter, S., Aguilar, K., Andrade, A., Ripple, W. J., Davis, J., Sinclair, A., Bekoff, M., ... Soulé, M. (2021). Guiding principles for rewilding. *Conservation Biology: The Journal of the Society for Conservation Biology*, 35(6), 1882-1893. <https://doi.org/10.1111/cobi.13730>

Ceballos, G., & Ehrlich, P. R. (2002). Mammal Population Losses and the Extinction Crisis. *Science*, 296(5569), 904-907. <https://doi.org/10.1126/science.1069349>

Chabin, M. (2011). *Document d'objectif du site Natura 2000 FR 9101379 du Causse Méjean*. 3, 68.

Cotrel Nicolas (2010). Observatoire du patrimoine naturel du Marais poitevin : Suivi des Lépidoptères Rhopalocères du Marais poitevin. Deux-Sèvres Nature Environnement. Edition Parc interrégional du Marais poitevin. 27p.

Coughenour, M. (1985). Graminoid Responses to Grazing by Large Herbivores : Adaptations, Exaptations, and Interacting Processes. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 72. <https://doi.org/10.2307/2399227>

Crawley, M. J. (avec Internet Archive). (1983). *Herbivory : The dynamics of animal-plant interactions*. Oxford : Blackwell Scientific. <http://archive.org/details/herbivorydynamic0000craw>

Demerges, D., & Bachelard, P. (2002). *Proposition de mise en place d'une méthode de suivi des milieux ouverts par les Rhopalocères et Zygaenidae dans les réserves naturelles*.

Derham, T. T., Duncan, R. P., Johnson, C. N., & Jones, M. E. (2018). Hope and caution: rewilding to mitigate the impacts of biological invasions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 373(1761), 20180127.

Der Sarkissian, C., Ermini, L., Schubert, M., Yang, M. A., Librado, P., Fumagalli, M., Jónsson, H., Bar-Gal, G. K., Albrechtsen, A., Vieira, F. G., Petersen, B., Ginolhac, A., Seguin-Orlando, A., Magnussen, K., Fages, A., Gamba, C., Lorente-Galdos, B., Polani, S., Steiner, C., ... Orlando, L. (2015). Evolutionary Genomics and Conservation of the Endangered Przewalski's Horse. *Current Biology: CB*, 25(19), 2577-2583. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.08.032>

Dierendonck, M. C. van, & Vries, M. F. W. de. (1996). Ungulate reintroductions : Experiences with the Takhi or Przewalski horse (*Equus ferus przewalskii*) in Mongolia. *Conservation Biology*, 10, 728-740. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1996.10030728.x>

Dirzo, R., Young, H. S., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, N. J. B., & Collen, B. (2014). Defaunation in the Anthropocene. *Science (New York, N.Y.)*, 345(6195), 401-406. <https://doi.org/10.1126/science.1251817>

Ducérf G. (2021). *L'encyclopédie Des Plantes Bio-Indicatrices Alimentaires Et Médicinales: Guide De Diagnostic Des Sols*. Vol. 1,2&3. 3rd ed. Briant, France: Promonature, 352p.

Duelli, P., & Obrist, M. K. (2003). Biodiversity indicators : The choice of values and measures. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98(1), 87-98. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00072-0](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00072-0)

Dufrêne M., (2023). *Ingénierie écologique*, Gembloux Agro Bio Tech, Gembloux.

EEA. (2002). *An inventory of biodiversity indicators in Europe, 2002*. — *European Environment Agency* [Publication]. Consulté 18 mars 2024, à l'adresse https://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2004_92

EEA. (2007). *Halting the loss of biodiversity by 2010 : Proposal for a first set of indicators to monitor progress in Europe* — *European Environment Agency* [Publication]. Consulté 18 mars 2024, à l'adresse https://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2007_11

European Environment Agency (2019). EUNIS habitat classification 2012 amended 2019, consulté le 02 juillet 2024. <https://eunis.eea.europa.eu/habitats/993>.

Estes, J., Terborgh, J., Brashares, J., Power, M., Berger, J., Bond, W., Carpenter, S., Essington, T., Holt, R., Jackson, J., Marquis, R., Oksanen, L., Oksanen, T., Paine, R., Pickett, E., Ripple, W., Sandin, S., Scheffer, M., Schoener, T., & Wardle, D. (2011). Trophic Downgrading of Planet Earth. *Science (New York, N.Y.)*, 333, 301-306. <https://doi.org/10.1126/science.1205106>

Fleurance, G., Duncan, P., Farruggia, A. A., Dumont, B., & Lecomte, T. (2011). Impact du pâturage équin sur la diversité floristique et faunistique des milieux pâturés. *Fourrages*, 207, 189-199.

