



UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER
Faculté des Sciences
Place E. Bataillon
34000 MONTPELLIER

Master 2 Gestion de l'Environnement (et Biodiversité)
Parcours Ingénierie en Ecologie et Gestion de la Biodiversité (IEGB) 2022-2023

Rapport d'étude scientifique et technique

**Identification des services écosystémiques d'intérêt et évaluation
de l'acceptabilité sociale de pratiques de compensation écologique
dans la province du Dornogobi en Mongolie**

Clara GARCIA MATOS

**CIRAD de Baillarguet
Chemin de Baillarguet
34980 MONTFERRIER-SUR-LEZ**

Stage réalisé du 1^{er} mars 2023 au 31 août 2023

Sous la direction de : Simon TAUGOURDEAU, Jean-Daniel CESARO
& Annaël BARNES

Tuteur pédagogique : Arnaud MARTIN

REMERCIEMENTS

Ce stage et ce travail n'existeraient pas sans le soutien et l'attention de nombreuses personnes. Je souhaiterais donc remercier :

- **Mr TAUGOURDEAU Simon, Mr CESARO Jean-Daniel et Mme BARNES Annaël** pour s'être portés responsables de mon stage, et pour m'avoir soutenue, intégrée et conseillée tout au long de mon expérience au sein du CIRAD. J'ai indéniablement beaucoup appris et je suis extrêmement reconnaissante de la confiance et des opportunités qui m'ont été accordées.
- **L'ensemble de l'équipe de l'unité Selmet** pour leur accueil, leur aide et leur bonne humeur. Merci pour toutes les expériences de terrain racontées : ce fut un réel plaisir de voyager avec vous à chaque pause-café.
- **Mlle MAUDIEU Nolwenn**, pour sa bonne humeur, son investissement et sa présence en tant que binôme de stage. Partir à l'autre bout du monde fut une expérience incroyable, et je suis heureuse que nous l'ayons vécue ensemble : merci pour tout.
- **Mr ZHUN Mao, Mr MAEGHT Jean-Luc et Mr NABEZA Serge**. Les deux semaines de terrain partagées avec vous ont été riches en apprentissages et en anecdotes.
- **Mme RAYOT Véronique**, responsable Environnement ORANO pour son aide dans l'organisation de la mission de terrain, son implication et ses conseils.
- **Mme TSERENDORJ Enkhee**, responsable Sécurité et Environnement ORANO en Mongolie ainsi que **l'ensemble de l'équipe de Badrakh Energy du site pilote de Zuuvch Owoo**, pour leur aide dans l'organisation de la mission de terrain et leur accueil. Un remerciement spécial à **Mr GANTULGA Enkhtulga**, « Toga », pour avoir contacté l'ensemble des participants aux entretiens et endossé le rôle de traducteur pendant de nombreuses heures, mais également de guide touristique et culturel.
- **L'ensemble des participants aux enquêtes de terrain**, qui ont accepté de répondre à mes questions et de m'expliquer leurs traditions autour d'un thé au lait maison. Vous avez mon infinie reconnaissance.
- **Mr MARTIN Arnaud**, pour avoir accepté d'être mon tuteur pédagogique de stage.
- L'ensemble des stagiaires du Cirad, en particulier **Nolwenn M., Tehila A., Thibault B. et Pavel T.** Nos débats au déjeuner basés sur des sources plus ou moins vérifiables resteront dans ma mémoire...

Enfin, à l'aube d'être diplômée après 5 années d'études supérieures, je souhaite remercier toutes les personnes ayant croisé mon chemin, durant quelques mois ou plusieurs années. Certaines ont aujourd'hui une place très particulière dans ma vie, mais toutes m'ont indéniablement permis de me construire. Enfin, j'adresse un remerciement spécial à ma mère, pour ses valeurs et son soutien infini. À toutes et tous, merci, pour tout.

AVANT-PROPOS

Premièrement, bien que la grande majorité des termes mongols rencontrés ait pu être traduite en français, certains mots de vocabulaire concernant les unités administratives découpant le territoire de la Mongolie n'ont pas trouvé d'équivalent exact. Ils ont donc été laissés tels quels au sein du présent rapport :

- *Aïmag* : plus grande unité administrative de la Mongolie, équivalent aux provinces
- *Soum* : unité administrative mongole inférieure à l'aïmag, équivalent aux districts
- *Bagh* : subdivision du soum et plus petite unité administrative

Deuxièmement, pour des raisons de facilité de lecture et d'allègement du document, l'écriture inclusive n'a pas été adoptée dans le présent rapport. Le lecteur est néanmoins encouragé à garder en tête que la présente étude a été menée auprès d'hommes et de femmes. Elle a été réalisée dans un esprit d'équité et d'inclusivité, autant d'importance étant donnée à la parole et à la rencontre de l'ensemble des participants, quel que soit leur genre, leur origine ethnique, leur religion ou leur point de vue.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	3
AVANT-PROPOS	5
<i>SOMMAIRE</i>	7
<i>INTRODUCTION</i>	1
1. Contexte et définition du processus de compensation écologique	1
2. Définition et intérêt des services écosystémiques	3
3. Le désert de Gobi : contexte et problématiques	7
4. Contexte du stage, thématique et hypothèses	9
<i>MATERIEL & METHODES</i>	13
1. Site d'étude	13
2. Identification et sélection des catégories de parties prenantes et des participants aux enquêtes.....	13
3. Déroulement des entretiens	15
4. Enquête 1 : Identification des services écosystémiques à intégrer dans le processus de compensation écologique	15
5. Enquête 2 : Etude de l'acceptabilité sociale de pratiques de compensation.....	17
6. Analyse des données.....	19
<i>RÉSULTATS</i>	25
1. Analyse des services écosystémiques identifiés	25
2. Acceptabilité des pratiques de compensation proposées	29
<i>DISCUSSION</i>	31
1. Rappel du projet, hypothèses et objectifs	33
2. Critique de la méthode.....	33
3. Mieux comprendre les perceptions des services écosystémiques en prenant en compte les pratiques indigènes et le contexte de changement climatique	35
4. Nature des services écosystémiques impactés par les projets miniers	39
5. Développer un projet de compensation « écologiquement intéressant et socialement désirable »	41
<i>CONCLUSION</i>	45
BIBLIOGRAPHIE	47
ANNEXES	52
RÉSUMÉ	60

INTRODUCTION

1. Contexte et définition du processus de compensation écologique

Les activités humaines sont considérées comme la première source de changements globaux, définis par l'altération des paramètres biologiques, physico-chimiques et atmosphériques présents sur Terre (Steffen *et al.*, 2007). Les pressions exercées par les activités humaines sur les écosystèmes terrestres et marins sont l'une des principales causes de l'érosion de la biodiversité, à l'origine de ce qui est aujourd'hui considéré comme la sixième crise d'extinction de la biodiversité (IPBES, 2019). L'érosion de la biodiversité se traduit par un déclin généralisé de la diversité spécifique et des effectifs au sein des espèces impactant le fonctionnement des écosystèmes (Bigard, 2018 ; MEA, 2005 ; Pagett, 2018). La dégradation des terres, la fragmentation et la perte d'habitats suite à l'artificialisation des terres et à la surexploitation des ressources naturelles font parties des facteurs principaux à l'origine de cette érosion généralisée (Hughes *et al.*, 1997 ; Maxwell *et al.*, 2016 ; MEA, 2005). Les changements globaux en cours et l'érosion de la biodiversité impactent également les populations humaines. Les gouvernements doivent donc trouver des approches permettant d'assurer des conditions socio-économiques viables au sein de leur pays, tout en inversant la tendance actuelle de diminution de la biodiversité et des ressources naturelles (UNEP, 2004). À l'international les projets d'aménagement du territoire (infrastructures routières, habitations, mines, ...) ont ainsi été progressivement soumis à l'obligation de mener une Etude d'Impact Environnemental (EIE) lors de la phase de conception du projet (Regnery, 2013). L'EIE est définie par le Programme pour l'Environnement des Nations-Unies comme un outil permettant d'évaluer l'impact d'un projet sur l'environnement (UNEP, 2004). Bien que la composition détaillée de l'EIE varie selon les pays, toutes les études intègrent une hiérarchie d'atténuation des impacts sur l'environnement : la séquence ERC, pour Eviter – Réduire – Compenser (Figure 3). Les principales étapes de la séquence sont définies comme suit (UNEP, 2004) :

- 1- **Évitement** : mesures prises pour supprimer complètement les impacts sur certaines zones et ce dès le début du projet.
- 2- **Réduction** : mesures prises pour réduire la durée, l'intensité et/ou l'étendue des impacts (directs, indirects, cumulatifs) qui ne peuvent être totalement évités, dans la mesure où cela est réalisable en pratique.
- 3- **Compensation** : mesures prises pour compenser tout impact résiduel significatif et négatif qui ne peut être évité ou réduit, afin de parvenir à une absence de perte nette ou à un gain net de biodiversité. Les compensations peuvent prendre la forme

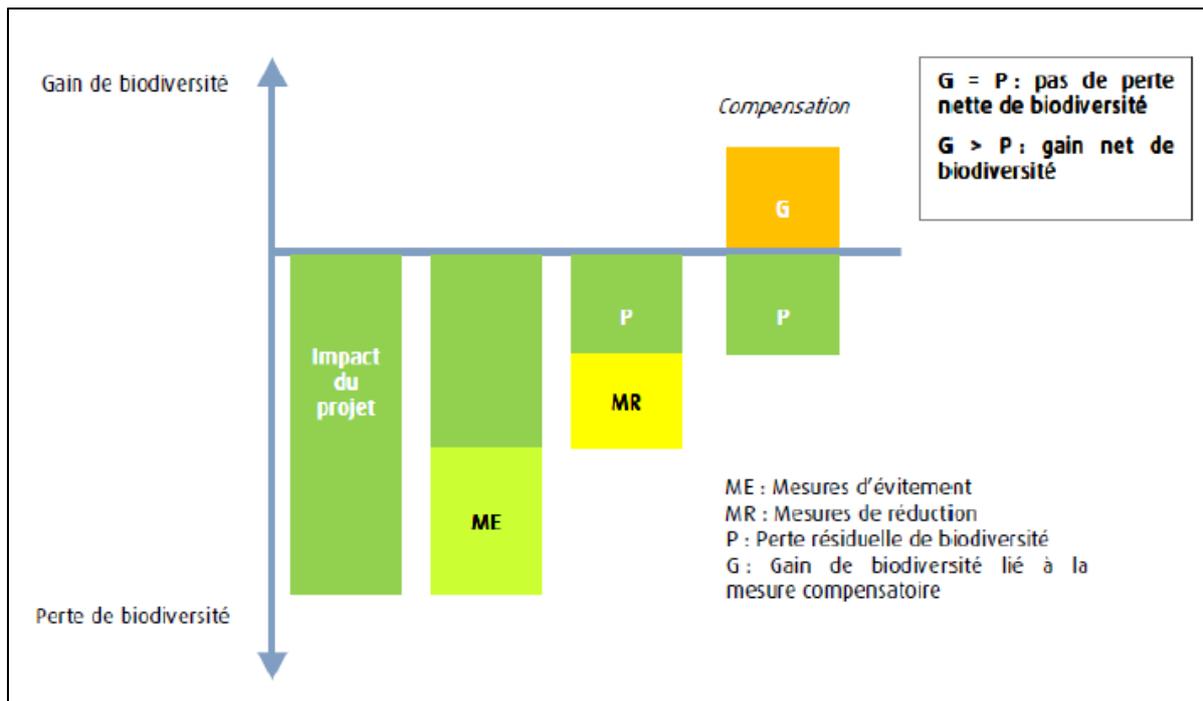


Figure 3 : Principe de la séquence ERC visant à atteindre le No Net Loss (NNL) ou le gain net de biodiversité (Richard, 2019)

d'interventions de gestion telles que la restauration d'habitats dégradés, l'arrêt de la dégradation, ou la protection des zones où une perte de biodiversité est imminente ou prévue. Ces interventions n'ont pas forcément lieu sur le site même impacté par le projet : selon le type de compensation mis en place, les actions peuvent être menées sur des sites éloignés et/ou ne présentant pas forcément les mêmes composantes de l'écosystème.

Au sein de la séquence ERC, la compensation écologique est identifiée comme l'un des principaux leviers permettant de pallier la perte de biodiversité à la suite d'un projet d'aménagement (Bigard, 2018). Le programme BBOP (*Business and Biodiversity Offsets Programme*) lancé par l'Organisation Non Gouvernementale Forest Trends en 2004 se base sur une collaboration internationale ayant pour but d'aider les entreprises à évaluer les mesures compensatoires à mettre en place au sein de leurs projets. Le BBOP a introduit des standards mondiaux pour la prise en compte des impacts sur l'environnement des projets d'aménagement et leur compensation écologique. (BBOP, 2012 ; Bigard, 2018). La phase de compensation est basée sur 10 principes, dont la notion de *Not Net Loss* (NNL) qui se traduit par l'absence de perte nette de biodiversité à l'issue d'un projet. Plus récemment est même apparu le souhait de développer des projets entraînant un gain net de biodiversité (Figure 3) (Bigard, 2018 ; Droste *et al.*, 2022). De plus en plus utilisée au sein des politiques environnementales, la compensation écologique s'apparente aujourd'hui à un moyen de réconcilier développement économique et conservation de la biodiversité. Cependant, alors même que la prise en compte des aspects sociaux et culturels au sein des mesures de compensation est un principe international du BBOP, plusieurs études ont fait ressortir un manque de considération de ces aspects au sein des projets mis en place (Bidaud *et al.*, 2016 ; Jacob *et al.*, 2016 ; Tupala *et al.*, 2022). Cette lacune se traduit notamment par l'absence d'intégration des services écosystémiques dans les projets de compensation développés.

2. Définition et intérêt des services écosystémiques

Les services écosystémiques sont définis comme les bénéfices que les humains retirent directement ou indirectement des différentes fonctions supportées par les écosystèmes (Costanza *et al.*, 1997 ; Jacob *et al.*, 2016). Après avoir émergé à la fin des années 1970, la notion de services écosystémiques a officiellement été introduite par le *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA) en 2005, mis en place pour répondre aux besoins des décideurs politiques de posséder une base scientifique pour améliorer la conservation et l'utilisation durable des écosystèmes (Jacob *et al.*, 2016). En 2013, afin de mesurer, comptabiliser et évaluer les biens

et services rendus par les écosystèmes, une Classification Commune Internationale des Services Écosystémiques (*Common International Classification of Ecosystem Services - CICES*) a été développée. De plus en plus utilisée, elle s'attache à mettre en évidence les caractéristiques et processus des écosystèmes pouvant profiter au bien-être humain en identifiant les utilisations que les personnes font des différents services écosystémiques. Sous forme de structure hiérarchique, la CICES comporte 6 sections de services écosystémiques (Tableau 1) et 4 sous-niveaux de classification (Figure 4) (CICES, 2017).

La prise en compte des services écosystémiques au sein des politiques mondiales et régionales de protection de l'environnement semble aujourd'hui généralisée, tout comme leur intégration dans les politiques d'aménagement du territoire et de restauration de l'environnement (Comin, 2020 ; Tugjamba & Walkerden, 2021). De nombreux exemples de cette démarche existe en France et à l'international dans une diversité d'écosystèmes (Lara *et al.*, 2020 ; Morandini & Kremen, 2013). Cependant, l'intégration des services écosystémiques au sein des projets de compensation écologique fait encore défaut : les actions mises en place dans le cadre de ces projets sont principalement dédiées à compenser les impacts sur la biodiversité, sans prendre en compte ceux affectant la dimension socio-culturelle de l'écosystème détérioré (Jacob *et al.*, 2016). De plus, le lieu choisi pour la mise en place des actions de compensation écologique n'assure pas toujours les mêmes services écosystémiques que ceux précédemment présents à l'endroit impacté (Bergès *et al.*, 2020 ; Jacob *et al.*, 2016). Il apparaît donc aujourd'hui nécessaire d'inscrire les projets de compensation dans une démarche globale prenant en compte à la fois la dimension écologique mais également sociale des écosystèmes, et d'adapter les projets mis en place au contexte local. Il a été montré qu'une telle démarche passe notamment par l'intégration des populations locales aux projets de compensation écologique (Byambaa & de Vries, 2020 ; Liu *et al.*, 2014 ; Tupala *et al.*, 2022). Cette intégration est d'autant plus primordiale dans les zones où les populations sont fortement dépendantes des ressources naturelles telles que les zones arides.

