

MASTER 1

Observation de la Terre et Géomatique

Travail d'Étude et de Recherche 2023-2024



ADANDE Maxime Rinaldo

Sujet du TER : Spatialisation des données agro-environnementales sur les Hautes-Chaumes vosgiennes

Encadrante(s) : Eric MAIRE eric.maire@live-cnrs.unistra.fr
ERTLEN Damien damien.ertlen@live-cnrs.unistra.fr

Laboratoire Image, Ville, Environnement
UMR7362 CNRS-Unistra
3 rue de l'Argonne F-67000 Strasbourg

Table des matières

Introduction Générale.....	5
1. État de l'art et problématique : questionner la dynamique des prairies à l'échelle parcellaire dans les Hautes-Chaumes vosgiennes (HCV).....	7
1.1 Comprendre ce que sont les prairies montagnardes pour mieux les caractériser.....	7
1.2. Données et méthodes pour la caractérisation et le suivi des prairies de montagne.....	8
1.3. Quelles échelles de spatialisation des données agro-environnementales associées aux prairies montagnardes ?	10
2. Objectifs et hypothèses de travail	11
3. Cadre de l'étude et démarche méthodologique	12
3.1. Territoire de l'étude.....	12
3.2. Données utilisées et sources	13
3.2.1. Données de types géométriques.....	13
3.3. Prétraitements et cartographie des données.....	15
3.3.1. Construction des indicateurs de gestion ou d'évolution des cultures.....	15
3.3.2. Représentation des changements de surfaces associées aux cultures	15
3.3.3. Spatialisation des indicateurs de gestion	16
4. Dynamique spatio-temporelle des prairies sur les Hautes-Chaumes Vosgiennes	17
4.1. Évolution des déclarations selon le nombre et les surfaces de parcelles de 2015 à 2022	17
4.1.2. Détection des changements associés aux surfaces de cultures.....	21
5. Discussion.....	25
5.1. Diminution des parcelles d'une année à une autre (entre 2015 et 2022).....	25
5.2. Les PPH comme indicateurs de gestion prédominants	26
5.3. L'implication des outils SIG dans la construction des indicateurs de gestion des prairies.....	27
Conclusion Générale	28
Annexes.....	29
Bibliographie	31

Liste des figures

Figure 1 : Présentation du milieu d'étude.....	12
Figure 2 : Organigramme des étapes suivies.....	13
Figure 3 : Répartition des surfaces de cultures de 2015 à 2022	14
Figure 4 : Paysages des réserves de Rothenbach et Frankenthal-Missheimle.....	14
Figure 5 : Distribution des effectifs relatifs aux déclarations des parcelles de 2015 à 2022	17
Figure 6 : Évolution du nombre et de la superficie des parcelles déclarées de 2015 à 2022	17
Figure 7 : Évolution des types de cultures de 2015 à 2022.....	18
Figure 8 : Évolution des surfaces de cultures entre 2015-2022	18
Figure 9 : Répartition des données de gestion des cultures en 2015	19
Figure 10 : Répartition des données de gestion des cultures en 2022	20
Figure 11 : Évolution des parcelles déclarées de 2015 à 2022.....	21
Figure 12 : Évolution des superficies des catégories des réserves de 2015 à 2022	22
Figure 13 : Carte des changements des réserves entre 2015 et 2022	23
Figure 14 : Évolution comparative des changements associés aux cultures entre 2015-2022	23
Figure 15 : Diagramme de Sankey sur l'évolution des indicateurs de gestion entre 2015-2022.....	24
Figure 16 : Transition des réserves sur des parcelles de cultures entre 2015 et 2022	25
Figure 17 : Proportions des indicateurs de gestion des cultures entre 2015 et 2022	26
Figure 18 : Proportion des indicateurs de gestion en 2015 et 2022	26
Figure 19 : Changements associés aux indicateurs de gestion des prairies entre 2015 et 2022	26

Introduction Générale

Cette partie contextualise et justifie notre recherche. Une attention particulière est portée aux enjeux socio-environnementaux en lien avec la gestion des prairies montagnardes. La dernière section met surtout l'accent sur les enjeux scientifiques au regard des connaissances actuelles sur le sujet étudié.