Fleurance, G., Duncan, P., & Mallevaud, B. (2001). Daily intake and the selection of feeding sites by horses in heterogeneous wet grasslands. *Animal Research*, 50(2), 149-156. <https://doi.org/10.1051/animres:2001123>

Fløjgaard, C., Pedersen, P. B. M., Sandom, C. J., Svenning, J.-C., & Ejrnæs, R. (2022). Exploring a natural baseline for large-herbivore biomass in ecological restoration. *Journal of Applied Ecology*, 59(1), 18-24. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14047>

Fonderflick, J., Lepar, J., Caplat, P., Debussche, M., & Marty, P. (2010). Managing agricultural change for biodiversity conservation in a Mediterranean upland. *Biological Conservation*, 143(3), 737-746. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.12.014>

Garrido, P., Mårell, A., Öckinger, E., Skarin, A., Jansson, A., & Thulin, C.-G. (2019). Experimental rewilding enhances grassland functional composition and pollinator habitat use. *Journal of Applied Ecology*, 56(4), 946-955. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13338>

GeoNature. (s. d.). Consulté 4 juillet 2024, à l'adresse <https://appli.cevennes-parcnational.net/geonature/#/synthese>

Haahtela T., Saarinen K., Ojalainen P., Aarnio H. (2017). Guide photo des papillons d'Europe, Guide Delachaux, Delachaux et Niestlé, Paris, ISBN : 978-2-603-02765-3, 384p

Harrison, K. A., & Bardgett, R. D. (2008). Impacts of Grazing and Browsing by Large Herbivores on Soils and Soil Biological Properties. In I. J. Gordon & H. H. T. Prins (Éds.), *The Ecology of Browsing and Grazing* (p. 201-216). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-72422-3_8

Hart, E. E., Haigh, A., & Ciuti, S. (2023). A scoping review of the scientific evidence base for rewilding in Europe. *Biological Conservation*, 285, 110243. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110243>

Heady, H. F. (1957). The Measurement and Value of Plant Height in the Study of Herbaceous Vegetation. *Ecology*, 38(2), 313-320. <https://doi.org/10.2307/1931691>

Heink, U., & Kowarik, I. (2010). What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecological Indicators*, 10(3), 584-593. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.09.009>

Hentz J-L., Dhondt J-P. & Dauguet P. (2022) : Guide photographique des papillons de jour et zygènes de France. Gard Nature, Beaucaire, ISBN : 978-2-9528672-3-8, 512 pp.

Higgins L. (1983). The butterflies of Britain and Europe aux éditions Williams Collins, London (Grande-Bretagne), 256p

IFCE. *Intoxication alimentaire*. (s. d.). Consulté 13 juillet 2024, à l'adresse <https://equipedia.ifce.fr/elevage-et-entretien/alimentation/intoxication-alimentaire>

IFCE. *Organisation sociale des chevaux*. Consulté 9 juillet 2024, à l'adresse <https://equipedia.ifce.fr/sante-et-bien-etre-animal/bien-etre-et-comportement-animal/comportement-du-cheval/organisation-sociale-des-chevaux>

INPN - *Cartes et informations géographiques*. (s. d.). Consulté 16 juillet 2024, à l'adresse <https://inpn.mnhn.fr/telechargement/cartes-et-information-geographique>

INPN - *FSD Natura 2000—FR9101379—Causse Méjean—Description*. (s. d.). Consulté 16 juillet 2024, à l'adresse <https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR9101379>

INPN. *Parnassius apollo* (Linnaeus, 1758)—*Apollon* (L'), *Parnassien apollon* (Le). Inventaire National du Patrimoine Naturel. Consulté 5 mai 2024, à l'adresse https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/54496

Jiang, Z., & Zong, H. (2019). REINTRODUCTION OF THE PRZEWALSKI'S HORSE IN CHINA : STATUS QUO AND OUTLOOK. *Nature Conservation Research*, 4(Suppl.2). <https://doi.org/10.24189/ncr.2019.045>

Kaczensky, P., Burnik Šturm, M., Sablin, M. V., Voigt, C. C., Smith, S., Ganbaatar, O., Balint, B., Walzer, C., & Spasskaya, N. N. (2017). Stable isotopes reveal diet shift from pre-extinction to reintroduced Przewalski's horses. *Scientific Reports*, 7(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05329-6>

Keeper, W. Z. (International S., Lee Boyd (Washburn University, K., Sarah King (Station Biologique de la Tour du Valat, A., & Bruce Kendall (University of California, S. B. (2014). IUCN Red List of Threatened Species : *Equus ferus*. *IUCN Red List of Threatened Species*. <https://www.iucnredlist.org/fr>

Kerekes, V., Sándor, I., Nagy, D., Ozogány, K., Göczi, L., Ibler, B., Széles, L., & Barta, Z. (2021). Trends in demography, genetics, and social structure of Przewalski's horses in the Hortobagy National Park, Hungary over the last 22 years. *Global Ecology and Conservation*, 25, e01407. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01407>