Les zones arides, ou déserts, sont des zones présentant un index d'aridité inférieur à 0.65 (UNEP, 1992) et constituent 78% des pâturages du monde entier (ILRI, 2021). Les déserts fournissent de nombreux services écosystémiques, notamment d'approvisionnement : ils sont habités dans le monde par environ 1 milliard d'éleveurs dépendant des pâturages comme source de revenus et de nourriture via leurs troupeaux (United Nations, 2021). Les déserts procurent également des services de régulation et de maintenance (stockage du carbone, fertilité du sol, ...) ainsi que des services culturels (tourisme, spiritualité, ...) (Maestre *et al.*, 2022 ; Tugjamba

Tableau 1 : Les 6 sections de services écosystémiques définis par la classification CICES (CICES, 2017)

Section de service	Définition	Exemples
Approvisionnement (biotique)	Produits issus de l'écosystème	<i>Viande par les animaux d'élevage</i>
Approvisionnement (abiotique)		<i>Eau puisée dans les sources souterraines</i>
Régulation et maintenance (biotique)	Régulation des processus indispensables au bon fonctionnement des écosystèmes et services indispensables aux autres services écosystémiques	<i>Contrôle de l'érosion des sols par les plantes</i>
Régulation et maintenance (abiotique)		<i>Protection contre le vent par les montagnes</i>
Culturel (biotique)	Bénéfices immatériels issus des écosystèmes	<i>Esthétique d'un paysage</i>
Culturel (abiotique)		<i>Rocher sacré</i>

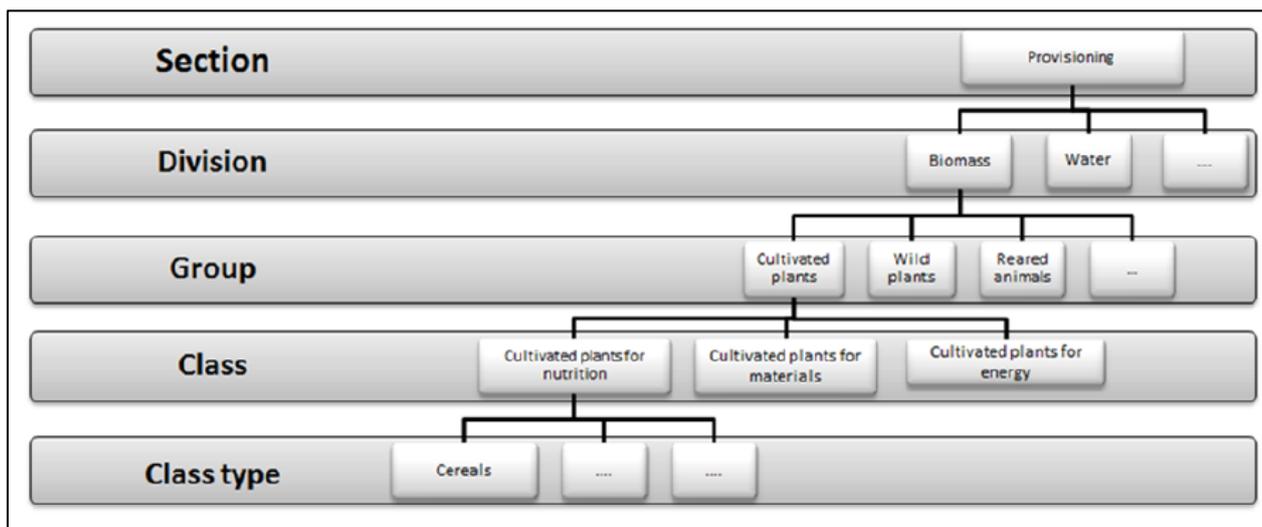


Figure 4 : Schéma de l'organisation des différents niveaux de la classification CICES, avec en exemple la section Approvisionnement (*Provisionning*) (CICES, 2017)

& Walkerden, 2021). Ces services varient en fonction des caractéristiques géographiques, géologiques et écologiques des déserts.

3. Le désert de Gobi : contexte et problématiques

D'une surface de 1 300 000 km², le désert de Gobi est le plus grand désert d'Asie et le cinquième plus grand désert au monde. Situé en Asie centrale, entre le sud de la Mongolie et le nord de la Chine, il occupe près d'un tiers de la surface totale du territoire mongol (Heiner *et al.*, 2019 ; McCarthy *et al.*, 2022) (Figure 5). Le climat du désert de Gobi est sec et semi-aride. C'est un désert froid, dont les températures peuvent varier de -30°C en hiver à +38°C en été. La température annuelle moyenne y est de 4.3°C (McCarthy *et al.*, 2022 ; Pfeiffer *et al.*, 2003). Les précipitations annuelles moyennes sont inférieures à 40 mm dans certaines zones arides et dépassent les 200 mm dans la zone des montagnes de l'Altaï. Le désert de Gobi possède une importante diversité de paysages. Au total, 15 écosystèmes terrestres ont été inventoriés dans l'ensemble du désert (Heiner *et al.*, 2015). La végétation, bien qu'éparse, présente de nombreuses espèces rares et endémiques adaptées à la sécheresse (Magsar *et al.*, 2018). De par la très faible présence humaine (0.44 habitant/km²), le désert de Gobi est considéré comme un important refuge pour la faune sauvage (McCarthy *et al.*, 2022 ; Walton, 2010).

Au sein du désert de Gobi, l'une des principales ressources économiques est l'élevage, caractérisée par un nombre important de troupeaux et la présence encore marquée du pastoralisme nomade. L'élevage s'inscrit comme une pratique centrale pour la subsistance de plus de 35% de la population du désert de Gobi. Les pratiques d'élevage sont basées sur ce qui est appelé « les cinq museaux d'animaux » : chevaux, chameaux, vaches, moutons et chèvres. Elles sont régies par des mouvements saisonniers entre les campements dits « d'hiver » et ceux « d'été » (Upton, 2012). La pérennité de ces pratiques est fortement dépendante du maintien de certains services d'approvisionnement, en particulier de la quantité et de la qualité des plantes sauvages servant de nourriture aux animaux ainsi que de la disponibilité de la ressource en eau (Tugjamba & Walkerden, 2021). Une autre ressource économique d'importance est liée à l'exploitation minière. Le plateau mongol est en effet la plus grande région minière de charbon au monde, à l'origine de plus de 13% de la production de charbon globale (Ma *et al.*, 2021). Des mines d'extraction d'or, de fluor et d'uranium se développent également. En 2019, 24% de la surface du désert de Gobi était concernée par un projet d'extraction ou d'exploration minière (Heiner *et al.*, 2019). L'augmentation des exploitations minières entraîne de multiples impacts sur l'environnement et la perte de nombreux services écosystémiques en raison des

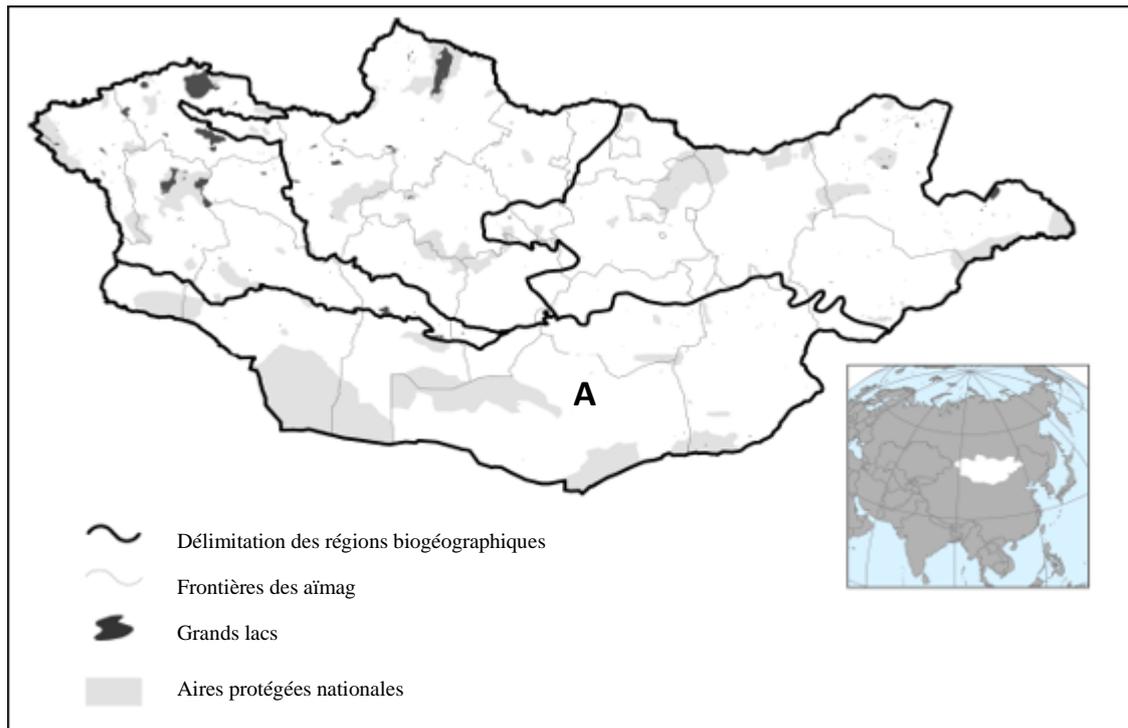


Figure 5 : Les 4 grandes régions biogéographiques de la Mongolie, divisées en différents aïmag. Le désert de Gobi correspond à la région A. (D'après Heiner *et al.*, 2019)

changements d'occupation des sols, de la diminution des pâturages, de la déforestation, ou encore de la pollution de l'eau et de l'air (Liu *et al.*, 2014 ; Ma *et al.*, 2021 ; Xiang *et al.*, 2021).

En Mongolie, les exploitations minières ont comme obligation de mettre en place une EIE pour chaque projet développé en suivant les règles établies par la loi mongole. *The Law on environmental impact assessment* positionne ainsi l'EIE comme un outil d'évaluation et de gestion des impacts des projets sur l'environnement (Parlement de Mongolie, 2012). L'EIE mongole est divisée en deux études distinctes : *The general environmental impact assessment* et *The detailed environmental impact assessment*. La première étude est constituée d'une description générale du projet, d'une étude de faisabilité et de la description de l'état initial de l'environnement. La seconde étude comporte les données de l'état initial de l'environnement ainsi que les étapes de la séquence ERC. Cependant, en pratique, les actions menées d'évitement et de réduction ne sont pas prises en compte lors de la réalisation de l'étape de compensation, voire parfois même omises (Byambaa & de Vries, 2020 ; Heiner *et al.*, 2019). Le plus souvent, la compensation se traduit par la mise en œuvre de mesures de conservation de la biodiversité dans d'autres zones afin de compenser la perte d'habitats engendrée par l'implantation du projet (Parlement de Mongolie, 2012 ; United Nation Development Program, 2012). Mais, si ces mesures peuvent permettre d'atteindre l'objectif de NNL concernant la biodiversité, elles ne s'avèrent que peu ou pas efficaces pour la préservation des services écosystémiques. Au sein du désert de Gobi, cela s'explique par l'absence de prise en compte de l'échelle paysagère, de la dimension sociale et du contexte local, notamment la présence d'éleveurs semi-nomades fortement dépendants des ressources fournies par les écosystèmes (Byambaa & de Vries, 2020 ; Heiner, 2019).

4. Contexte du stage, thématique et hypothèses

Pour répondre à cette problématique, un projet de thèse « Accompagner la compensation écologique d'implantations minières dans les zones arides d'Asie centrale : une approche en termes de services écosystémiques » a été monté au sein de l'UMR Selmets du Cirad de Montpellier. Ce projet est réalisé à la demande de l'entreprise française de nucléaire Orano qui possède plusieurs licences d'exploitation minière en Asie centrale. Une de ces licences fait l'objet d'un projet de mine d'uranium dans le désert de Gobi géré par Badrakh Energy, une coentreprise entre Orano et une entreprise d'état mongole. Le projet minier est implanté sur le site de Zuuvch Ovoo au sein de l'aïmag du Dornogobi, au sud-est du désert de Gobi. Le projet de thèse s'inscrit à la suite d'un stage mené en 2019 sur l'étude préliminaire du dispositif de compensation écologique développé pour le projet pilote de Zuuvch Ovoo (Barnes, 2019). Dans

le cadre de la thèse, une première étude de terrain a été menée en 2022 au Kazakhstan sur une autre exploitation minière également détenue en partie par Orano (Barnes, 2023). Cette étude a eu pour but d'identifier les services écosystémiques d'intérêt perçus par les populations locales et d'évaluer l'acceptabilité sociale de pratiques de compensation écologique. En 2023, une seconde étude de terrain a été organisée sur le site pilote de Zuuvch Ovoo en Mongolie, avec comme objectif de reconduire la méthodologie mise en place au Kazakhstan : c'est dans ce cadre que s'inscrit mon stage.

L'hypothèse générale posée est que le développement de pratiques de compensation bien acceptées par les populations locales d'une part et intégrant les services écosystémiques d'autre part nécessite de passer par le dire d'acteurs. Une première série d'entretiens semi-directifs a donc été réalisée pour identifier les services écosystémiques d'intérêt perçus par les populations locales. Deux hypothèses ont été formulées : 1- au vu de la diversité de paysages au sein du désert de Gobi, les différentes unités paysagères présentes autour du site pilote d'exploitation minière sont à l'origine de la production de différents services écosystémiques ; 2- en raison de la multiplicité d'acteurs présents dans la zone étudiée, la nature des services écosystémiques identifiés varie selon la catégorie de partie prenante rencontrée. Par la suite, une seconde série d'entretiens semi-directifs a été mise en place afin de questionner l'acceptabilité par les populations de propositions de pratiques de compensation. Cette seconde série est basée sur les hypothèses suivantes : 1- les services écosystémiques attendus des projets de compensation sont semblables aux services potentiellement impactés par la mine ; 2- en raison de la place cruciale de l'élevage et du manque d'eau au sein du désert de Gobi, les modalités liées à l'élevage et aux pâturages sont bien accueillies au contraire de celles pouvant restreindre l'accès aux pâturages ou entraîner une importante consommation d'eau. Les résultats attendus vont vers une acceptation des hypothèses posées pour chaque série d'entretiens, avec l'identification de pratiques de compensation bien acceptées intégrant les services écosystémiques d'intérêt de la zone d'étude. Les conclusions tirées de ces résultats pourront permettre d'enrichir la méthodologie développée pour l'identification des services écosystémiques d'intérêt et leur intégration dans les projets de compensation écologique au sein des zones arides d'Asie centrale.

MATERIEL & METHODES

1. Site d'étude

Le projet minier de Zuuvch Ovoo est implanté au sein du soum d'Ulaanbadrakh (44.34435362621221, 110.50786243247906) dans l'aïmag du Dornogobi situé au sud-est du désert de Gobi, en Mongolie. La ville d'Ulaanbadrakh est située à 127 km au sud-ouest de Sainshand, capitale de l'aïmag du Dornogobi. Le territoire du soum s'étale sur un total de 1 371 hectares (Figure 6). Le soum d'Ulaanbadrakh est habité par 1 482 personnes, dont 547 éleveurs traditionnels (Environ LCC, 2015).

La zone de réalisation de l'étude s'étale dans un périmètre de 50 km autour du site minier de Zuuvch Ovoo. Elle présente 5 types d'écosystèmes terrestres majoritaires : des dunes de sable, des zones humides, des steppes désertiques, des zones de végétation arbustive et enfin quelques zones de montagnes (Figure 7) (Heiner *et al.*, 2015). L'activité économique principale est l'élevage, avec la présence de plusieurs éleveurs semi-nomades répartis dans la zone d'étude. Le projet minier de Zuuvch Ovoo joue également un rôle important dans la zone d'étude et aux alentours en générant des emplois, en finançant des services (écoles, centres culturels, ...) et en façonnant le territoire (axes routiers).

2. Identification et sélection des catégories de parties prenantes et des participants aux enquêtes

Le croisement des tableaux des parties prenantes établis par Orano d'une part (AREVA Mongol, 2015) et par le bureau d'étude responsable de l'Etude d'Impact Environnemental (Environ LCC, 2015) d'autre part a permis d'identifier 4 catégories de parties prenantes à interroger. Ces catégories ont été choisies dans le but d'avoir une vision globale des principaux enjeux de la zone d'étude. Le nombre de participants interrogés par catégorie a été défini à partir de la méthodologie appliquée lors du terrain au Kazakhstan et d'autres méthodologies d'enquêtes similaires issues de la bibliographie (Barnes, 2023 ; Murali *et al.*, 2020 ; Tugjamba *et al.*, 2021 ; Tugjamba & Walkerden, 2021). Le nombre de participants interrogés est spécifié pour chaque attribut (genre, classe d'âge, catégorie de partie prenante) dans le Tableau 2. La prise de contact avec les participants et l'organisation logistique des entretiens sur le terrain a été réalisée par le responsable sociétal mongol du projet minier. Les participants rencontrés au sein de chaque catégorie sont issus d'un échantillonnage aléatoire, à l'exception des éleveurs de la zone d'étude qui ont tous été rencontrés en raison de l'importance du pastoralisme dans la zone et de la sensibilité de cette pratique aux impacts du projet minier.