Faire face aux enjeux environnementaux associés aux espaces montagnards

Aujourd'hui, la gestion des espaces de montagne doit répondre davantage à plusieurs enjeux liés au changement climatique (sécheresse ou baisse de la pluviométrie, réduction de la neige, etc.) et à l'intensification des activités humaines telles que le tourisme. Ces problèmes qui contribuent à fragiliser leurs écosystèmes (espèces animales et végétales, cours d'eau, etc.), ont des répercussions environnementales considérables : diminution des habitats écologiques, perturbation des activités agro-pastorales et touristiques, fragmentation de la biodiversité et raréfaction des espèces. En France métropolitaine, ces problèmes se posent d'ores et déjà avec acuité, d'autant que ces espaces représentent environ 30 % du territoire (Ferrez, 2017). Parmi ces milieux, le massif des Vosges se distingue par une grande diversité biologique, répartie entre prairies, forêts, hauts reliefs (Lenglet, 2020). En effet, ces espaces sont représentatifs de bien d'enjeux agro-écologiques, liés notamment à leurs caractères multifonctionnels.

Valoriser les fonctionnalités de l'écosystème montagnard vosgien

L'exemple le plus spectaculaire dans le Massif des Vosges est celui des prairies. Une prairie peut être définie comme une formation végétale « ouverte », souvent composée de plantes herbacées (graminée, cypéracées), dont la typologie varie en fonction du type de sol (prairies aquatiques ou marécageuses) ou des caractéristiques topographiques (prairies altimontaines ou afroalpine, prairies alpines) (Daget & Poissonnet, 2010), ou encore du type d'acteurs (éleveur, écologue, agronome). Ces milieux offrent des services écologiques importants tant ils constituent des habitats préférentiels d'espèces végétales et animales (niches écologiques d'oiseaux), de puits de séquestration du carbone offrant une meilleure qualité de l'air. Les prairies contribuent surtout au maintien d'espaces tout en préservant leur caractère ouvert (Pornaro *et al.*, 2017). Elles assurent d'autres fonctions favorables au bien-être de l'homme et à l'environnement : approvisionnement en eau potable pour les communautés, protection des sols contre les érosions (Peeters *et al.*, 2018). Les prairies peuvent aussi et surtout servir de pâturages (espaces pâturés ou herbages), c'est-à-dire de milieux privilégiés pour des activités d'élevage ou d'alimentation du bétail (bœufs, vaches, chèvres) pour des exploitants agricoles. Dans les Vosges, cet écosystème participe d'une biodiversité riche et variée répartie notamment sur des sites protégés (forêts, parcs, réserves naturelles), présentant de multiples enjeux à la fois sociaux, économiques, écologiques, mais aussi scientifiques.

Explorer les outils de gestion des prairies dans les Hautes Chaumes Vosgiennes (HCV)

Les Hautes Chaumes sont des espaces géographiques composés de paysages variés (prairies, pâtures, landes d'altitude) qui s'étendent sur une trentaine de kilomètres de part et d'autre du Hohneck jusqu'à l'ensemble Gazon de Faîte-Gazon du Faing-Reisberg vers le nord, jusqu'au Grand Ballon vers le sud-est (Sell *et al.*, 1998). Paysages typiques des crêtes vosgiennes, ces espaces couvrent des altitudes d'au moins 900 m. Comme évoqué précédemment, la gestion des prairies y répond à des enjeux multiples, liés notamment aux pratiques pastorales (activités

de pâturage ou d'élevage du bétail) et aux perturbations climatiques (Gianelle *et al.*, 2018). Pour faire face à ces enjeux socio-économiques et environnementaux, la gestion des prairies dans les HCV fait l'objet de plusieurs actions, qui se déclinent souvent en politiques agricoles et programmes de recherche-action. Les politiques peuvent être des dispositifs de soutien aux acteurs agricoles, par exemple la Politique Agricole Commune (PAC)¹ qui propose des mesures de gestion (durable) des prairies dans les HCV (MEEDDM, 2009). Les autres programmes s'apparentent aux initiatives collaboratives entre plusieurs acteurs (décideurs, exploitants agricoles, scientifiques), telles que le dispositif « Alpagnes Sentinelles » (Chaix *et al.*, 2017).