Köhler, M., Hiller, G., & Tischew, S. (2016). Year-round horse grazing supports typical vascular plant species, orchids and rare bird communities in a dry calcareous grassland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 234, 48-57. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.03.020>

Konvička, M., Ričl, D., Vodičková, V., Beneš, J., & Jirků, M. (2021). Restoring a butterfly hot spot by large ungulates refaunation : The case of the Milovice military training range, Czech Republic. *BMC Ecology and Evolution*, 21(1), 73. <https://doi.org/10.1186/s12862-021-01804-x>

Körner, Ch., & Renhardt, U. (1987). Dry matter partitioning and root length/leaf area ratios in herbaceous perennial plants with diverse altitudinal distribution. *Oecologia*, 74(3), 411-418. <https://doi.org/10.1007/BF00378938>

Lafranchis T. (2014). Papillons de France, Guide de détermination des papillons diurnes, Edité par Diatheo, ISBN : 978-2-9521620-5-0, imprimé en Espagne par SYL, Barcelona, 351p

Loucougaray, G., Bonis, A., & Bouzillé, J.-B. (2004). Effects of grazing by horses and/or cattle on the diversity of coastal grasslands in western France. *Biological Conservation*, 116(1), 59-71. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(03\)00177-0](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(03)00177-0)

Lu, V., Xu, F., & Turghan, M. A. (2021). Przewalski's Horses (*Equus ferus przewalskii*) Responses to Unmanned Aerial Vehicles Flights under Semireserve Conditions : Conservation Implication. *International Journal of Zoology*, 2021, e6687505. <https://doi.org/10.1155/2021/6687505>

Martinson, K. L., Wells, M. S., & Sheaffer, C. C. (2016). Horse Preference, Forage Yield, and Species Persistence of 12 Perennial Cool-Season Grass Mixtures Under Horse Grazing. *Journal of Equine Veterinary Science*, 36, 19-25. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2015.10.003>

Marty, P., Pélaquier, E., Jaudon, B., & Lepart, J. (2002). Spontaneous reforestation in a peri-Mediterranean landscape : History of agricultural systems and dynamics of woody species. *The Mediterranean World and History*.

Miller, J. R., & Hobbs, R. J. (2019). Rewilding and restoration. In J. T. du Toit, N. Pettorelli, & S. M. Durant (Éds.), *Rewilding* (p. 123-141). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108560962.007>

Mutillod, C., Buisson, É., Mahy, G., Jaunatre, R., Bullock, J. M., Tatin, L., & Dutoit, T. (2024a). Ecological restoration and rewilding : Two approaches with complementary goals? *Biological Reviews*, n/a(n/a). <https://doi.org/10.1111/brv.13046>

Mutillod, C., Buisson, E., Tatin, L., Mahy, G., Dufrière, M., Mesléard, F., & Dutoit, T. (2024b). Managed as wild, horses influence grassland vegetation differently than domestic herds. *Biological Conservation*, 290, 110469. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110469>

Nakonieczny, M., Kedzioriski, A., & Michalczyk, K. (2007). Apollo butterfly (*Parnassius apollo* L.) in Europe : Its history, decline and perspectives of conservation. *Funct Ecosyst Commun*, 1, 56-79.

Normander, B., Levin, G., Auvinen, A.-P., Bratli, H., Stabbetorp, O., Hedblom, M., Glimskär, A., & Gudmundsson, G. A. (2012). Indicator framework for measuring quantity and quality of biodiversity—Exemplified in the Nordic countries. *Ecological Indicators*, 13(1), 104-116. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.05.017>

Novak, J. (2004). Evaluation of grassland quality. *Ekologia Bratislava*, 23, 127-143.

Participation aux Plans nationaux d'action | Parc national des Cévennes. (s. d.). Consulté 4 juillet 2024, à l'adresse <https://www.cevennes-parcnational.fr/fr/des-actions/gerer-et-preserver-les-patrimoines/les-especes-animales-et-vegetales/participation-aux>

Patty, L., Halloy, S. R. P., Hiltbrunner, E., & Körner, C. (2010). Biomass allocation in herbaceous plants under grazing impact in the high semi-arid Andes. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 205(10), 695-703. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2009.12.039>

Pereladova, O. B., Sempééré, A. J., Soldatova, N. V., Dutov, V. U., Fisenko, G., & Flint, V. E. (1999). Przewalski's horse—Adaptation to semi-wild life in desert conditions. *Oryx*, 33(1), 47-58. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3008.1999.00038.x>

Pozdnyakova, M. K., Zharkikh, T. L., Yasinetskaya, N. I., & Kolesnikov, M. P. (2011). Quantitative assessment of feeding in a free-ranging group of Przewalski horses, *Equus przewalskii*, in a steppe habitat (the Askania Nova Biosphere Reserve). *Biology Bulletin*, 38(7), 726-734. <https://doi.org/10.1134/S1062359011070053>