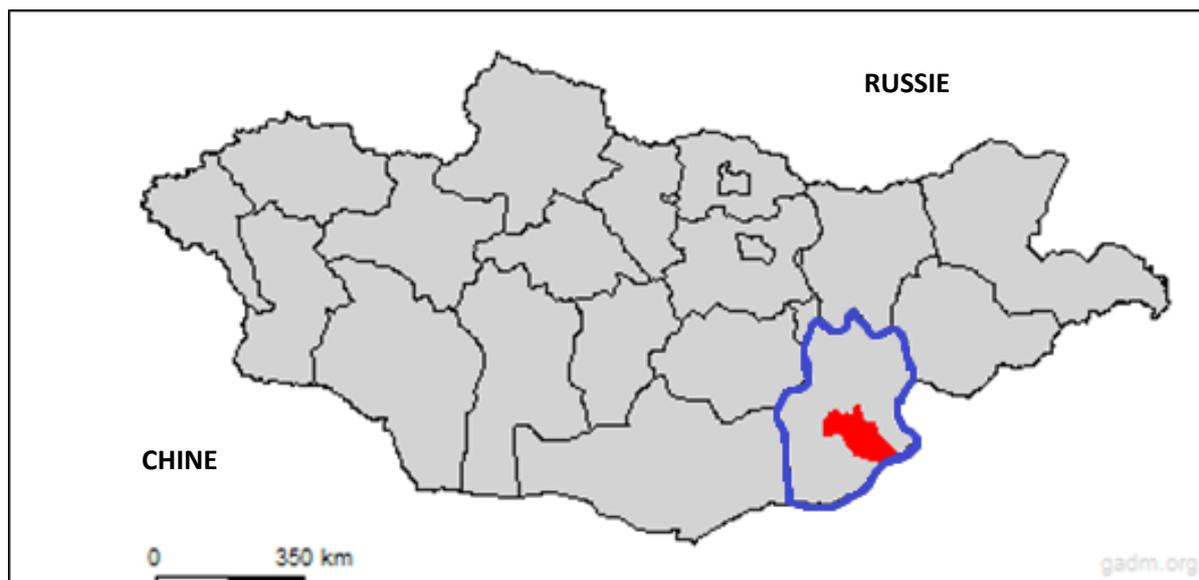


Figure 6 : Carte de l'emplacement du soum d'Ulaanbadrakh (coloré en rouge) au sein de l'aimag du Dornogobi (délimité en bleu), en Mongolie (D'après GADM, 2018)

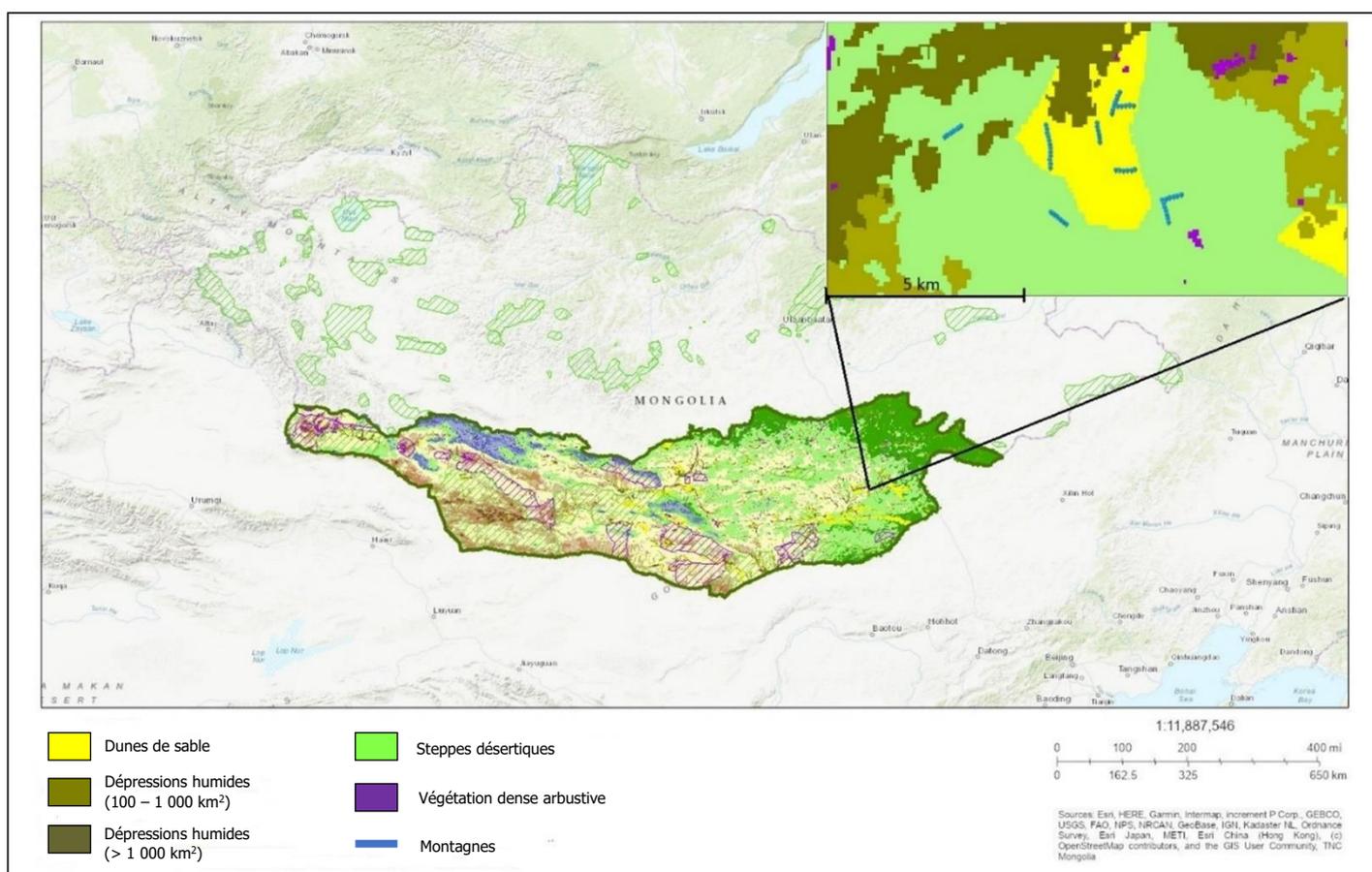


Figure 7 : Carte des écosystèmes du désert de Gobi avec zoom sur la zone d'étude. La légende correspond aux éléments présents sur le zoom. ©N. Maudieu & C. Garcia Matos, 2023 (D'après Heiner *et al.*, 2015)

3. Déroulement des entretiens

La première série d'entretiens (Enquête 1) a été menée sur le site d'étude du 03/05/2023 au 14/05/2023. 28 entretiens ont été réalisés. La seconde série d'entretiens (Enquête 2) a été menée du 28/05/2023 au 11/06/2023. 26 entretiens ont été réalisés, 2 participants de l'Enquête 1 ne souhaitant pas s'exprimer lors de la seconde enquête. Au total 54 entretiens ont donc été menés, soit une soixantaine d'heures d'interviews.

Les modalités de réalisation de chacune des enquêtes sont les suivantes : entre 3 et 4 entretiens ont été en moyenne programmés chaque jour afin de prendre en compte le temps sur place et le temps de route entre deux lieux d'entretien ; un entretien dure entre 35 minutes et 1h30 ; il mobilise au minimum 3 personnes (1 participant, 1 traducteur et moi-même) ; l'entretien est enregistré avec l'accord oral du participant. Les participants rencontrés sont les mêmes entre les deux enquêtes. Les entretiens sont réalisés sur le lieu de travail des participants : campement de printemps pour les éleveurs semi-nomades, base vie de Dulaan Uul et site minier de Zuuvch Ovoo pour les employés du projet minier, villes d'Ulaanbadrakh et de Dzüünbayan pour les autorités locales et les professionnels de la santé et du social (Figure 8).

4. Enquête 1 : Identification des services écosystémiques à intégrer dans le processus de compensation écologique

4.1. Approche bibliographique

Avant le terrain d'étude, une recherche bibliographique basée sur des études menées dans différentes zones arides de Mongolie a permis de réaliser une identification globale des services écosystémiques fournis par ces zones et de construire une liste théorique des services écosystémiques d'intérêt présents dans la zone d'étude.

4.2. Entretiens semi-directifs de terrain

Pour identifier les services écosystémiques d'intérêt propres à la zone d'étude, un guide d'entretien a été construit à partir de la liste théorique de services écosystémiques préalablement établie et du guide d'entretien utilisé lors du terrain au Kazakhstan en 2022. Le guide d'entretien est composé de 2 parties :

- 1- Approche cartographique.** Cette approche a pour but d'identifier au sein de la zone d'étude les unités paysagères, des zones géographiques homogènes et délimitées présentant des caractéristiques écologiques similaires (Zonneveld, 1989), et les éléments paysagers, ici définis comme des composantes biotiques ou abiotiques du

Tableau 2 : Nombre de participants enquêtés par attribut. Les attributs sont le genre, la classe d'âge et la catégorie de partie prenante. Seuls les participants ayant pris part aux deux enquêtes (N=26) sont comptabilisés.

Attribut		Nombre d'enquêtés
Genre		
Homme		11
Femme		15
Classe d'âge		
[20-30[ans		3
[30-40[ans		9
[40-50[ans		6
[50-60[ans		5
[60-70] ans		3
Catégorie de partie prenante		
Autorités locales	Gouverneurs du soum d'Ulaanbadrakh et gouverneurs de 2 des 4 bagh du soum	3
Éleveurs	Femmes et hommes semi-nomades possédant des troupeaux de bétail et en tirant leur subsistance	13
Professionnels du secteur santé/social	Directeurs des centres culturels d'Ulaanbadrakh et Dzüünbayan, responsable de l'école d'Ulaanbadrakh, psychologue de l'école de Dzüünbayan, infirmière de l'hôpital d'Ulaanbadrakh	5
Employés de la mine	Personnes travaillant sur le site du projet minier ou sur la base vie de Duulan Uul (techniciens, cuisinières, femmes de ménage)	5

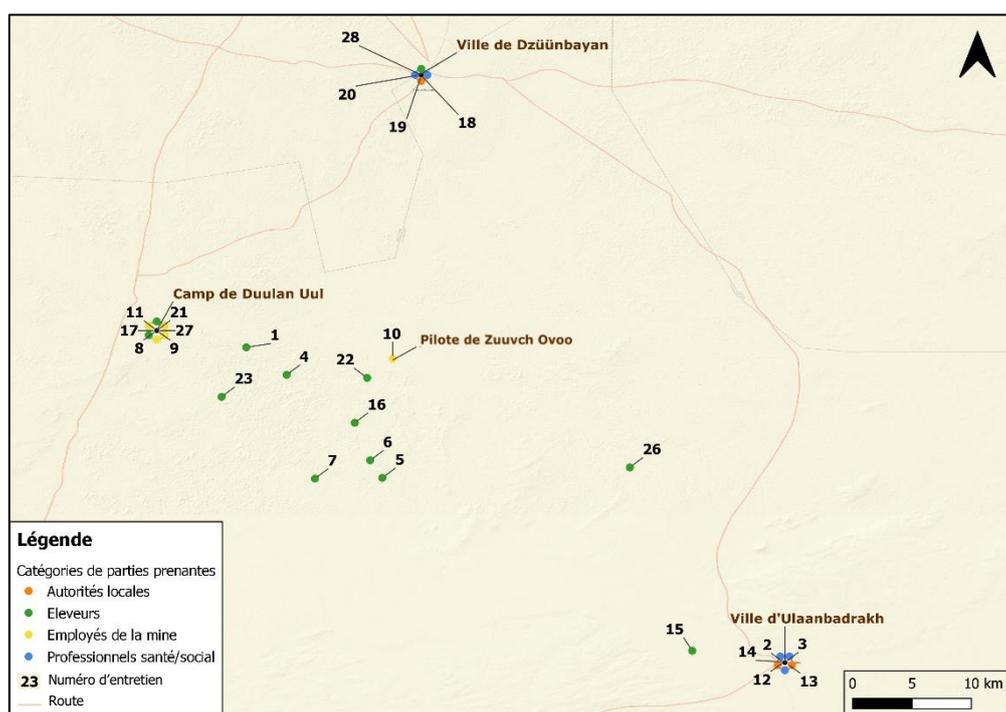


Figure 8 : Cartographie des lieux d'entretiens au sein de la zone d'étude
©C. Garcia Matos, 2023

paysage perçues comme fournissant des services écosystémiques. L'identification des éléments paysagers a pour but de rechercher une différence de vision de la composition de l'espace entre les participants. Pour chaque entretien, une cartographie sur feuille blanche de la perception de l'environnement par le participant est réalisée selon un axe Nord-Sud-Est-Ouest. Il est proposé au participant de premièrement positionner les éléments ayant une importance principale pour lui, puis de compléter la cartographie au fil de l'entretien.

- 2- Questionnaire semi-directif.** Le questionnaire a pour but de confirmer ou infirmer l'intérêt des participants pour les services écosystémiques identifiés au sein de la liste théorique, et d'identifier d'autres services. Les questions visent à discuter des pratiques des participants mobilisant les ressources naturelles et à les interroger sur leur connaissance de ces ressources (espèces, saisonnalité, ...). Les réponses sont intégrées dans un formulaire d'enquête en ligne rempli sur le terrain via l'application KoboCollect (KoBoToolbox, 2023). Une prise de notes manuelle est réalisée en complément.

4.3. Identification post-entretiens

Pour identifier les unités paysagères et les services écosystémiques mentionnés sur les cartographies, les légendes et les typographies de chaque cartographie sont uniformisées. À partir des réponses au questionnaire semi-directif, l'intérêt des services écosystémiques de la liste théorique est validé ou infirmé, et des services supplémentaires sont identifiés. L'ensemble des services sont nommés selon la nomenclature CICES version 5.1 (CICES, 2017) en allant jusqu'au niveau « Classe ». Seuls les services mentionnés par au minimum 10% des participants sont retenus pour les analyses (Barnes *et al.*, 2023).

5. Enquête 2 : Etude de l'acceptabilité sociale de pratiques de compensation

5.1. Sélection des pratiques de compensation proposées

La sélection des pratiques de compensation est réalisée sur la base des services écosystémiques identifiés via l'Enquête 1. L'hypothèse posée est que ces services écosystémiques sont similaires à ceux identifiés lors du terrain au Kazakhstan en 2022 (Barnes *et al.*, 2023). Les mêmes pratiques de compensation que celles proposées au Kazakhstan sont donc soumises aux participants dans le but de pouvoir par la suite comparer les données d'acceptabilité entre les deux sites d'étude. Seule la pratique « Installation de points d'eau » est modifiée en raison des risques sanitaires dus à la mauvaise qualité naturelle de l'eau souterraine de la zone d'étude en Mongolie. Elle est remplacée par une pratique visant la protection des

Tableau 3 : Liste, définition et services écosystémiques potentiellement fournis par les pratiques de compensation proposées lors de l'Enquête 2

Pratique de compensation	Définition	Services écosystémiques potentiellement fournis
Plantation d'arbres et/ou d'arbustes à l'intérieur des villes	Plantation d'espèces ligneuses arborées telles que des arbres fruitiers, ornementaux ou des espèces naturellement présentes au sein des villes d'Ulaanbadrakh et de Dzüünbayan	Production de fruits, utilisation du bois mort comme source d'énergie, protection contre le vent et les poussières, contrôle de l'érosion, amélioration de la qualité de l'air et de l'esthétique au sein des villes, séquestration du carbone
Plantation d'arbres et/ou d'arbustes à l'extérieur des villes	Plantation d'espèces ligneuses arborées naturellement présentes au sein des zones de pâturage et à proximité des campements fixes des éleveurs	Utilisation du bois mort comme source d'énergie, protection contre le vent et les tempêtes de sable, protection contre la poussière des routes, lutte contre l'érosion et la désertification
Mise en défens pour favoriser la régénération naturelle de la végétation	Exclusion du pâturage d'une zone, de façon temporaire puis réitérée ou alternée avec d'autres zones	Amélioration de la séquestration du carbone, production de fourrage, préservation de la biodiversité végétale, lutte contre l'érosion des sols
Plantation de cultures fourragères pour les animaux d'élevage	Production de fourrage pour le bétail via la plantation de légumineuses notamment	Diminution de l'érosion des sols, nourriture pour le bétail en période de pénurie
Création de banques fourragère d'espèces ligneuses	Fourniture de fourrage pour le bétail	Nourriture pour le bétail en période de sécheresse ou de pénurie
Mise en place d'une réserve naturelle	Mise en place de zones naturelles protégées	Préservation de la biodiversité, de l'esthétique d'un paysage, régulation du climat, limitation de l'érosion des sols, amélioration de la qualité de l'air
Protection des sources d'eau	Mise en place de mesures de protection autour des sources naturelles d'eau	Amélioration de la qualité de l'eau de surface, préservation de la biodiversité

sources d'eau naturelles de surface. Les 7 pratiques de compensation proposées sont présentées dans le Tableau 3.

5.2. Entretiens semi-directifs de terrain

Pour comprendre les attentes des populations locales en matière de compensation écologique et questionner leur acceptabilité des pratiques de compensation proposées, un guide d'entretien est construit sur la base du guide utilisé lors du terrain au Kazakhstan en 2022. Il est composé de trois parties :

- 1- Questions ouvertes.** Le participant est questionné sur ses attentes en termes de compensation écologique et amené à réfléchir aux actions de compensation possibles.
- 2- Questionnaire semi-directif.** Les questions visent à obtenir l'opinion du participant sur chacune des 7 pratiques de compensation proposées (Tableau 3). Les modalités (choix d'espèces végétales, irrigation, accès, ...) de chacune des pratiques sont discutées.
- 3- Classement par ordre de préférence des pratiques.** Les 7 pratiques de compensation proposées sont classées par le participant selon sa préférence (n°1 : pratique préférée, n°7 : pratique la moins appréciée, ou refusée).