Malgré leur diversité, ces dispositifs semblent avoir un objectif commun qui consiste à valoriser la connaissance des surfaces de prairies dans ces milieux (HCV). C'est dans ce cadre qu'a été développé le Registre Parcellaire Graphique (RPG). Le RPG correspond à une base de données qui sert notamment de référence à l'instruction des mesures de la PAC. C'est un outil qui met à disposition les données sur les surfaces de prairies telles que les cultures permanentes et les surfaces pastorales, obtenues à partir des déclarations des exploitants agricoles. Ces surfaces représentent des parcelles, vues comme des unités foncières de base des déclarations des agriculteurs². En effet, les données contenues dans le RPG peuvent aider à appréhender la dynamique des espaces que sont les cultures en prairies dans les Hautes Chaumes Vosgiennes.

Evaluer et spatialiser les indicateurs de gestion des prairies dans les HCV

La présente étude s'inscrit pleinement dans le contexte précité. Cependant, dans la littérature, peu d'études se sont consacrées aux prairies en utilisant notamment les données à l'échelle de la parcelle. En effet, la majeure partie des travaux s'est jusqu'alors intéressée aux communautés d'espèces et sur des espaces très grands (Rapinel *et al.*, 2019 ; Fauvel *et al.*, 2021). Autrement dit, ces travaux méconnaissent la dynamique temporelle et spatiale des unités d'occupation des espaces de prairies (fauches, surfaces pastorales, bois pâturés, prairies permanentes, prairies pâturées) et aux échelles fines (Quenum, 2009 ; Bermudes, 2022). Outre ces données agro-environnementales, il existe une autre catégorie négligée, à savoir les réserves biologiques. Ces verrous scientifiques concernent aussi les méthodes utilisées. En effet, très peu d'études ont fait appel aux outils SIG (Systèmes d'Information Géographiques) (Shaqura et Lasseur, 2023).

Dans ce contexte, notre recherche s'appuie sur la problématique suivante : ***comment prendre en compte les données RPG et des réserves pour déterminer la dynamique des prairies à l'aide des outils SIG, entre 2015 et 2022, dans les Hautes Chaumes Vosgiennes ?***

Afin de répondre à cette question, ce mémoire est subdivisé en cinq parties. La première met en lumière notre question de recherche en faisant un bref « état de l'art ». La deuxième présente les objectifs et les hypothèses de travail au regard des enjeux scientifiques que soulève notre problématique. La troisième partie est consacrée au cadre de l'étude ainsi qu'à la démarche méthodologique. Nous y présentons aussi bien le territoire de l'étude que les données et outils utilisés pour répondre à nos hypothèses. La quatrième partie s'articule autour des résultats des traitements et analyses effectués. Enfin, dans une cinquième partie, nous discutons les résultats, à savoir leurs implications au regard des connaissances scientifiques actuelles.

¹ <https://www.vie-publique.fr/fiches/20381>

² <https://geoservices.ign.fr/rpg>

1. État de l’art et problématique : questionner la dynamique des prairies à l’échelle parcellaire dans les Hautes-Chaumes vosgiennes (HCV)

La question relative à la dynamique spatiale et temporelle des surfaces de cultures exploitées sous prairies est rarement traitée aux échelles fines dans les Hautes Chaumes Vosgiennes (HCV). En effet, la plupart des études ont été consacrées à la connaissance des diverses communautés végétales dans ces milieux, à savoir leur diversité floristique, sur de grandes surfaces. L’objectif de cette partie est de discuter de la problématique générale de notre étude au regard des connaissances présentes dans la littérature. Cette discussion s’articule en trois sections. La première propose une présentation des différentes caractéristiques de prairies (typologie, techniques de gestion). La deuxième porte sur les catégories de données et méthodes utilisées pour la caractérisation et le suivi de ces milieux. La troisième section questionne les échelles de spatialisation des indicateurs appliqués à leur étude.