Przewalski's horse. (s. d.). Smithsonian's National Zoo and Conservation Biology Institute. Consulté 11 juillet 2024, à l'adresse <https://nationalzoo.si.edu/animals/przewalskis-horse>

RESPE. *Liste des plantes toxiques.* Consulté 13 juillet 2024, à l'adresse https://respe.net/wp-content/uploads/2019/02/20181129_L_ListeDesPlantesToxiquesRESPE.pdf

RESPE. *Plantes toxiques pour les équidés : Quelles zones à risque ?* Consulté 13 juillet 2024, à l'adresse <https://respe.net/plantes-toxiques-equides-zones-a-risque/>

Roche, H., & Tatin, L. (2021). *Réintroduction du cheval de Przewalski : Translocation d'une structure sociale.* La Fondation Droit Animal, Ethique et Sciences. <https://www.fondation-droit-animal.org/111-reintroduction-cheval-przewalski-translocation-structure-sociale/>

Ryder, O. A. (1988). Przewalski's horse—Putting the wild horse back in the wild. *Oryx*, 22(3), 154-157. <https://doi.org/10.1017/S0030605300027770>

Saïdi, M. S., & Mende, C. (1999). L'utilisation des pelouses caussenardes par le cheval de Przewalski. *Mappemonde*, 53(1), 9-14. <https://doi.org/10.3406/mappe.1999.1962>

Sakata, Y., & Yamasaki, M. (2015). Deer overbrowsing on autumn-flowering plants causes bumblebee decline and impairs pollination service. *Ecosphere*, 6(12), 1-13. <https://doi.org/10.1890/ES15-00401.1>

Shelton, A. L., Henning, J. A., Schultz, P., & Clay, K. (2014). Effects of abundant white-tailed deer on vegetation, animals, mycorrhizal fungi, and soils. *Forest Ecology and Management*, 320, 39-49. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.02.026>

Skarpe, C., & Hester, A. J. (2008). Plant Traits, Browsing and Grazing Herbivores, and Vegetation Dynamics. In I. J. Gordon & H. H. T. Prins (Éds.), *The Ecology of Browsing and Grazing* (p. 217-261). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-72422-3_9

Steets, J. A., & Ashman, T.-L. (2004). Herbivory alters the expression of a mixed-mating system. *American Journal of Botany*, 91(7), 1046-1051. <https://doi.org/10.3732/ajb.91.7.1046>

Svenning, J.-C., Munk, M., & Schweiger, A. (2019). Trophic rewilding : Ecological restoration of top-down trophic interactions to promote self-regulating biodiverse ecosystems. In N. Pettorelli, S. M. Durant, & J. T. Du Toit (Éds.), *Rewilding* (1^{re} éd., p. 73-98). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108560962.005>

Svenning, J.-C., Pedersen, P. B. M., Donlan, C. J., Ejrnæs, R., Faurby, S., Galetti, M., Hansen, D. M., Sandel, B., Sandom, C. J., Terborgh, J. W., & Vera, F. W. M. (2016). Science for a wilder Anthropocene : Synthesis and future directions for trophic rewilding research. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(4), 898-906. <https://doi.org/10.1073/pnas.1502556112>

Taron, D., & Ries, L. (2015). Butterfly Monitoring for Conservation. In J. C. Daniels (Éd.), *Butterfly Conservation in North America : Efforts to help save our charismatic microfauna* (p. 35-57). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9852-5_3

Tatin, L., Dutoit, T., & Feh, C. (2000). Impact du pâturage par les chevaux de Przewalski (*Equus przewalskii*) sur les populations d'orthoptères du Causse Méjean (Lozère, France). *Revue d'Écologie*, 55(3), 241-261.

Tatin, L., King, S. R. B., Munkhtuya, B., Hewison, A. J. M., & Feh, C. (2009). Demography of a socially natural herd of Przewalski's horses : An example of a small, closed population. *Journal of Zoology*, 277(2), 134-140. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2008.00520.x>

The IUCN Red List of Threatened Species. (s. d.). IUCN Red List of Threatened Species. Consulté 29 février 2024, à l'adresse <https://www.iucnredlist.org/en>

Townsend M. & Waring P. (2020). Concise guide to the Moths of Great Britain and Ireland, Second edition, Bloomsbury Wildlife guides, ISBN : 978-1-4729-5728-3, 176p

Turghan, M. A., Jiang, Z., & Niu, Z. (2022). An Update on Status and Conservation of the Przewalski's Horse (*Equus ferus przewalskii*) : Captive Breeding and Reintroduction Projects. *Animals*, 12(22), Article 22. <https://doi.org/10.3390/ani12223158>

Van Staalduinen, M. A., Daring, H., & Werger, M. J. A. (2007). Impact of grazing regime on a Mongolian forest steppe. *Applied Vegetation Science*, 10(3), 299-306. <https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2007.tb00428.x>