6. Analyse des données

Les données utilisées sont basées sur un échantillonnage de 26 participants ayant tous participé aux deux enquêtes menées lors de la période de terrain du 1^{er} mai au 15 juin 2023.

6.1. Identification des services écosystémiques d'intérêt et modalités de perception

Premièrement, la liste finale des classes de services écosystémiques d'intérêt perçus par au moins 10% des participants est produite. Le nombre de mentions (= nombre de citations d'une classe de service écosystémique par l'ensemble des participants) est calculé afin d'identifier les classes les plus mentionnées. Pour chaque section de services écosystémiques, le nombre de mentions de chaque classe la composant est additionné afin d'observer si une section présente plus d'importance qu'une autre. La significativité des différences du nombre moyen de mentions est ensuite testée pour les différents attributs des participants (catégorie de partie prenante, genre et classe d'âge) via une analyse de variance (ANOVA) à 1 facteur non paramétrique.

Un test de khi² est réalisé, puis une Analyse des Correspondances Multiples (ACM) est effectuée afin d'identifier les interrelations existantes entre les services écosystémiques identifiés et étudier leurs associations avec les attributs « Catégories de parties prenantes » et « Genre » des participants. Les services écosystémiques sont considérés comme les variables qualitatives actives : ils possèdent 2 modalités (Yes / No), selon s'ils sont cités ou non par les

participants. Les attributs sont renseignés comme variables qualitatives additionnelles : « Catégories de parties prenantes » possède 4 modalités (Autorités locales / Eleveurs / Professionnels du secteur santé/social / Employés de la mine) et « Genre » possède 2 modalités (Féminin / Masculin). L'ACM est menée sur trois niveaux de classification CICES des services écosystémiques, du plus au moins détaillé (Classe > Groupe > Division), afin d'identifier quel niveau optimise la représentativité des liens observés.

6.2. Perception de l'évolution des services écosystémiques identifiés

Pour un ensemble de services identifiés, le nombre de mentions de la diminution, de l'augmentation et de la stabilité des services est calculé. Le même calcul est effectué pour chaque service écosystémique afin d'identifier si certains services sont plus particulièrement perçus comme diminuant, augmentant ou restant stables ces deux dernières années. Les différences de perception de l'évolution des services entre les catégories de parties prenantes puis de genre sont testées via un test de khi².

6.3. Analyse de la perception de la fourniture des services écosystémiques par le paysage

Sur la base des cartographies papiers, les unités paysagères et les éléments paysagers cartographiés par plus de 10% des participants sont comptabilisés et identifiés.

Le nombre de mentions de chaque service par unité paysagère est comptabilisé. Une catégorie « Non spatialisé » est ajoutée afin de rendre compte des services mentionnés par les participants mais n'ayant pas été mis en lien avec une unité paysagère. Un test de khi² puis une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) sont réalisés afin de décrire les liens entre les services écosystémiques et les unités paysagères. L'AFC est menée en prenant comme variables qualitatives l'unité paysagère et le niveau « Section » de services écosystémiques afin d'améliorer la représentativité des axes et faciliter l'interprétation.

Une dernière analyse porte sur la vision de la composition de l'espace par les participants. La perception des éléments paysagers préalablement identifiés est renseignée de façon binaire pour chaque participant (1 : cité, 0 : non cité), puis une AFC est réalisée afin d'identifier les liens entre les éléments paysagers d'une part, et les liens entre les participants et les éléments paysagers d'autre part. La première variable qualitative contient les participants et la seconde les éléments paysagers. Une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) est effectuée afin d'identifier des groupes de participants percevant les mêmes éléments. Une correspondance entre les participants constituant ces groupes et ceux composant les catégories

de parties prenantes est recherchée via un test de χ^2 . Le but est de tester si une certaine vision de l'espace peut être rattachée à l'appartenance à une catégorie précise de partie prenante.

6.4. Analyse de l'acceptabilité des pratiques de compensation proposées

Le pourcentage de réponses « Oui » apportées par les participants concernant leur intérêt pour chaque pratique de compensation proposée est calculé de façon globale, puis détaillé pour les attributs Catégorie de parties prenantes et Genre. La significativité des différences d'acceptabilité des pratiques entre les catégories de parties prenantes puis de genre est testée via un test de χ^2 .

Le classement moyen de chaque pratique est calculé à partir des classements donnés par l'ensemble des participants. La significativité des différences des classements moyens de chacune des 7 pratiques de compensation proposées est testée via une ANOVA à 1 facteur non paramétrique.

Tous les tests statistiques ont été réalisés via le logiciel R (version 4.3.1., R Core Team, 2023). Une valeur critique de 5 % ($\alpha = 0,05$) a été utilisée. Les ANOVA et les tests de χ^2 ont respectivement été réalisés avec les fonctions `aov` et `chisq.test` du package `Rstats` (v. 3.6.2). Les AFC, ACM et CAH ont été respectivement effectuées via les fonctions `CA`, `MCA` et `HCPC` du package `FactoMineR` (Husson *et al.*, 2017). L'homogénéité, l'indépendance et la normalité des résidus ont été vérifiées par des tests de Breusch-Pagan, de Durbin-Watson et de Shapiro-Wilk lorsque cela était nécessaire.

RÉSULTATS

1. Analyse des services écosystémiques identifiés

1.1. Identification des services écosystémiques d'intérêt

À partir de l'approche bibliographique pré-terrain et après classification au sein du système CICES, une liste théorique de 3 sections, 5 divisions, 13 groupes et 24 classes de services écosystémiques a été construite. À cette liste a été ajouté le service « *Wild plant grazed by reared animals* » en raison de l'importance des activités d'élevage et de production de bétail dans la zone d'étude. Suite aux entretiens réalisés lors de la phase terrain et à la sélection des services mentionnés par un nombre supérieur ou égal à 10% des participants interrogés (i.e. au moins 3 participants), 20 classes de la liste théorique ont été retenues et 6 classes supplémentaires identifiées. Au final, 26 classes de services écosystémiques d'intérêt ont été obtenues (Tableau 4). La liste détaillée de l'ensemble des services écosystémiques rattachés à leurs codes CICES pour les niveaux Groupes et Classes figure en Annexe 3.

Lorsque l'on étudie pour chaque section le nombre de mentions de classes de services écosystémiques, on observe une supériorité des mentions des services d'Approvisionnement (192 mentions) par rapport aux services des sections Régulation & Maintenance et Culturel, respectivement mentionnés 133 et 76 fois. Au sein de la section Approvisionnement, les deux classes de services les plus mentionnées sont « *Wild plant grazed by reared animals* » (*WP_grazing_1154* - 24 mentions) et « *Animal reared for nutritional purposes* » (*RA_food_1131* - 22 mentions). Les deux classes de services de Régulations & Maintenance les plus mentionnées sont « *Control of erosion rates* » (*Control_erosion_2111* - 26 mentions) et « *Wind protection* » (*Wind_protection_2214* - 25 mentions). Enfin, pour la section Culturel, les deux classes les plus mentionnées sont « *Elements of living systems that have sacred or religious meaning* » (*Sacred_religion_meaning_3212* - 19 mentions) et « *Natural, abiotic characteristics of nature that enable active or passive physical and experiential interactions* » (*Interaction_nat_envi_6111* - 12 mentions) (Tableau 5).

Lorsque l'on teste les différences du nombre moyen de mentions de classes de services écosystémiques en fonction des attributs des participants, on observe une différence significative entre les catégories de partie prenante (KW $\chi^2 = 8.71$, $df = 3$, $p\text{-value} = 0.03$) (Figure 9). Les différences principales semblent se situer entre les catégories « Professionnels du santé/social » / « Employés de la mine » ($p\text{-value} = 0.14$) et entre « Professionnels du santé/social » / « Eleveurs » ($p\text{-value} = 0.12$), cependant elles ne sont pas significatives deux à

Tableau 4 : Nombre de classes CICES de services écosystémiques sélectionnées

Section de service écosystémique	Classes sélectionnées (>10%)
Approvisionnement (biotique)	7
Approvisionnement (abiotique)	4
Régulation & Maintenance (biotique)	7
Régulation & Maintenance (abiotique)	0
Culturel (biotique)	7
Culturel (abiotique)	1
Total	26

Tableau 5 : Nombre de mentions par classe CICES de services écosystémiques au sein de chaque section. Les lignes colorées indiquent les 2 classes les plus mentionnées pour chaque section. Les codes associés aux noms complets des classes sont renseignés en Annexe 3.

Section	Classe	Nombre de mentions (par classe)	Nombre de mentions (par section)
Approvisionnement	A_energy_1133	20	192
	Groundwater_4221	21	
	M_energy_4313	7	
	M_materials_4312	3	
	WP_grazing_1154	24	
	WP_energy_1113	19	
	RA_food_1131	22	
	RA_fibers_1132	20	
	Surfacewater_4211	14	
	WP_food_1151	21	
WP_fibers_1152	21		
Régulation & Maintenance	Filtration_plants_2112	9	133
	Regul_humi_ventil_2262	19	
	Regul_atmo_2261	23	
	Nurspop_habitats_2223	24	
	Control_erosion_2111	26	
	Hydro_waterflow_2213	7	
	Wind_protection_2214	25	
Culturel	Aesthetic_exp_3124	8	76
	Culture_heritage_3123	4	
	Existence_value_3221	5	
	Sacred_religion_meaning_3212	19	
	Scientific_invest_3121	9	
	Symbolic_meaning_3211	8	
	Activities_enjoyment_3111	11	
	Interaction_nat_envi_6111	12	

deux. Cela peut s'expliquer par l'utilisation de tests non paramétriques, la faible significativité de la p-value obtenue et le nombre limité de données dans chacune des catégories de parties prenantes.

1.2. Interrelations entre services écosystémiques et attributs des acteurs

Plusieurs ACM sont réalisées sur les différents niveaux de classification CICES des services écosystémiques. Les ACM réalisées sur les niveaux « Divisions » et « Classes » sont compilées en Annexe 4. L'ACM portant sur le niveau « Groupes » est présentée en exemple (Figure 10). On observe qu'il existe des liens entre la nature des services perçus et les catégories de parties prenantes. Les autorités locales et les employés de la mine présentent des perceptions similaires des services écosystémiques principalement liés aux animaux d'élevage et aux interactions intellectuelles (traditions, symbolisme) avec les écosystèmes (113_Y ; 312_Y). Les professionnels du secteur santé/social perçoivent peu les services liés aux plantes sauvages ou à la disponibilité en eau (111_N ; 421_N), au contraire des éleveurs qui perçoivent également de nombreux services liés au maintien de la qualité de l'écosystème (humidité de l'air : 221_Y ; diversité des espèces : 222_Y). Des liens différents existent aussi entre les services perçus par les hommes et les femmes qui semblent identifier plus de services liés à la fourniture de nourriture par les plantes (115_Y).

1.3. Perception de l'évolution des services écosystémiques identifiés

Lorsque l'on étudie la perception des tendances d'évolution des services écosystémiques, on observe une supériorité des mentions de services perçus comme diminuant (125 mentions) par rapport à ceux perçus comme augmentant (11 mentions) et restant stables (47 mentions). 121 mentions de la non perception de l'évolution des services sont comptabilisées. L'Annexe 1 présente le nombre de mentions comptabilisées par classe de service écosystémique pour chaque tendance. Les services liés au pâturage (« Wild plant grazed by reared animals »), à la protection contre le vent (« Wind protection »), au contrôle de l'érosion (« Control of erosion rates ») et à la régulation de l'atmosphère et du climat (« Regulation of chemical composition of atmosphere and oceans ») sont particulièrement mentionnés comme diminuant. Le service « Natural, abiotic characteristics of nature that enable active or passive physical and experiential interactions » est le principal service mentionné comme augmentant. Enfin les services liés à la qualité de l'eau « Hydrological cycle and waterflow regulation » et à la qualité de l'air « Regulation of temperature and humidity, including ventilation and transpiration » sont principalement mentionnés comme restant stables.

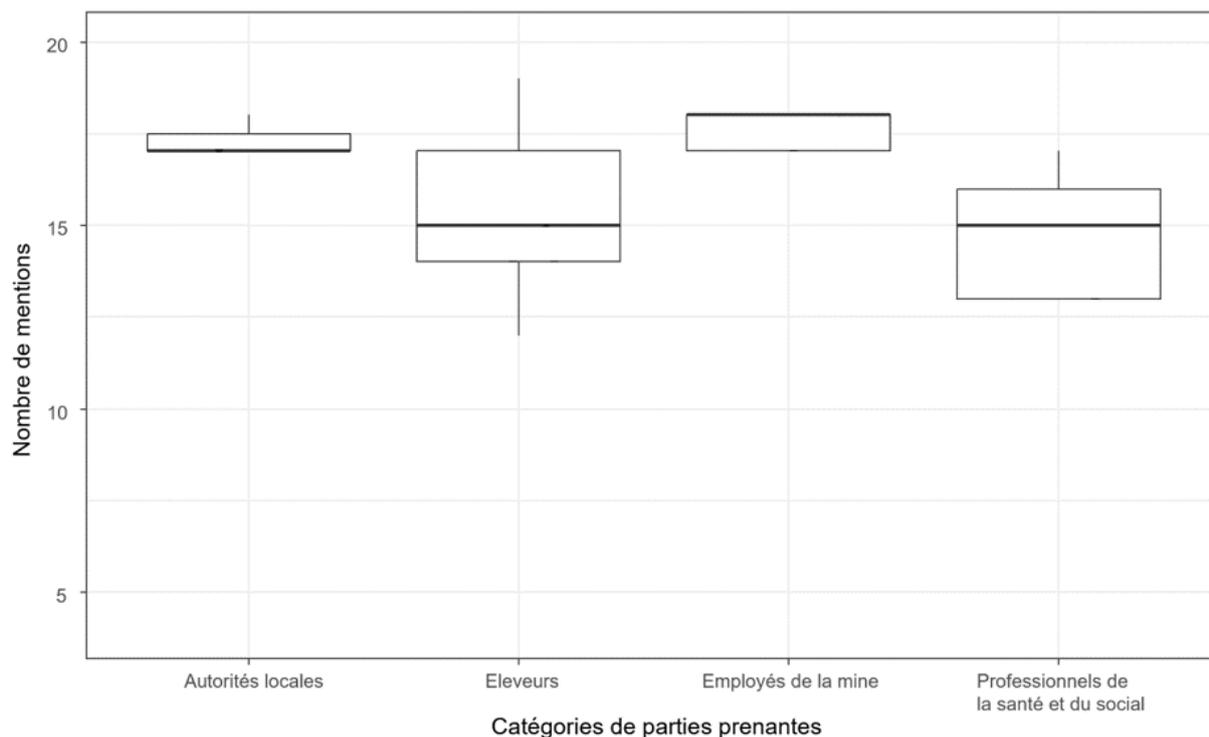


Figure 9 : Différence du nombre total de mentions des classes de services écosystémiques par les participants des quatre catégories de parties prenantes.

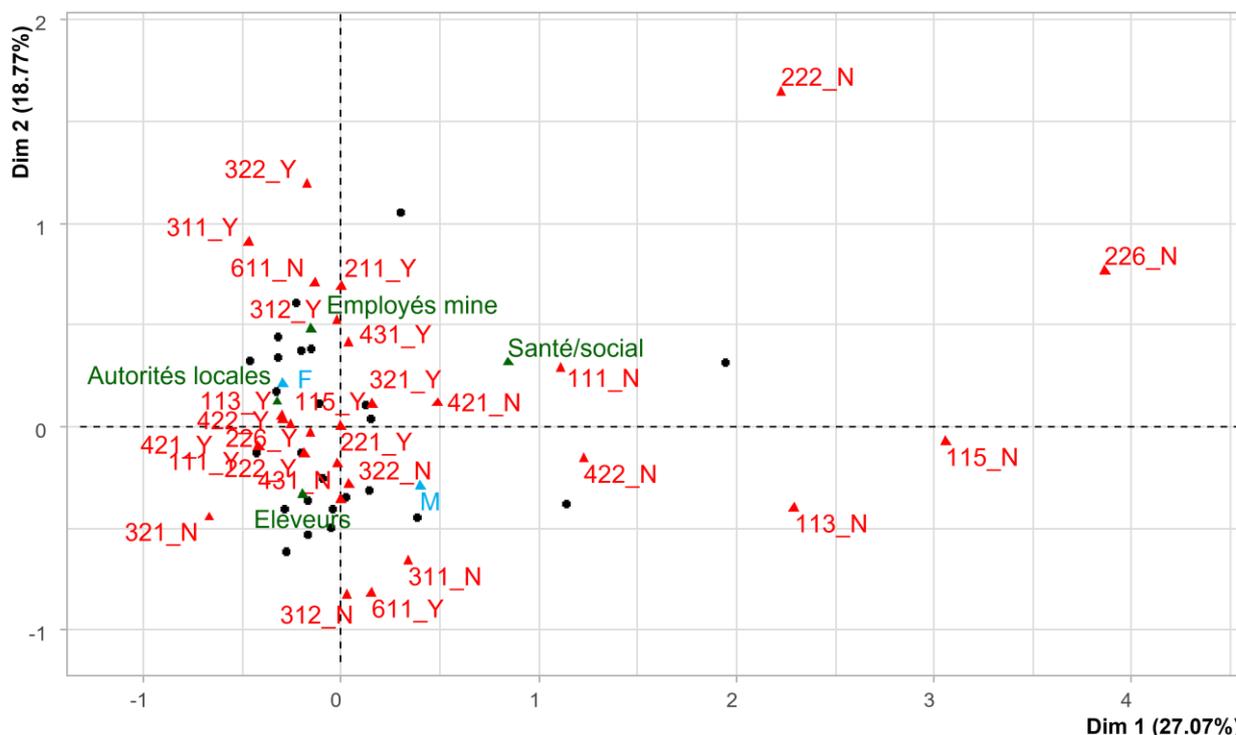


Figure 10 : Représentation graphique de l'ACM réalisée sur les Groupes de services écosystémiques (en rouge) perçus (*code_Y*) ou non (*code_N*). Pour simplifier la lecture, seuls les codes associés aux noms des groupes de services sont renseignés, leur correspondance avec les noms complets est disponible en Annexe 3. Les catégories de parties prenantes (en vert) et les catégories de genre (en bleu) sont intégrées en tant que variables supplémentaires. Les points noirs correspondent aux participants.

Les tests de significativité des différences de perception des tendances d'évolution des services écosystémiques selon les attributs des participants ne permettent pas de conclure à des différences significatives, que ce soit entre les catégories de parties prenantes ($X\text{-squared} = 4.99$, $df = 9$, $p\text{-value} = 0.83$) ou de genre ($X\text{-squared} = 4.30$, $df = 3$, $p\text{-value} = 0.23$).

1.4. Analyse de la perception de la fourniture des services écosystémiques par le paysage

Cinq unités paysagères sont identifiées au sein de la zone d'étude et cartographiées de façon schématique (Figure 11). Le Tableau 6 présente la liste des classes de services écosystémiques les plus mentionnées par unité ainsi que les principales classes non spatialisées. Une AFC est réalisée sur le niveau « Section » des services écosystémiques (Figure 12). On constate que l'unité « Forêts » forme un groupe à part des autres unités paysagères. Elle est la source des services biotiques de régulation et maintenance. Les services d'approvisionnement abiotiques sont particulièrement liés à l'unité « Steppes », et les unités « Dunes de sable », « Sources d'eau » et « Montagnes » sont liées aux services culturels biotiques et abiotiques. Enfin, peu de services d'approvisionnement biotique sont spatialisés, comme l'indique la proximité observée avec la catégorie « Non spatialisé ».

Au sein de la zone d'étude, 33 éléments paysagers sont identifiés et agrégés en plusieurs catégories en fonction de leurs caractéristiques. La liste complète des éléments identifiés figure en Annexe 5. La Figure 13 a) présente les résultats graphiques de l'AFC réalisée pour identifier les relations entre les éléments paysagers et les participants. Les faibles pourcentages d'explication des axes (Dim 1 : 16.81% ; Dim 2 : 10.39%) nous poussent à analyser avec précaution le graphe produit. Un premier groupe de 4 participants perçoit les monuments culturels, les mines de pétrole, le phénomène d'érosion, les camps touristiques ou encore la ville de Dzüünbayan. Ce groupe se différencie d'un second groupe percevant les différentes montagnes et sources d'eau, les plantes, les puits ainsi que le camp de Duulan Uul et la ville d'Ulaanbadrakh. La réalisation d'une CAH sur les données de l'AFC permet de regrouper les participants en 5 classes distinctes (Figure 13 b)). Un test de χ^2 étudiant la correspondance des groupes de participants avec les catégories de parties prenantes ne permet pas de conclure à une correspondance significative ($X\text{-squared} = 16.83$, $df = 12$, $p\text{-value} = 0.16$).

2. Acceptabilité des pratiques de compensation proposées

2.1. Pourcentage d'acceptabilité des pratiques

Le Tableau 7 présente les pourcentages totaux d'acceptabilité pour chacune des pratiques de compensation proposées, puis détaillés en fonction des catégories de parties prenantes et de genre. La pratique la plus acceptée est « Protection des sources d'eau », avec 81% de réponses

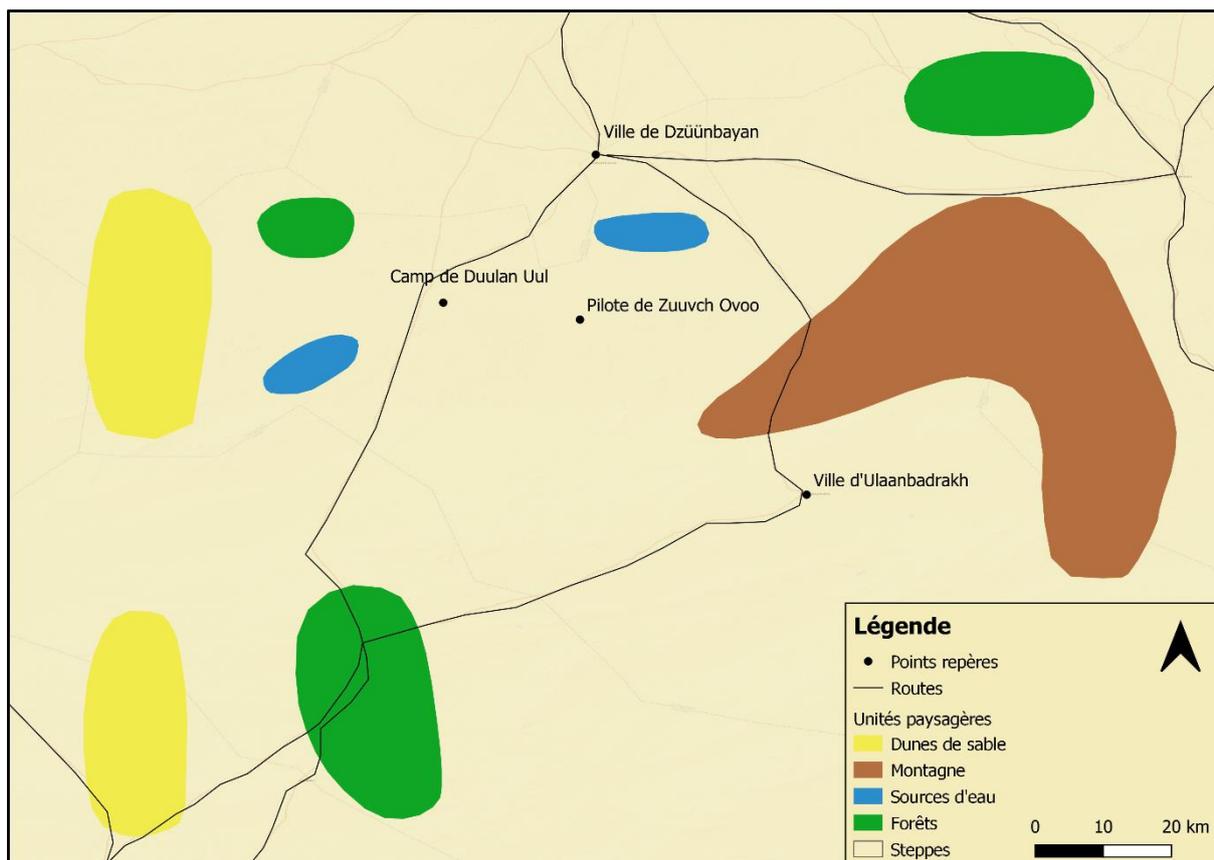


Figure 11 : Carte schématique de l'emplacement des unités paysagères identifiées au sein de la zone d'étude sur la base des cartographies réalisées par les participants lors de l'Enquête 1.

Tableau 6 : Liste des classes de services écosystémiques spatialisées majoritairement mentionnées par UP, et non spatialisées. Les codes des classes sont détaillés en Annexe 3.

Spatialisées		Non spatialisées
Unité paysagère	Classes principales de services mentionnées	Classes principales de services mentionnées
Montagnes	Activities_enjoyment_3111 Sacred_religion_meaning_3212	Regul_atmo_2261 WP_fibers_1152
Steppes	WP_grazing_1154 Groundwater_4221	WP_food_1151 RA_food_1131
Sources d'eau	Surfacewater_4211 Regul_humi_ventil_2262 Activities_enjoyment_3111	RA_fibers_1132
Dunes de sable	WP_grazing_1154 Activities_enjoyment_3111	
Forêts	WP_energy_1113 Wind_protection_2214	

« Oui ». La pratique la moins acceptée est la « Mise en défens pour favoriser la régénération naturelle de la végétation », avec 56% de « Oui ». Enfin, les pratiques liées à la production de fourrages, à la plantation d'arbres et à la mise en place d'une réserve naturelle sont plutôt bien acceptées, avec des pourcentages compris entre 65 et 69%. Un test de χ^2 rend compte d'un lien significatif entre l'acceptabilité des pratiques et le genre des participants (X-squared = 12, df = 5, p-value = 0.03), avec des pratiques généralement mieux acceptées par les femmes que par les hommes. Le même test effectué sur les catégories de parties prenantes ne montre pas de lien significatif (X-squared = 39.6, df = 27, p-value = 0.06).

2.2. Classement par ordre de préférence des pratiques

Avec un classement moyen de 2.42, la pratique « Protection des sources d'eau » arrive en première position, suivie de la pratique « Cultures fourragères » (3.00). La pratique « Mise en défens pour favoriser la régénération naturelle de la végétation » est classée dernière avec une note de 4.68 (Tableau 8). Les différences des moyennes de classement de chaque pratique de compensation proposée sont significatives (KW $\chi^2 = 22.14$, df = 6, p-value = 0.001). Les différences significatives se situent entre la pratique « Protection des sources d'eau » et les pratiques « Mise en défens de la végétation » (p-value = 0.004) et « Mise en place d'une réserve naturelle » (p-value = 0.008) (Figure 14).

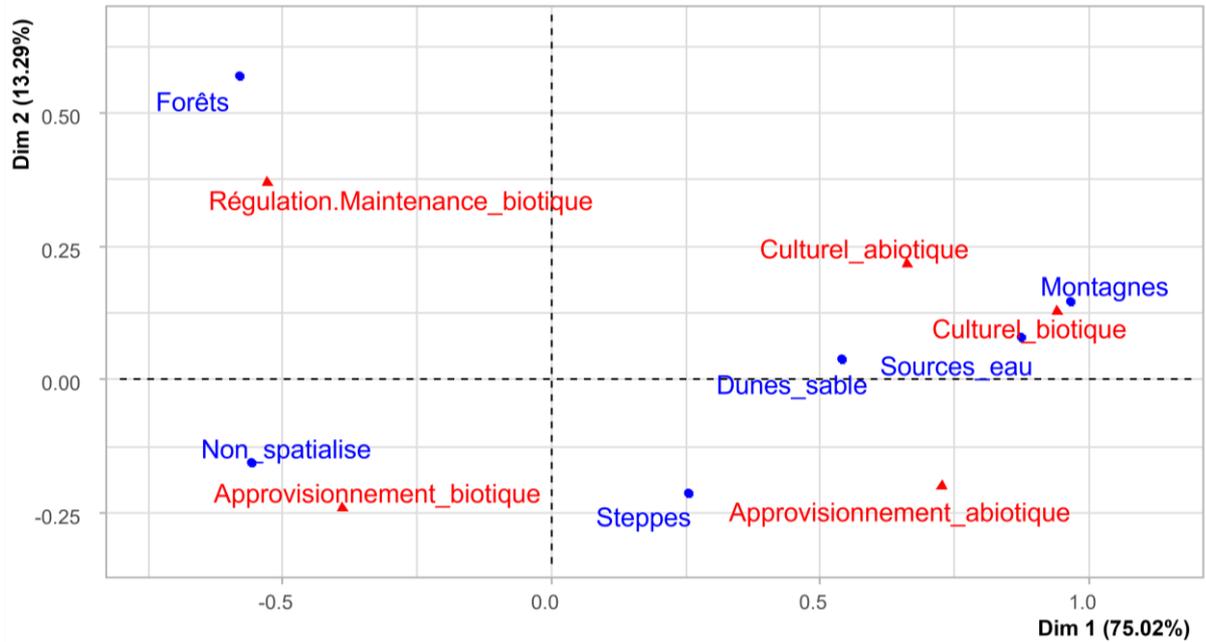


Figure 12 : Représentation graphique de l’ACF réalisée entre les Sections de services écosystémiques (en rouge) et les unités paysagères (en bleu).

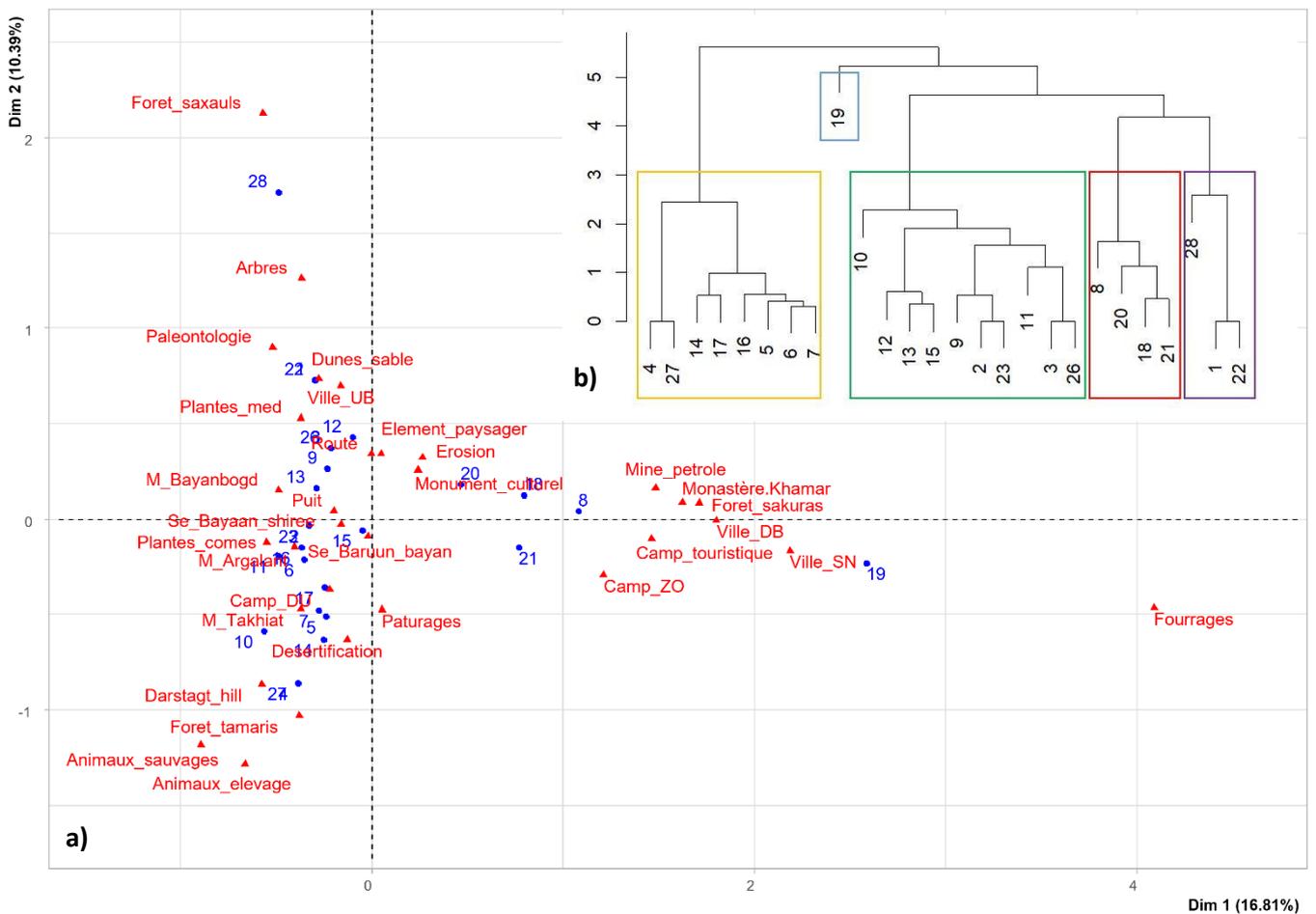


Figure 13 : a) Représentation graphique de l’ACF réalisée entre les éléments paysagers (en rouge) et les participants (en bleu) ; b) Représentation graphique de la CAH montrant les 5 groupes de participants différenciés.