Van Wijnen, H. J., Van Der Wal, R., & Bakker, J. P. (1999). The impact of herbivores on nitrogen mineralization rate: Consequences for salt-marsh succession. *Oecologia*, 118(2), 225-231. <https://doi.org/10.1007/s004420050722>

van Klink, R., & DeVries W., M. F. (2018). Risks and opportunities of trophic rewilding for arthropod communities. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 373(1761), 20170441. <https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0441>

van Wieren, S. E., & Bakker, J. P. (2008). The Impact of Browsing and Grazing Herbivores on Biodiversity. In I. J. Gordon & H. H. T. Prins (Éds.), *The Ecology of Browsing and Grazing* (p. 263-292). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-72422-3_10

Vermeulen C., (2023). *Gestion de la grande faune en milieu tropical*, Gembloux Agro Bio Tech, Gembloux.

Wakefield, S., Knowles, J., & Zimmermann, W. (2003). *Status and Action Plan for the Przewalski 's Horse (Equus ferus przewalskii)*.

<https://www.semanticscholar.org/paper/Status-and-Action-Plan-for-the-Przewalski-%E2%80%99-s-Horse-Wakefield-Knowles/63bea15a85ef561343892fbe680b3ed0c55ebfde>

Young, H. S., McCauley, D. J., Galetti, M., & Dirzo, R. (2016). Patterns, Causes, and Consequences of Anthropocene Defaunation. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 47(1), 333-358. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054142>

Zalewski, S. (2018). *Le cheval de Przewalski*. Buchet-Chastel.

Zhu, H., Wang, D., Wang, L., Bai, Y., Fang, J., & Liu, J. (2012). The effects of large herbivore grazing on meadow steppe plant and insect diversity. *Journal of Applied Ecology*, 49(5), 1075-1083. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02195.x>

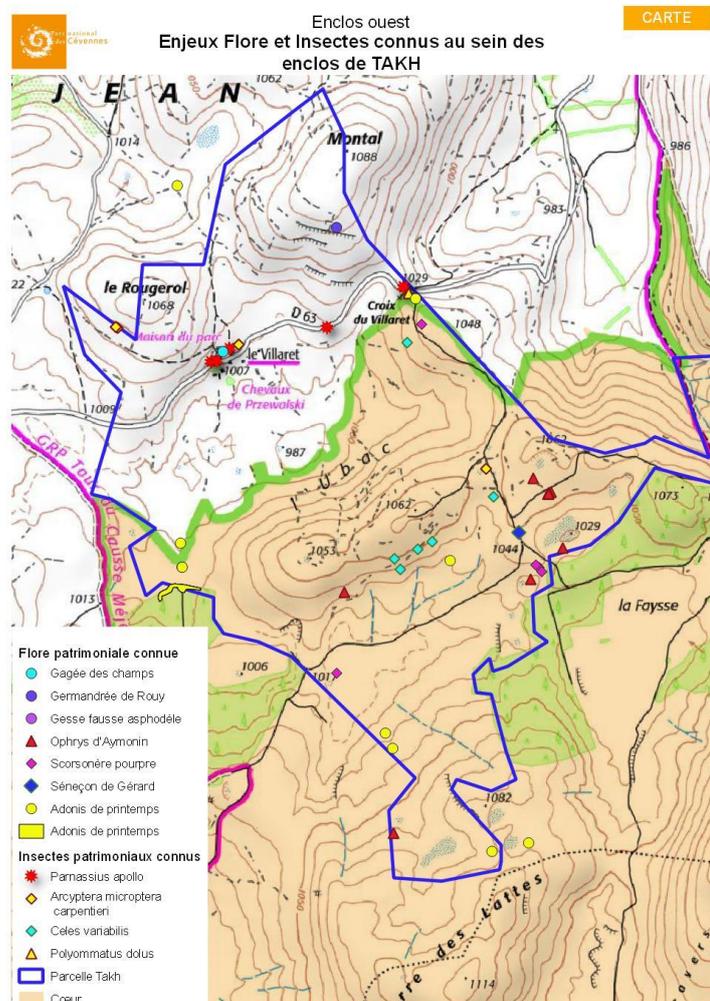
Zielke, L., Wrage-Mönnig, N., Müller, J., & Neumann, C. (2019). Implications of Spatial Habitat Diversity on Diet Selection of European Bison and Przewalski's Horses in a Rewilding Area. *Diversity*, 11(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/d11040063>