DISCUSSION

1. Rappel du projet, hypothèses et objectifs

Le projet dans lequel cette étude s'inscrit a pour but d'identifier les services écosystémiques d'intérêt perçus par les parties prenantes du projet minier de Zuuvch Ovoo, dans le désert de Gobi, et d'évaluer l'acceptabilité par les populations de différentes pratiques de compensation écologique. L'hypothèse générale est que le développement de pratiques de compensation bien acceptées intégrant les services écosystémiques perçus par les populations locales passe par le dire d'acteurs. La première enquête menée a pour objectif d'identifier via des entretiens semi-directifs les services écosystémiques d'intérêt et leurs liens avec les unités paysagères de la zone d'étude. Elle cherche à vérifier si les unités paysagères caractérisées au sein de la zone d'étude produisent différents services écosystémiques et si la nature des services identifiés varie en fonction de la catégorie de partie prenante rencontrée. La seconde enquête vise à déterminer des pratiques de compensation bien acceptées par les populations locales intégrant les services écosystémiques d'intérêt identifiés. La première hypothèse émise est que les services écosystémiques attendus des pratiques de compensation sont semblables à ceux impactés par la mine. La seconde hypothèse vise à montrer qu'en raison de l'importance du pastoralisme, les pratiques liées à l'élevage et au pâturage sont mieux acceptées que celles restreignant l'accès aux pâturages et entraînant une importante consommation d'eau.

2. Critique de la méthode

La méthodologie générale de l'étude est basée sur celle mise en place par Barnes *et al.* (2023) lors d'un terrain d'étude similaire mené au Kazakhstan en 2022. Cette méthodologie a été réadaptée au contexte du site minier de Zuuvch Ovoo en Mongolie. La faible diversité de parties prenantes pouvant être rencontrées au sein de la zone d'étude et la disponibilité variable des personnes a conduit à ce qu'un plus petit nombre que prévu de participants soient interrogés. De plus, seuls les profils des participants ayant répondu aux deux enquêtes ont été retenus afin d'assurer une analyse complète de données issues de participants connaissant tous les éléments du projet. Certaines catégories de parties prenantes contiennent donc un faible nombre de participants, mais ne peuvent être regroupées en raison des différences importantes entre elles. Au final, le nombre d'entretiens exploitables (n=26) reste faible pour réaliser certaines analyses statistiques et tirer des conclusions généralisables à l'ensemble de la zone. La prise de contact pour les entretiens étant réalisée par le responsable sociétal du projet minier, un biais dans le choix des participants a pu être introduit. Ce biais concerne notamment la catégorie des employés de la mine. En effet, l'ensemble des éleveurs de la zone d'étude ont pu être rencontrés

Tableau 7 : Pourcentages d’acceptabilité total des pratiques de compensation proposées, et détaillé en fonction des attributs (genre et catégorie de partie prenante) des participants. Les pourcentages détaillés sont calculés par rapport au pourcentage d’acceptabilité total. Les pratiques sont regroupées par couleur en fonction de la dimension de l’environnement qu’elles concernent.

Pratique de compensation proposée	Pourcentage d’acceptabilité total	Pourcentage d’acceptabilité par genre		Pourcentage d’acceptabilité par catégorie de partie prenante			
		M	F	Autorités locales	Eleveurs	Professionnels santé/social	Employés de la mine
1. Plantation village	65	19	46	12	19	19	15
2. Plantation hors village	69	27	42	8	38	15	8
3. Mise en défens	58	19	38	4	27	12	15
4. Cultures fourragères	69	27	42	8	42	12	8
5. Banque fourragère	69	23	46	4	38	15	12
6. Réserve naturelle	65	19	46	8	23	15	19
7. Protection des sources d’eau	81	38	42	12	35	19	15

Tableau 8 : Classement final de chaque pratique de compensation en fonction du classement moyen calculé à partir des notes données par l’ensemble des participants (1 : pratique la plus acceptée, 7 : pratique la moins acceptée ou refusée)

Classement	Pratique	Classement moyen
1	7. Protection des sources	2.42
2	4. Cultures fourragères	3.00
3	2. Plantation hors village	3.35
4	5. Banque fourragère	3.85
5	1. Plantation village	4.11
6	6. Réserve naturelle	4.48
7	3. Mise en défens	4.68

et au sein des autres catégories, le choix des personnes a été aléatoire en fonction de leur présence sur leur site de travail (hôpital, école, centre culturel) et de leur disponibilité au moment de la réalisation de la première session d'entretiens.

Lors de la réalisation des entretiens il est apparu que plusieurs questions étaient plus adaptées à certaines catégories d'acteurs, en particulier les éleveurs. Cela s'explique par l'importance donnée à leurs pratiques dans la construction des questionnaires. En effet, le pastoralisme prévaut dans la région du Dornogobi et de multiples services écosystémiques sont mobilisés dans le cadre de cette pratique (Byambaa & de Vries, 2020 ; Heiner, 2019).

La barrière de la langue et les niveaux de traduction successifs des informations (travail avec un traducteur mongol-anglais puis traduction finale en français) sont susceptibles d'introduire des approximations au sein des données finales analysées. De plus, la nature qualitative des données issues des dires d'acteurs limite la possibilité de réaliser des analyses statistiques : la plupart des interprétations ci-après sont donc essentiellement basées sur des données descriptives, mais soutenues par la bibliographie. Il existe enfin une part de subjectivité dans certains choix faits pour l'analyse des données : catégories de classement des éléments paysagers, choix des attributs testés et des niveaux de classification CICES utilisés pour les analyses, ... De façon générale, ces choix ont été réalisés pour faciliter la compréhension du lecteur et clarifier l'analyse des résultats.

3. Mieux comprendre les perceptions des services écosystémiques en prenant en compte les pratiques indigènes et le contexte de changement climatique

Il apparaît qu'au sein de la zone d'étude les principaux services écosystémiques d'intérêt pour les participants sont liés à l'élevage, à l'accès à la ressource en eau, aux phénomènes climatiques tels que la régulation du vent et des tempêtes de sable et aux bénéfices immatériels retirés de l'environnement (Tableau 5). Ces services permettent de faire ressortir des enjeux se retrouvant dans les zones arides de manière générale, où les populations sont liées à leur milieu par leurs pratiques, traditions et croyances (Maestre *et al.*, 2022 ; McCarthy *et al.*, 2022). L'importance des services principalement mentionnés et des enjeux identifiés se retrouve également au sein du classement des pratiques de compensation proposées. La pratique « Protection des sources d'eau naturelles » arrive en première position, suivie de « Cultures fourragères » (Figure 14), soient deux pratiques en lien avec la ressource en eau et l'élevage. Cela permet de valider l'hypothèse selon laquelle les pratiques liées à ces thématiques sont mieux acceptées. La nature principalement biotique des sections de services écosystémiques perçues (Tableau 4) rend compte d'une forte relation des populations avec cette dimension de l'écosystème, confirmée par le nombre de mentions des classes de services liées au maintien

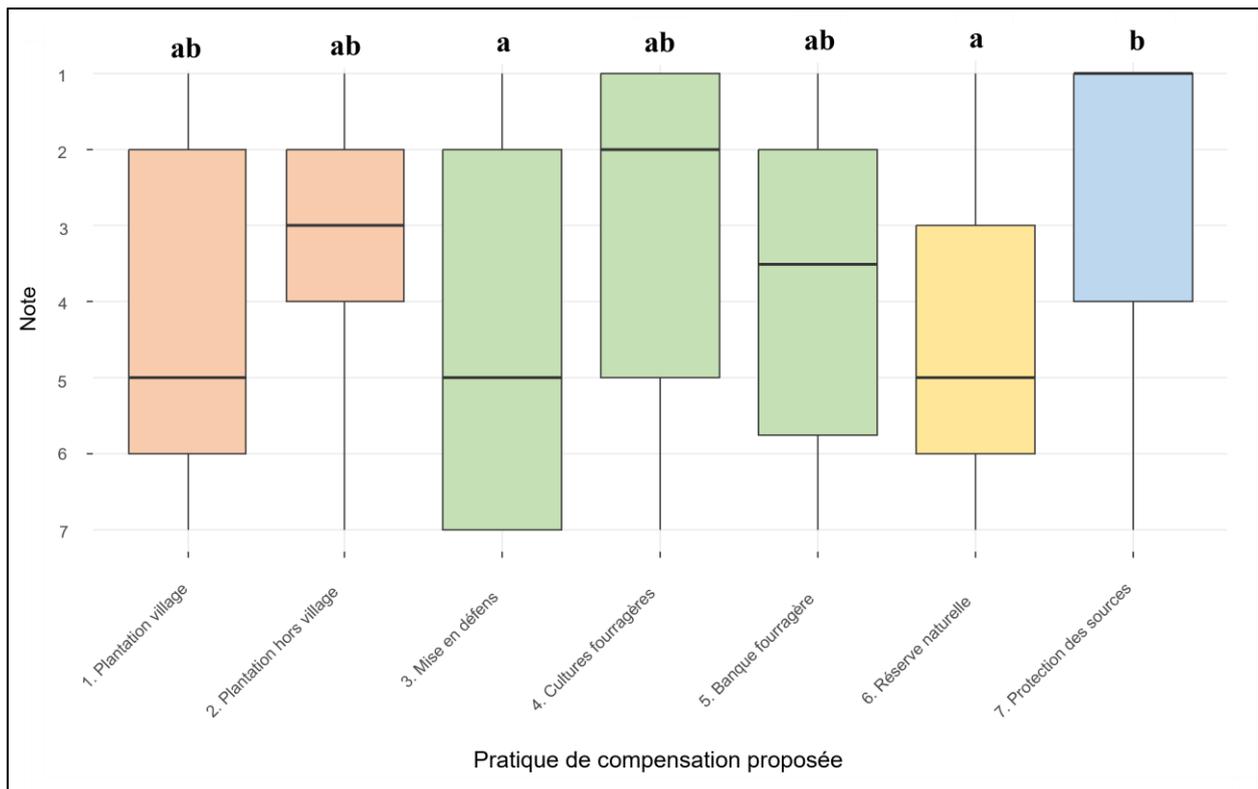


Figure 14 : Différences de classement des sept pratiques de compensation écologique proposées (Note = 1 : pratique préférée ; Note = 7 : pratique la moins acceptée ou refusée). Les lettres en gras indiquent la significativité des différences entre pratiques. Les pratiques sont regroupées par couleur en fonction de la dimension de l'environnement qu'elles concernent.

des habitats des espèces (Nurspop_habitats_2223) et aux plantes sauvages (WP_grazing_1154, WP_food_1151, WP_fibers_1152) (Tableau 5), et par une bonne acceptabilité des pratiques mobilisant des paramètres biotiques (Tableau 7).

La tendance à la diminution des services précédemment évoqués a particulièrement été mentionnée par les participants (Annexe 1). Selon eux, les processus de changement climatique sont à l'origine de cette tendance. Au sein de la zone d'étude, le changement climatique se traduit selon les dires des participants par une intensification ces deux dernières années des tempêtes, de la désertification et des sécheresses. L'absence de végétation pouvant permettre de retenir le sol dans certaines zones, freiner le sable et limiter l'impact du vent est identifié par les participants comme la cause de l'augmentation de ces processus. Cela est notamment vrai pour le processus de désertification, perçu comme augmentant fortement au nord de la zone d'étude, à proximité de la ville de Dzüünbayan. L'importance des impacts de ces processus transparait au sein des résultats de la seconde enquête (Tableau 7). En effet, les pratiques parmi les mieux acceptées sont celles liées à la production de fourrages (« Cultures fourragères » et « Banque fourragère »), les populations voyant en ces pratiques une manière de réduire les risques de pénurie de nourriture pour le bétail causés par le manque d'eau et les sécheresses. La plantation d'arbres dans les zones subissant des processus de désertification (« Plantation hors village ») est également fortement appréciée car jugée utile pour limiter l'érosion, diminuer l'impact du vent et filtrer les particules et poussières présentes dans l'air.

Toutefois, parmi les catégories de parties prenantes interrogées, toutes ne perçoivent pas le même nombre ni la même nature de services écosystémiques (Figure 9 & 10). La perception principale par les éleveurs des services de régulation et maintenance s'explique par l'importance pour leurs pratiques du maintien de la qualité générale de l'écosystème. La différence de perception des professionnels du secteur santé/social avec celle des autres catégories peut quant à elle être justifiée par des pratiques et des besoins divergents en termes de ressources, mais également par l'absence de perception d'un certain nombre de services considérés comme centraux par les participants des autres catégories de parties prenantes. La différence de perception du nombre et de la nature des services écosystémiques entre catégories de parties prenantes (Figure 9 & 10) valide l'hypothèse correspondante posée pour la première enquête. Elle justifie de plus l'importance d'interroger une diversité d'acteurs dans le type d'enquête mené, également soulignée par Byamba & de Vries (2019) et Liu *et al.* (2014).

Cependant, la perception des éléments paysagers à l'origine des services écosystémiques mentionnés semble plus dépendre de l'emplacement géographique des participants que de leur catégorie de partie prenante. Lorsque l'on croise la cartographie des

lieux d'entretien (Figure 8) avec la représentation des liens entre les différents éléments paysagers et les participants (Figure 13), on observe que des groupes se dessinent entre les participants habitant au nord et au sud de la zone d'étude. Les participants proches de la ville de Dzüünbayan (nord) perçoivent plus d'éléments paysagers spécifiques à cette région, tels que les camps touristiques ou le monastère de Khamar, alors que les participants vivant entre le camp de Duulan Uul et Ulaanbadrakh (sud), perçoivent les montagnes d'Argalant mais pas les camps touristiques. Chaque élément paysager fournit des services perçus comme reliés à l'unité paysagère dans laquelle l'élément s'inscrit (Figure 12). Au sein des différentes unités paysagères les services écosystémiques perçus sont plus ou moins bien spatialisés (Tableau 6). Les services culturels sont par exemple essentiellement liés aux montagnes, ce qui s'explique par l'importance des croyances religieuses conférant un caractère sacré à cette unité paysagère mais également au développement de l'activité touristique dans la région (McCarthy *et al.*, 2022), des sites précis étant valorisés auprès des populations locales et des touristes. Les forêts se distinguent particulièrement des autres unités paysagères aux dires des acteurs car fournissant d'importants services de régulation et maintenance (Figure 12). Cette distinction se retrouve également dans les résultats obtenus par Maudieu (2023), qui a illustré une différence de composition floristique entre les unités « Forêt » et « Steppes herbacées » / « Steppes arbustives » (Annexe 6). Cela permet d'émettre l'idée que la production de certains services écosystémiques est liée aux caractéristiques d'une unité paysagère, caractéristiques qui ne sont pas partagées par l'ensemble des unités considérées. D'autres services ne sont quant à eux pas spatialisés. C'est le cas des services liés aux animaux d'élevage, en raison des pratiques d'élevage ultra-extensives et semi-nomades : les troupeaux de bétail sont laissés en liberté et leur emplacement évolue entre les campements d'été et d'hiver (Tugjamba *et al.*, 2021).

4. Nature des services écosystémiques impactés par les projets miniers

La dégradation des milieux par les processus d'érosion est directement mise en lien par les acteurs avec l'augmentation du nombre et de la fréquentation des routes et des pistes au sein des steppes. Cette augmentation est en particulier due au développement des exploitations minières dans la région, nécessitant le transport de matériels et de personnes entre les sites miniers. D'autres services sont également cités par les acteurs comme impactés par les projets miniers, telle que la qualité de l'eau souterraine utilisée pour la consommation humaine et des troupeaux, considérée dans le cas de la mine de Zuuvch Ovoo comme altérée par l'extraction d'uranium. Les pâturages, les forêts de saxauls et les habitats naturels des espèces sont également perçus comme dégradés voire détruits par l'installation des infrastructures minières.

Les résultats obtenus par Murali *et al.* (2020) à plus grande échelle dans une autre zone géographique mais au sein d'unités paysagères semblables à celles présentes autour du site de Zuuvch Ovoo sont en accord avec ces perceptions : les mêmes services écosystémiques sont mentionnés comme impactés par les activités minières. Le bon classement des pratiques intégrant ces services (Tableau 3 ; Figure 14) permet enfin de valider l'hypothèse selon laquelle les services écosystémiques attendus des projets de compensation correspondent aux services potentiellement impactés par le projet minier.

5. Développer un projet de compensation « écologiquement intéressant et socialement désirable »

Le fort taux d'acceptabilité (Tableau 7) et le classement en première position de la pratique « Protection des sources d'eau » (Figure 14) est concordant avec l'importance de la ressource en eau dans la zone d'étude et des services qui y sont reliés (Tableau 5). Néanmoins, ce résultat est à nuancer par les modalités introduites par les participants (Annexe 2 b)) : beaucoup ont indiqué vouloir compléter la protection de la qualité et/ou de la disponibilité des sources d'eau naturelles de surface par la construction de puits permettant d'utiliser l'eau souterraine. Or, la qualité de cette eau ne répondant pas aux normes de potabilité, les puits ne peuvent pas être introduits dans les pratiques de compensation. La mention à de nombreuses reprises par les participants de cette modalité questionne leur compréhension de la pratique, et l'acceptabilité finale d'une pratique concernant uniquement l'eau de surface telle que celle pensée et proposée lors des entretiens.

Le classement de la pratique « Plantation hors village » en troisième position est intéressant à valoriser. En effet cette pratique se rapproche le plus de la pratique de compensation initiale proposée à Orano, relative à la plantation de saxauls (*Haloxylon ammodendron*) dans les zones impactées par le projet (Environ LCC, 2015). Lors des entretiens, l'importance du saxaul au sein des services d'approvisionnement a été montrée, l'espèce ayant été citée de nombreuses fois par les participants parmi l'ensemble des espèces évoquées (Annexe 2 a)). Ce résultat s'oppose à ceux obtenus par Barnes (2019) qui montraient un manque d'intérêt des populations pour les pratiques de plantation. Cette différence peut s'expliquer par la recrudescence des tempêtes et de la désertification ces deux dernières années, mais également par la création en 2021 par l'état mongol d'un plan national de plantation d'arbres « *One billion trees* ». Ce plan a pour but de revégétaliser les zones arides et dégradées de Mongolie (Mongolian National News Agency, 2023). De nombreux projets de plantation se développent donc et semblent influencer la perception des projets de plantation par les populations.