9. Annexes

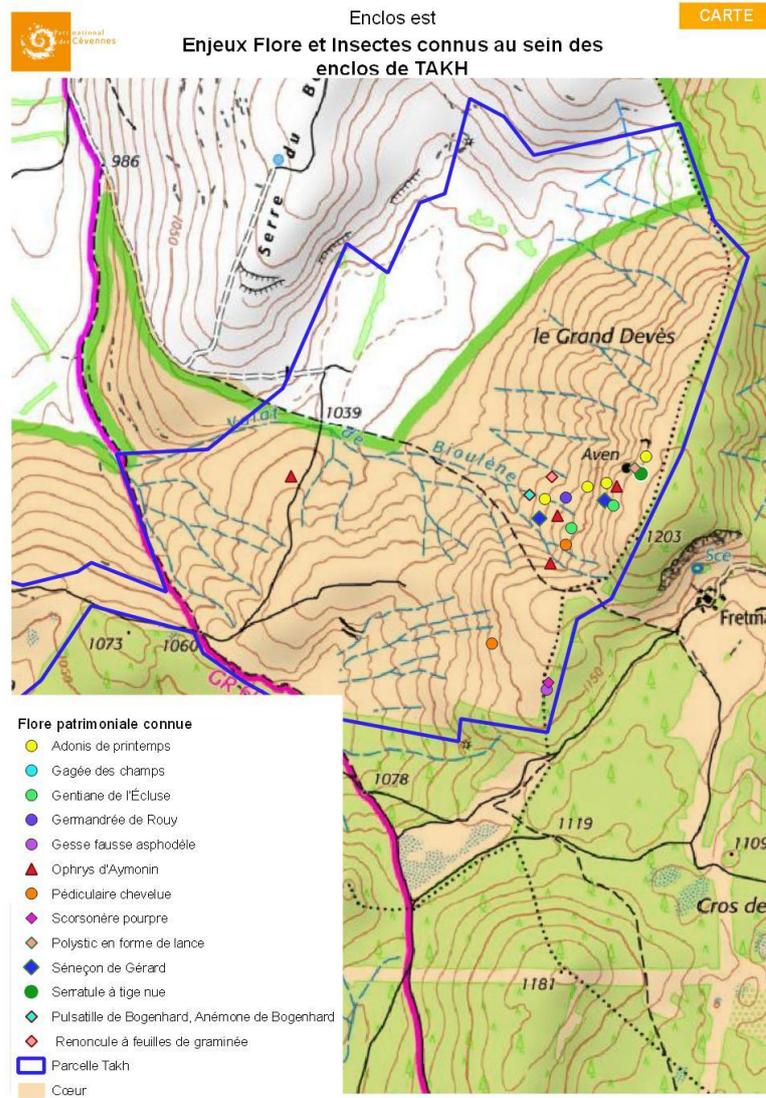
Annexe 1. Avis des gestionnaires de l'équipe Takh sur les indicateurs proposés concernant le niveau de complexité. 0 étant très simple et 5 très complexe à mettre en place.

Phénomènes à mesurer	Indicateurs	Niveau de complexité (0 à 5)
Diversité en espèces	Richesse spécifique	3-4
Espèce à enjeu conservatoire	Présence et abondance d'espèces menacées d'extinction	1-2
	Présence et abondance d'espèces protégées	1-2
Habitats protégés/d'intérêts	Présence, nombre, surface et distribution des zones/habitats à statut de protection	3
Sol	Taux de recouvrement de sol nu	2-3
	Risque d'empoisonnement	2
Qualité nutritionnelle	Équilibre monocotylédone/dicotylédone	2
	Évaluation indirecte : Composition en espèces	3-4
	Évaluation directe : Composition chimique	4
Quantité	Biomasse	1
Eau	Accessibilité, disponibilité et qualité de l'eau	1
Abris naturels	Présence d'abris naturels	2-3
Éléments paysagers	Présence d'éléments paysagers amenant des compléments à leur alimentation	3
Taille de l'habitat	Surface de l'habitat suffisant	4-5

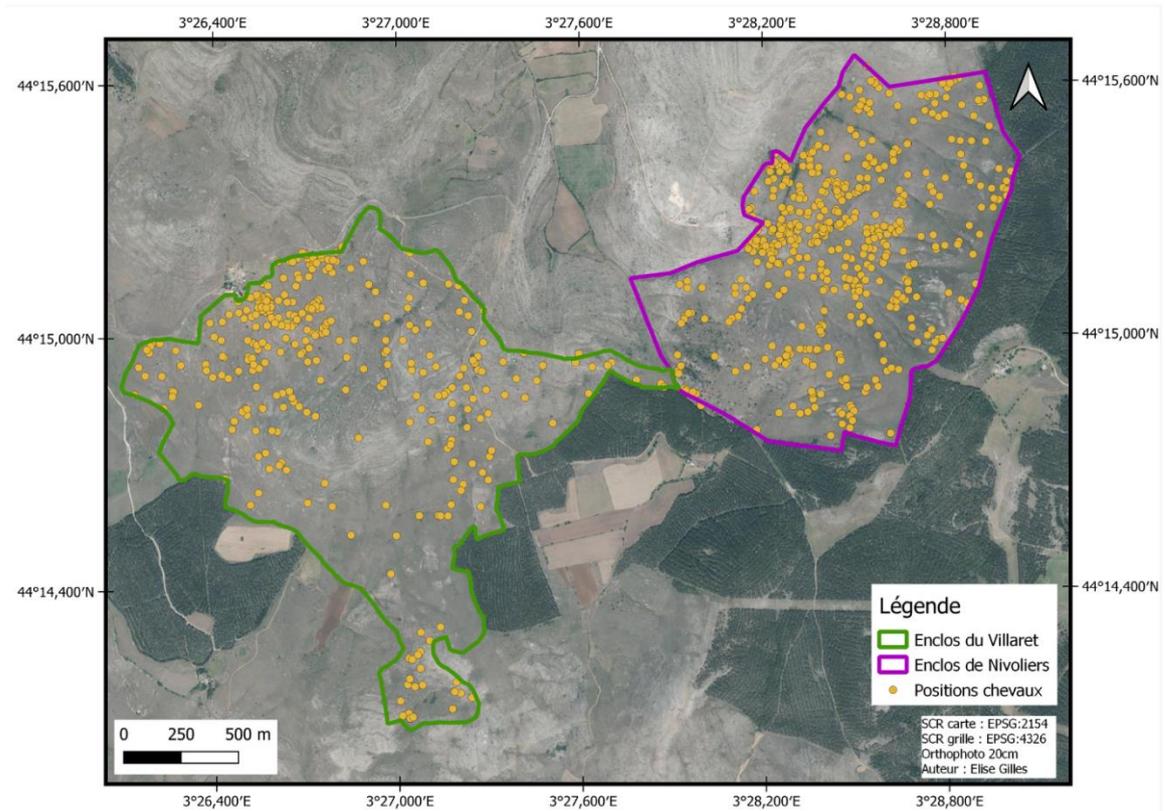
Annexe 2. Enjeux flore et insectes connus au sein de l'enclos du Villaret.



Annexe 3. Enjeux flore et insectes connus au sein de l'enclos de Niveliers.



Annexe 4. Positions des chevaux dans les enclos prises deux fois par semaine entre le 2 mai 2023 et le 27 juin 2024 ayant servi à la réalisation de la carte de chaleur.



Guide opérationnel d'évaluation de l'état de l'écosystème dans les pâtures des chevaux

1. Inventaire systématique par quadrats de 1m² (Mutillod et al., 2024b) :

- Protocole :

Inventaire floristique réalisé selon une grille systématique posée aléatoirement. Les points de la grille, couvrant chacun 1m², sont tous espacés de 200 mètres.

40 placettes à Nivoliers et 49 au Villaret.

Données récoltées dans ces placettes : les espèces présentes, leur taux de recouvrement, ainsi que les taux de recouvrement de sol nu, de dicotylédone et de monocotylédone.

Période : mai-juin 2022.

Utilisé pour les indicateurs : richesse spécifique (flore), taux de recouvrement de sol nu, risque d'empoisonnement, équilibre monocotylédone/dicotylédone et composition en espèce.

- Matériel nécessaire :

-Cadre d'1m²

-Fiches et crayon

-GPS (Marque Garmin, GPSMAP 62stc)

-Flores pour les inventaires : Bernard, C., 2009. Petite Flore portative des Causses (Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest. ed) et Tison, J.M., Jauzein, P., Michaud, H., 2014. Flore de la France méditerranéenne continentale. Naturalia publications, Turriers.

- Temps nécessaire :

10 placettes par jour, environ 9 jours

- Nom du fichier joint dans lequel retrouver les coordonnées GPS :

Coordonnées (en EPSG:4326) des placettes : « pointsflore4326.shp »

- Fiche terrain :

2. Transects :

- Protocole :

11 transects dans l'enclos du Villaret (disposés est-ouest) et 8 dans celui de Nivoliers (disposés nord-sud), tous espacés de 200 mètres.

Faune (lépidoptères) : Vitesse de marche le long du transect constante d'environ 2km/h.

Les papillons (imagos) observés dans un rayon de 5 à 10 mètres devant et à côté de l'observateur sont comptés et notés dans la clé créée au préalable.

Contraintes météorologiques : Les prises de données sont réalisées uniquement la journée entre 10h et 18h et sous des conditions spécifiques : pas de pluie, vent faible (échelle de Beaufort maximum 3, maximum 30km/h), température minimum de 14°C ensoleillé ou faiblement nuageux et de minimum 17°C s'il fait nuageux.

Des informations additionnelles sont prises pour chaque période d'observation : la date, l'heure de début et de fin, le moment de la journée (matin/soir), le temps pris pour parcourir un transect, la température, la couverture nuageuse moyenne, et la vitesse du vent.

Période : 3 au 6 juin 2024.

Flore (espèces à enjeu) : Gentiane de Coste (*Gentiana clusii*), l'Ophrys d'aymonin (*Ophrys aymoninii*) et la Scorzonère pourpre (*Scorzonera purpurea*).