Les moyennes de classements des pratiques sont relativement proches (Tableau 8) ce qui diffère de ce qui a été obtenu au Kazakhstan pour des pratiques proposées et une méthodologie de classement semblables (Barnes, 2023). Cela s'explique par le fait que de nombreux participants ont classé des pratiques au même niveau, dans le but de former des « groupes » de pratiques à mettre en place ensemble afin de construire des projets globaux ayant réellement un impact. En effet, plusieurs participants déplorent la mise en place de multiples petits projets qui ne présentent pas les résultats escomptés en termes de fourniture de services écosystémiques. Un regroupement de pratiques est particulièrement mentionné : la plantation d'arbres au sein de zones de cultures fourragères clôturées (« Plantation hors village » + « Cultures fourragères »). Ces projets globaux, évoqués par différentes catégories de parties prenantes, doivent être valorisés au vu des fortes interrelations entre les enjeux environnementaux et sociaux au sein des écosystèmes désertiques (Abdullah *et al.*, 2019 ; Khaulenk *et al.*, 2018). Se rajoutent à cela les études et projets montrant que ce type de démarches permet une meilleure conservation et restauration des zones arides (Abdullah *et al.*, 2019 ; Kingsford *et al.*, 2020). La proposition d'un projet de compensation intégrant plusieurs pratiques pourrait donc être une voie à exploiter pour aboutir à un projet complet sur le plan écologique, répondant aux attentes des populations et pouvant de plus faire l'objet d'un consensus entre les différentes catégories de parties prenantes.

Enfin, la nécessité d'associer aux projets menés un volet d'éducation et de sensibilisation des populations aux questions environnementales et de développement durable a été plusieurs fois mentionné par les acteurs (Annexe 2). Il a particulièrement été souligné le manque de connaissances théoriques et pratiques des personnes. Un apport de connaissances, sous forme de formations dispensées aux populations locales par exemple, est d'ailleurs indiqué comme obligatoire par plusieurs participants afin que les acteurs puissent participer activement à la mise en place des projets de compensation. La nécessité de mener différentes études scientifiques avant et pendant la mise en place des projets est également mentionnée, afin d'évaluer l'efficacité et la pertinence des projets développés.

CONCLUSION

L'étude menée permet de confirmer la perception et l'utilisation par les populations locales de multiples services écosystémiques fournis par les différentes unités paysagères présentes autour de la mine de Zuuvch Ovoo. Elle souligne l'importance de prendre en compte ces services au sein du projet de compensation de la mine. L'analyse de l'acceptabilité et du classement des différentes pratiques de compensation proposées met en avant des pratiques permettant de pallier les impacts du projet minier sur l'écosystème tout en protégeant les populations des conséquences du changement climatique, de plus en plus importantes ces dernières années au sein de la zone d'étude.

Afin d'obtenir des résultats réellement généralisables, il est nécessaire de rencontrer un plus grand nombre de participants. Les perceptions différentes entre les catégories de parties prenantes poussent également à augmenter la diversité d'acteurs enquêtés, par exemple en organisant des entretiens avec les autorités environnementales œuvrant à l'échelle de l'aïmag.

A posteriori, la comparaison poussée des résultats obtenus entre le terrain réalisé en Mongolie en 2023 et celui mené au Kazakhstan en 2022 devrait permettre d'observer des tendances généralisables à une plus grande échelle. Le croisement de ces résultats avec ceux des inventaires botaniques, des mesures de végétation et des prélèvements de sols réalisés en parallèle des enquêtes sociologiques devrait permettre d'obtenir des indicateurs pour évaluer sur le plan écologique les projets de compensation développés. L'ensemble des travaux menés pourrait ainsi aboutir à la mise en place de méthodes de compensation efficaces sur les plans écologique et social et adaptées au contexte spécifique des zones arides d'Asie centrale.

Enfin, au-delà de l'application directe du projet, cette étude permet de souligner l'importance du travail pluridisciplinaire et de l'intégration de l'ensemble des acteurs (vivant ou non-vivant, « humains » ou « non-humains ») présents au sein de tout écosystème. Dans un monde en plein changements, tant sur les plans environnementaux que climatiques, économiques et sociétaux, il apparaît en effet désormais plus que nécessaire de développer des projets intégrateurs tenant compte de l'ensemble des enjeux du territoire sur lequel ils sont implantés.

BIBLIOGRAPHIE

Abdullah, M.M., Assi, A.T. & Asadalla, N.B. Integrated Ecosystem Sustainability Approach: Toward a Holistic System of Thinking of Managing Arid Ecosystems. *Open Journal of Ecol.* **9**, 493-505 (2019).

Barnes, A. Etude préliminaire d'un dispositif de compensation écologique dans un écosystème aride à vocation sylvopastorale : cas d'une exploitation minière d'uranium dans la province du Dornogobi en Mongolie. SupAgro Montpellier, Montpellier, 230 p. (2019).

Barnes, A. Accompagner la compensation écologique d'implantations minières dans les zones arides d'Asie Centrale : une approche en termes de services écosystémiques. PhD thesis. SupAgro, Montpellier (2023)

Barnes, A., Ickowicz, A., Cesaro, J.-D., Salgado, P., Rayot, V., Koldasbekova, S., Taugourdeau, S. Improving Biodiversity Offset Schemes through the Identification of Ecosystem Services at a Landscape Level. *Land*, **12**, **202**, 1-25 (2023).

Bergès, L., Avon, C., Bezombes, L., Clauzel, C., Duflot, R., Foltête, J-C., Gaucherand, S., Girardet, X., Spiegelberger, T. Environmental mitigation hierarchy and biodiversity offsets revisited through habitat connectivity modelling. *J. Environ. Manage.* **256**, (2020).

Bidaud, C., Schreckenber, K., Rabeharison, M., Ranjatson, P., Gibbons, J., Jones, J.P.G. The Sweet and the Bitter: Intertwined Positive and Negative Social Impacts of a Biodiversity Offset. *Conserv. Soc.* **15**, 1–13 (2016).

Bigard, C. Eviter-Réduire-Compenser : d'un idéal conceptuel aux défis de mise en oeuvre : une analyse pluridisciplinaire et multi-échelle. Biodiversité et Ecologie. Université Montpellier, 337 p. (2018).

Business and Biodiversity Offsets Programme (BBOP). Standard on Biodiversity Offsets. BBOP, Washington, D.C (2012).

Byambaa, B. & de Vries, W. T. Evaluating the effectiveness of the environmental impact assessment process in Mongolia for nomadic-pastoral land users. *Impact Assess. Proj. Apprais.* **38**, 39–49 (2020).

Comin, F.A. Ecological restoration and ecosystem services. *In* Life on Land, Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals, 1-10 (2020).

Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure. Nottingham, UK, 31 p. (2017).

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecol. Econ.* **25**, 3–15 (1997).

Droste, N., Alkan Olsson, J., Hanson, H., Knaggard A., Lima, G., Lundmark, L., Thoni, T., Zilli, F. A global overview of biodiversity offsetting governance. *J. Environ. Manage.* **316**, 115231 (2022).

Environ LCC. Detailed environmental impact assessment regarding the pilot project to mine uranium through the in-situ recovery from the Zuuvch Ovoo uranium deposit. 330 p. (2015).

Heiner, M., Galbadrakh, G., Batsaikhan, N., Bayarjargal, Y., Oakleaf, J., Tsogtsaikhan, B., Evans, J., Kiesecker, J. Making space: Putting landscape-level mitigation into practice in Mongolia. *Conserv. Sci. Pract.* **1**, 1–15 (2019).

Heiner, M., Batsaikhan, N., Galbadrakh, D., Bayarjargal, Y., Zumberelmaa, D., Ariungerel, D., Evans, J., Werden, H.V., Kiesecker, J. Towards a national GIS model to map terrestrial ecosystems in Mongolia : a pilot study in the gobi Desert Regio. *Env. Sci.*, 1-11 (2015).

Hughes, J.B., Daily, G.C., Ehrlich, P.R. Population diversity: its extent and extinction. *Science*, **278**, 5338, 689-692 (1997).

International Livestock Research Institute (ILRI). Rangelands Atlas, 42 p. (2021).

IPBES. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. IPBES secretariat, Bonn, Germany. 56 p. (2019)

Jacob, C., Vaissiere, A. C., Bas, A., Calvet, C. Investigating the inclusion of ecosystem services in biodiversity offsetting. *Ecosyst. Serv.* **21**, 92–102 (2016).

Khaulenbek, A., Ihanbai, K. & Batkhoo, N. Saxaul forest in Mongolia – Ecosystem, resources, values. UN REDD+ program, 37 p. (2018)

Kingsford, R.T., West, R.S., Pedler, R.D. Strategic adaptive management planning - Restoring a desert ecosystem by managing introduced species and native herbivores and reintroducing mammals. *Conservation Science and Practice.* **3**, 251-268 (2021)

Lara, A., Little, C., Urrutia, R., McPhee, J., Alvarez-Garreton, C., Oyarzun, C. E., Soto, D., Donoso, P.J., Nahuelhual, L., Pino, M. & Arismendi, I. Assessment of ecosystem services as an opportunity for the conservation and management of native forests in Chile. *Forest Ecology and Management.* **258**, 415–424 (2009).

Liu, L., Liu, J., Zhang, Z. Environmental justice and sustainability impact assessment: In search of solutions to ethnic conflicts caused by coal mining in Inner Mongolia, China. *Sustain.* **6**, 8756–8774 (2014).

Ma, Q., Wu, J., He, C., Fang, X. The speed, scale, and environmental and economic impacts of surface coal mining in the Mongolian Plateau. *Resour. Conserv. Recycl.* **173**, 105730 (2021).

Maestre, F. T., Le Bagousse-Pinguet, Y., Delgado-Baquerizo, M., Eldridge, D.J., Saiz, H., Berdugo, M., Gozalo, B., Ochoa, V., Guirado, E., Garcia-Gomez, M., Valencia, E., Gaitan, J.J., Asensio, S., Gross, N. Grazing and ecosystem service delivery in global drylands. *Dryland Ecology*, 1–6 (2022).

Magsar, U., Baasansuren, E., Tovuudorj, M-E., Shijrbaatar, O., Chinbaatar, Z., Lkhagvadorj, K., Kwon, O. Medicinal plant diversity in the southern and eastern Gobi Desert region, Mongolia. *J. Ecol. Environ.* **42**, 1–13 (2018).

Maudieu, N. Etude comparative de l'effet de la végétation pérenne sur l'écosystème au sein de deux milieux arides en Asie centrale : le désert de Gobi en Mongolie et le désert de Muyunkum au Kazakhstan. Université de Montpellier (Non publié – Soutenance le 12/09/2023)

Maxwell, S., Fuller, R., Brooks, T., Watson, J.E.M. Biodiversity: The ravages of guns, nets and bulldozers. *Nature* **536**, 143–145 (2016).

McCarthy, C., Sternberg, T., Hoshino, B., Banfill, J., Enkhjargal, E., Konagaya, Y., Phillips, S. Preserving the Gobi: Identifying potential UNESCO world heritage in Mongolia's Gobi Desert. *J. Asia-Pacific Biodivers.* **15**, 500–517 (2022).

Murali, R., Ikhagvajav, P., Amankul, V., Jumabay, K., Sharma, K., Bhatnagar, Y.V., Suryawanshi, K. & Mishra, C. Ecosystem service dependence in livestock and crop-based production systems in Asia's high mountains. *J. of Arid Env.* **180**, 1-10 (2020)

Millennium Ecosystem Assessment (MEA). Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC. (2005).

Mongolian National News Agency. En ligne. One Billion Trees. Consulté le 09/08/2023. Disponible sur : <https://montsame.mn/en/more/832>

Morandini, L.A. & Kremen, C. Hedgerow restoration promotes pollinator populations and exports native bees to adjacent fields. *Ecological Applications.* **23**, 829–839 (2013).

Pagett, R. Building global resilience in the aftermath of sustainable development. Palgrave studies in environmental policy and regulation, *Palgrave Macmillan Cham*, 167 p. (2018).

Parlement de Mongolie. Law of Mongolia on environmental impact assessments. Revised version. Ulaanbataar. (2012).

Pfeiffer, M., CHimedregzen, L., Ulykpan, K. Community organization and species richness of ants (Hymenoptera/Formicidae) in Mongolia along an ecological gradient from steppe to Gobi desert. *Jour. of Biogeo.*, **30**, 1921-1935 (2003).

Regnery, B., Quétier, F., Cozannet, N., Gaucherand, S., Laroche, A-L., Burylo, M., Couvet, D. & Kerbiriou C. Mesures compensatoires pour la biodiversité : comment améliorer les dossiers environnementaux et la gouvernance ? *Sciences Eaux & Territoires*, Hors-série **12**, 1-8 (2013).

Richard, N. Compensation écologique et évaluation environnementale : spécificités et enjeux ; limites dans les territoires ultramarins. (2019).

Steffen, W., Crutzen, P., McNeill, J. The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature. *Ambio.* **36**, 614-621 (2008).

Tugjamba, N. & Walkerden, G. Traditional and modern ecosystem services thinking in nomadic Mongolia: Framing differences, common concerns, and ways forward. *Ecosyst. Serv.* **51**, 101360 (2021).

Tupala, A. K., Huttunen, S., Halme, P. Social impacts of biodiversity offsetting: A review. *Biol. Conserv.* **267**, 109431 (2022).

United Nations. Report of the United Nations conference on the human environment. UN, Stockholm, Sweden. 77 p. (1972).

United Nations. Annual report. UN, New York, USA. 141 p. (2021).

United Nation Development Program. Project Document: Land Degradation Offset and Mitigation in Western Mongolia. UNDP, 133 p. (2012).

Upton, C. The Social Context of Mining. Mining, resistance and pastoral livelihoods in contemporary Mongolia. *Change in democratic Mongolia*, 1–19 (2012).

UNEP. World Atlas of Desertification, UNEP Publications, 69 p. (1992).

UNEP. Annual report, UNEP Publications, 80 p. (2004).

Walton, T. Southern Gobi Regional Environmental Assessment. World Bank (Mongolia Discussion Papers, East Asia and Pacific Sustainable Development Department), Washington, DC. (2010).

Xiang, H., Wang, Z., Mao, D., Zhang, J., Zhao, D., Zeng, Y., Wu, B. Surface mining caused multiple ecosystem service losses in China. *J. Environ. Manage.* **290**, 112618 (2021).

Zonneveld, I.S. The land unit – A fundamental concept in landscape ecology, and its applications. *Landscape Ecol.* **3**, 67-86 (1989).

ANNEXES

Annexe 1 : Analyse de la perception des tendances d'évolution des services écosystémiques identifiés

Le nombre total de mentions de chaque tendance d'évolution (diminution, augmentation, stabilité) est calculé pour chaque service écosystémique afin d'identifier si des tendances d'évolution affectent plus spécifiquement certains services. Les lignes colorées indiquent les classes les plus mentionnées pour chaque tendance. Les codes des noms de classe sont indiqués en Annexe 3. La significativité des différences de perception de l'évolution des services entre les catégories de parties prenantes puis de genre est testée via un test de khi² mais ne permettent pas de conclure à des différences significatives, que ce soit entre les catégories de parties prenantes (X-squared = 4.99, df = 9, p-value = 0.83) ou de genre (X-squared = 4.30, df = 3, p-value = 0.23).

Tendance	Classe	Nombre de mentions	Tendance	Classe	Nombre de mentions
Diminution	Control_erosion_2111	18	Stabilité	Control_erosion_2111	1
	Groundwater_4221	8		Groundwater_4221	1
	Hydro_waterflow_2213	6		Hydro_waterflow_2213	10
	Interaction_nat_envi_6111	1		Interaction_nat_envi_6111	3
	Nurspop_habitats_2223	10		Nurspop_habitats_2223	2
	Regul_humi_ventil_2262	5		Regul_atmo_2261	1
	Surfacewater_4211	6		Regul_humi_ventil_2262	11
	Wind_protection_2214	19		Wind_protection_2214	5
	WP_fibers_1152	7		WP_fibers_1152	2
	WP_food_1151	6		WP_food_1151	5
	WP_grazing	21		WP_grazing	6
	Regul_atmo_2261	18			
Augmentation	Control_erosion_2111	1			
	Interaction_nat_envi_6111	6			
	Nurspop_habitats_2223	1			
	WP_fibers_1152	1			
	WP_food_1151	1			
	WP_grazing	1			

Annexe 2 : Compléments d'analyse des services écosystémiques perçus (a) et de l'acceptabilité des pratiques de compensation proposées (b).

a) Liste et nombre de mentions par ordre décroissant des espèces végétales citées dans le cadre des services d'approvisionnement identifiés.