Les individus sont comptés le long des transects à une distance de 10 à 15 mètres devant et à côté de l'observateur. Chaque transect a été numéroté et divisé en 4 parties égales, de sorte que les individus détectés sont notés dans un quart du transect.

Période : 6 au 11 juin 2024.

Utilisé pour les indicateurs : richesse spécifique (faune), espèces à enjeu conservatoire.

- Matériel nécessaire :

-Fiches et crayon

-GPS

-Clé de détermination pour les lépidoptères (voir dans le travail tableau 2)

- Temps nécessaire :

-Inventaire papillon :

Temps sur un transect : en moyenne 30min

3 jours nécessaires

-Inventaire plantes à enjeu :

3 jours nécessaires pour les transects

- Nom du fichier joint dans lequel retrouver les coordonnées GPS :

Fichier des transects au Villaret : « transects_villaret.shp »

Fichier des transects à Nivoliers : « transects_nivoliers.shp »

Points de début et de fin des transects au Villaret (avec les coordonnées) :
« sommets_villaret4326.shp »

Points de début et de fin des transects à Niveliers (avec les coordonnées) :
« sommets_nivoliens4326.shp »

- Fiche terrain :

Fiche lépidoptères (page suivante) :

Fiche flore :

Date	ID	Partie transect	Moment journée	<i>Ophrys aymoninii</i>	<i>Scorzonera purpurea</i>	<i>Gentiana clusii</i>
		1/4				
		1/2				
		3/4				
		4/4				
		1/4				
		1/2				
		3/4				
		4/4				
		1/4				
		1/2				
		3/4				
		4/4				
		1/4				
		1/2				
		3/4				
		4/4				
		1/4				
		1/2				
		3/4				
		4/4				
		1/4				
		1/2				
		3/4				
		4/4				
		1/4				
		1/2				
		3/4				
		4/4				
		1/4				
		1/2				
		3/4				
		4/4				

3. Inventaire aléatoire par quadrats de 50cm² :

- Protocole :

Cet échantillonnage est principalement conçu pour le point relatif à la biomasse. La zone est stratifiée selon l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) dans le but d'avoir un échantillonnage le plus représentatif du milieu.

Cinquante points dans chaque enclos, placés aléatoirement dans la strate de végétation herbacée sont soumis à l'échantillonnage, dans des placettes de 50cm² (toutes séparées de minimum 100 mètres environ). La biomasse aérienne est mesurée par la coupe de la végétation dans les 100 placettes à l'aide d'un sécateur, à 1cm du sol (distance en réalité au plus proche possible du sol car les chevaux broutent l'herbe à ras du sol) puis est pesée, séchée à l'étuve à 80° pendant 48h et ensuite pesée de nouveau.

En plus de la coupe de la végétation, plusieurs informations sont prises dans ces quadrats : La hauteur de la végétation à 5 points différents, taux de recouvrement de sol nu, de dicotylédone et de monocotylédone, nombre et taux de recouvrement des espèces toxiques.

Période : mai

Utilisé pour les indicateurs : biomasse, taux de recouvrement de sol nu, risque d'empoisonnement, équilibre monocotylédone/dicotylédone.

- Matériel nécessaire :

- Cadre de 50cm²
- Fiches et crayon
- Sachet en papier (soit 220x315mm soit 185x270mm)
- Sécateur (marque Gardena)
- Mètre rigide
- Indélébile
- GPS
- Etuves
- Balance de précision

- Temps nécessaire :

Environ 5 jours pour la récolte des échantillons

- Nom du fichier joint dans lequel retrouver les coordonnées GPS :

Placettes dans l'enclos de Nivoliers : « pointsbiomasseniv.shp »

Placettes dans l'enclos du Villaret : « pointsbiomassevill.shp »

- Fiche terrain :

4. Quadrats de 50m² :

- Protocole :

Quatre quadrats, additionnels aux transects, ont été réalisés pour inventorier *Gentiana clusii*. L'exclos présent sur le haut du Grand Devès (seul endroit connu pour abriter cette espèce), mesurant 5m², a été inventorié ainsi qu'un quadrat de 50m² englobant celui-ci. Deux autres quadrats, de 50m² également, ont été réalisés autour de deux points GPS montrant la présence de ce taxon et provenant de données extraites de GeoNature.

Période : idéalement en mai

Utilisé pour les indicateurs : espèces à enjeu conservatoire.

- Matériel nécessaire :

-Fiche et crayon

-GPS

-Mètre ruban de 50 mètres

- Temps nécessaire :

Environ 5 heures pour les quatre quadrats

- Nom du fichier joint dans lequel retrouver les coordonnées GPS :

Points avec présence de la *Gentiana clusii* : « gentiana.shp »

Fichier de l'exclos cartographié : « exclos.shp »

Quadrats de l'inventaire : « quadrats_gentianaclusii.shp »

- Fiche terrain :

Numéro quadrat	Nombre de <i>Gentiana clusii</i>