Le saxaul (*Haloxylon ammodendron*) (en rouge) est la 3^e espèce la plus citée et la 1^{ère} espèce pérenne citée. L'espèce est notamment utilisée aux sein du service écosystémique de production d'énergie à partir des plantes (« WP_energy_113 » - Annexe 3).

Espèce	Nombre de citations
<i>Allium mongolicum</i>	38
<i>Allium polyrhizum</i>	32
<i>Haloxylon ammodendron</i>	13
<i>Zygophyllum potaninii</i>	12
<i>Artemisia absinthium</i>	9
<i>Agriophyllum arenarium</i>	9
<i>Artemisia xerophytica</i>	8
<i>Stipa glareosa</i>	8
<i>Ephedra przewalskii</i>	8
<i>Salsola tragus</i>	6
<i>Oxytropis myriophylla</i>	6
<i>Caragana sp.</i>	5
<i>Syringa vulgaris</i>	5
<i>Nitraria sp.</i>	5
<i>Cistanche deserticola</i>	4
<i>Elymus giganteus</i>	4
<i>Scorzonera sp.</i>	4
<i>Salsola passerina</i>	3
<i>Rhodiola rosea</i>	3
<i>Anabasis brevifolia</i>	2
<i>Achnatherum splendens</i>	2
<i>Iris tenuifolia</i>	2
<i>Glycyrrhizae glabra</i>	2
<i>Cleistogenes serotina</i>	1
<i>Pulsatilla vulgaris</i>	1
Safran	1
<i>Tamarix sp.</i>	1
<i>Artemisia rutifolia</i>	1
<i>Tribulus terrestris</i>	1
<i>Plantago major</i>	1
<i>Thymus sp.</i>	1
<i>Songaria cynomorium</i>	1
Nombre total d'espèces	Nombre total de citations
32	199

b) *Analyse des modalités de mise en place des pratiques de compensation proposées*

Les principales modalités évoquées pour chaque pratique de compensation par les participants sont listées sous la forme d'un tableau présentant les différentes modalités et le nombre de mentions de chaque modalité au sein de l'échantillon de participants ayant accepté la pratique (Oui). Les zones grisées correspondent à des modalités non adaptées à la pratique correspondante. Les colonnes « UP ... » correspondent aux unités paysagères où la pratique a été mentionnée comme pouvant être implantée.

Pratique	Acceptabilité		Modalités											
	Non	Oui	Irrigation	Puits	Accès limité	Barrières	1 seul site	Plusieurs sites	Formation + Recherche	UP Forêt	UP Montagne	UP Source	UP Steppe	UP Dune sable
1.	9	17	13		4	1	6	8	6	3	0	1	0	12
2.	8	18	12		3	13	6	8	2	3	0	3	3	9
3.	11	15			5	15	3	6	4	2	1	0	3	3
4.	8	18	15		8	13	8	8	2	0	0	4	3	0
5.	8	18	7		5		3	4	0	0	0	0	0	0
6.	9	17			5	2			1	2	7	1	2	0
7.	5	21		10	6	5			3			21		

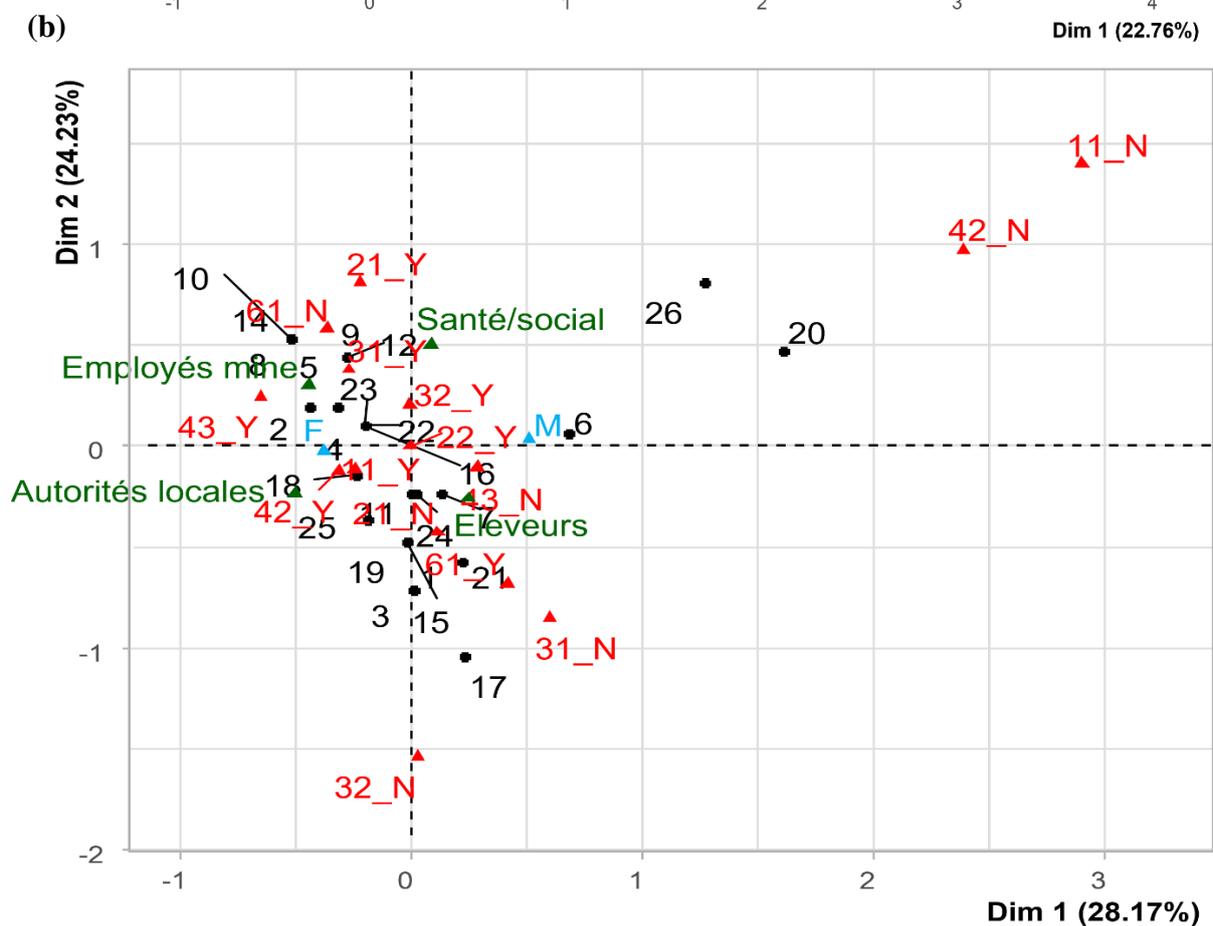
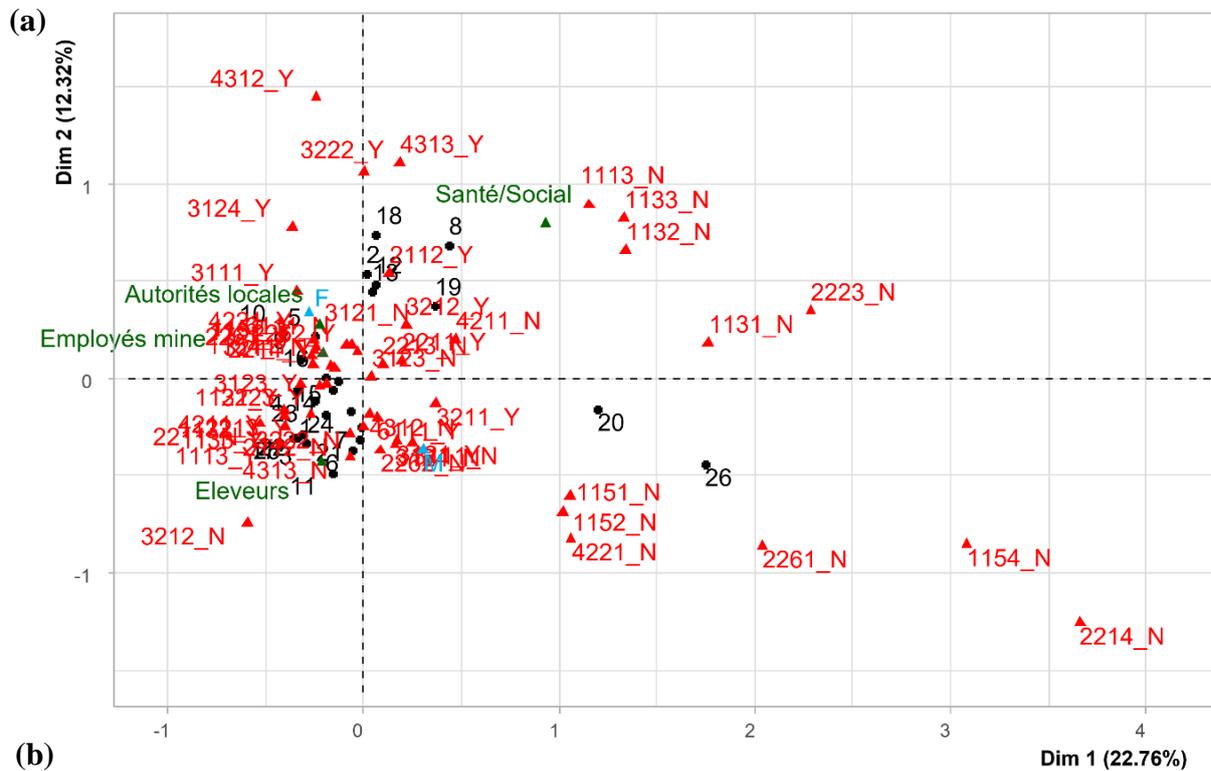
Annexe 3 : Sections et Classes de services écosystémiques identifiés, codes CICES et exemples associés. Les « Codes analyses » sont les codes renseignés dans les tableaux de résultats 5 & 6.

Sections	Classes	Codes CICES – Groupe / Classe	Codes analyses	Exemple de service
Provisionnement - biotic	Wild plant used for nutrition	1.1.5.1	WP_food_1151	<i>Ail sauvage (Allium)</i>
	Fibres and other materials from wild plants for direct use or processing	1.1.5.2	WP_fibers_1152	<i>Plantes médicinales</i>
	Wild plants used as a source of energy	1.1.1.3	WP_energy_1113	<i>Bois mort de saxaul (Haloxylon ammodendron)</i>
	Wild plant grazed by reared animals	1.5.5.4	WP_grazing_1154	<i>Pâturages</i>
	Animals reared for nutritional purposes	1.1.3.1	RA_food_1131	<i>Viande, lait</i>
	Fibres and other materials from reared animals for direct use or processing	1.1.3.2	RA_fibers_1132	<i>Laine</i>
	Animals reared to provide energy	1.1.3.3	A_energy_1133	<i>Transport à dos de cheval</i>
Provisionnement - abiotic	Surface water for drinking	4.2.1.1	Surfacewater_4211	<i>Sources d'eau</i>
	Ground (and subsurface) water for drinking	4.2.2.1	Groundwater_4221	<i>Puits</i>
	Mineral substances used for material purposes	4.3.1.2	M_materials_4312	<i>Barrières construites en pierre</i>
	Mineral substances used as an energy source	4.3.1.3	M_energy_4313	<i>Charbon</i>
Regulation & Maintenance - biotic	Filtration/sequestration/storage / accumulation by micro-organisms, algae, plants, and animals	2.1.1.2	Filtration_plants_2112	<i>Filtration de la poussière par les arbres</i>
	Control of erosion rates	2.2.1.1	Control_erosion_2111	<i>Racines des arbres</i>
	Wind protection	2.2.1.4	Wind_protection_2214	<i>Haies</i>
	Hydrological cycle and water flow regulation	2.2.1.3	Hydro_waterflow_2213	<i>Qualité de l'eau des sources</i>

	Maintaining nursery populations and habitats	2.2.2.3	Nurspop_habitats_2223	<i>Plantes inféodées aux montagnes</i>
	Regulation of temperature and humidity, including ventilation and transpiration	2.2.6.2	Regul_humi_ventil_2262	<i>Source permettant de maintenir l'humidité de l'air</i>
	Regulation of chemical composition of atmosphere and oceans	2.2.6.1	Regul_atmo_2261	<i>Arbres</i>
Cultural - biotic	Characteristics of living systems that enable activities promoting health, recuperation or enjoyment through active or immersive interactions	3.1.1.1	Activities_enjoyment_3111	<i>Promenades au sein des montagnes</i>
	Characteristics of living systems that enable scientific investigation or the creation of ecological knowledge	3.1.2.1	Scientific_invest_3121	<i>Os de dinosaures</i>
	Characteristics of living systems that are resonant in terms of culture or heritage	3.1.2.3	Culture_heritage_3123	<i>« Rocher des chameaux »</i>
	Characteristics of living systems that enable aesthetic experiences	3.1.2.4	Aesthetic_exp_3124	<i>Paysages de montagnes</i>
	Elements of living systems that have sacred or religious meaning	3.2.1.2	Sacred_religion_meaning_3212	<i>Montagnes</i>
	Characteristics of living systems that have an existence value	3.2.2.1	Existence_value_3221	<i>Steppe</i>
Cultural - abiotic	Natural, abiotic characteristics of nature that enable active or passive physical and experiential interactions	6.1.1.1	Interaction_nat_envi_6111	<i>Dunes de sables, rochers</i>

Annexe 4 : Représentation graphique de l'ACM réalisée sur les Classes (a) et les Divisions (b) de services écosystémiques (en rouge) perçus (*code_Y*) ou non (*code_N*).

Pour simplifier la lecture, seuls les codes associés aux noms des classes et des divisions de services sont renseignés. Leur correspondance avec les noms complets est disponible en Annexe 3. Les catégories de parties prenantes (en vert) et de genre (en bleu) sont intégrées en tant que variables supplémentaires. Les points noirs correspondent aux participants.



Annexe 5 : Liste des éléments paysagers mentionnés par les participants et agrégés par catégorie.

Les catégories ont été choisies afin d'être les plus représentatives possible de la nature des différents éléments rencontrés au sein de la zone d'étude, certains éléments pouvant rentrer dans plusieurs catégories en fonction de leur perception par les participants.

Catégorie	Éléments paysagers
Relief	Montagnes d'Argalant Montagnes de Takhiat Montagnes de Bayan Bogd Collines de Dartsagt Dunes de sable
Eau	Source de Bayan Shiree Source de Baruun Bayan Puit
Symbolique	Élément paysager divers Monastère Khamar Paléontologie Monument culturel divers
Construction	Route Camp de Duulan Uul Camp de Zuuvch Ovoo Ville d'Ulaanbadrakh Ville de Dzüünbayan Ville de Sainshand Aire de tri des déchets Mine de pétrole Camp touristique
Dégradation	Zone de désertification Zone d'érosion
Végétation	Pâturages Plantes comestibles Plantes médicinales Arbres Fourrages Forêt de saxauls Forêt de tamaris Forêt de sakuras
Animaux	Animaux d'élevage Animaux sauvages

RÉSUMÉ

Les pratiques de compensation écologique visent à contrebalancer les impacts résiduels négatifs des projets d'aménagement. Afin de prendre en compte l'ensemble des composantes de l'écosystème, les services écosystémiques (SE) doivent être intégrés au sein de ces pratiques, qui concernent souvent seulement les impacts sur la biodiversité. De plus, il est aujourd'hui prouvé que la réussite d'un projet de compensation passe par sa bonne acceptabilité sociétale. Un cadre de travail a donc été développé et appliqué à un projet minier d'extraction d'uranium en Mongolie. Il a été supposé que le développement de pratiques de compensation bien acceptées et intégrant les services écosystémiques passait par le dire d'acteurs. Des entretiens qualitatifs semi-directifs ont été menés auprès de différentes parties prenantes. À l'aide de la Classification Internationale Commune des Services Écosystémiques, 26 classes de SE ont été identifiées. Un lien significatif entre SE et unités paysagères a été mis en évidence, ainsi qu'entre SE et catégories de parties prenantes. Une bonne acceptabilité de certaines pratiques de compensation et le souhait de développer des projets globaux ressortent également. Le cadre développé a donc été efficace pour déterminer les SE d'importance de la zone d'étude et définir des pratiques de compensation pouvant être mises en place avec l'adhésion des populations.

ABSTRACT

Biodiversity offsets aim to compensate the negative residual impacts of development projects. In order to take account of all ecosystem components, ecosystem services (ES) must be integrated into these practices, which often only concern impacts on biodiversity. In addition, it has been proven that the success of an offset project depends on its social acceptability. A framework was therefore developed and applied to an uranium mining project in Mongolia. It was assumed that the development of well-accepted offset practices integrating ecosystem services would depend on stakeholders' point of view. Semi-structured qualitative interviews were conducted with various stakeholders. Using the Common International Classification of Ecosystem Services, 26 ES classes were identified. A significant link was found between ES and landscape units, as well as between ES and stakeholder categories. Some well-accepted practices and the desire to develop global projects also emerged. The framework developed was therefore effective in determining the significant ES in the study area and defining practices that could be implemented with the support of the local populations.

MOTS-CLÉS

Services écosystémiques ; Compensation écologique ; Acceptabilité sociale ; CICES ;
Unités paysagères ; Zones arides ; Mongolie