1.1 Comprendre ce que sont les prairies montagnardes pour mieux les caractériser

Dans les milieux montagnards, les surfaces de prairies se distinguent par leur diversité végétale. C’est le cas du Massif des Vosges et ses Hautes Chaumes, composées de prairies mixtes fertiles sur sol sableux, prairies de fauche ou mixtes fraîches, prairies de fauche ou mixte d’altitude à fétuque rouge, etc. (Bayeur *et al.*, 2020). Le maintien de ces espaces ouverts (agricoles et naturels) et leur gestion dépendent souvent des activités qui contribuent à leur dynamique : protection, restauration, pâturage. Cependant, ces activités peuvent varier selon les types de cultures et de techniques de gestion observés.

- *Quelques catégories de cultures sous prairies montagnardes*

Dans le Registre parcellaire graphique (RPG)³, il existe des données sur l’usage du sol issues des déclarations PAC⁴ des exploitants agricoles. Deux nomenclatures ont été élaborées dont la version 2.0 de 2015-2019 qui reste en vigueur jusqu’à ce jour. Les données y sont fournies à l’échelle des parcelles et permettent d’avoir des informations sur les groupes culturaux tels que les prairies temporaires et les prairies permanentes. Ces groupes sont divisés en cultures principales. Nous retiendrons les prairies permanentes avec herbe prédominante (PPH), qui renvoient aux surfaces en herbe ou d’autres plantes fourragères herbacées maintenues pendant une longue durée (depuis plus de 5 ans). D’autres cultures telles que les surfaces pastorales avec herbe prédominante (SPH), retrouvées dans les estives, landes comprennent certains types de pâturages ou de prairies permanentes pâturées.

Toutefois, certaines surfaces agricoles peuvent relever des cultures non déclarées ou des fauches (prairies fauchées). Ces zones non déclarées peuvent aussi se répartir sur des réserves biologiques comprises dans les Aires Protégées (AP), en faisant l’objet d’activités pastorales. Autrement dit, **certaines zones d’habitats naturels ou d’espèces protégées peuvent faire place à certaines cultures non déclarées sur des surfaces de quelques dizaines d’hectares ou plus.** Ces surfaces peuvent permettre de caractériser et de suivre l’évolution de certaines prairies, ou plus globalement la dynamique de gestion associée à ces milieux.

- *Les techniques de gestion sous prairies montagnardes*

Le dispositif « Alpes Sentinelles »⁵ est un mode de gestion et de suivi couramment développé dans les espaces pâturés de montagne (notamment dans les Alpes) en saison estivale. L’alpage

³ Bases de données sur le Registre parcellaire graphique

⁴ Politique Agricole Commune : <https://www.vie-publique.fr/fiches/20381>

⁵ <https://www.alpages-sentinelles.fr/>

sentinelle s'opère aussi dans les espaces naturels protégés tels que les parcs nationaux et les sites Natura 2000. Cette technique est surtout appliquée en contexte de changement climatique. Les objectifs sont *de comprendre et d'anticiper les impacts notamment sur les ressources en eau et les végétations (ressource fourragère disponible pour les troupeaux et la biodiversité), mais aussi de renforcer la capacité des systèmes pastoraux à s'adapter à ces effets*⁶. Dans ce contexte, ce dispositif s'organise à l'interface entre les acteurs scientifiques, du monde agricole et de développement (éleveurs, bergers, gestionnaires des espaces naturels, etc.) (Crouzat *et al.*, 2021). Cette gouvernance concertée se double d'une co-construction d'outils opérationnels (diagnostic, suivi, conseil, etc.) pour une gestion durable de ces milieux (Dobremez, 2014).

Les Mesures Agri-Environnementales « MAE » pilotées par l'Union Européenne et observées dans les Vosges⁷ permettent aussi la gestion des prairies. Les enjeux associés sont écologiques (par exemple, la préservation des habitats floristiques), climatiques (atténuation des impacts par une pratique agricole adaptée) et pédologiques. Elles permettent surtout le maintien des pratiques extensives, source de pâtures (espaces pâturés).

1.2. Données et méthodes pour la caractérisation et le suivi des prairies de montagne

Dans cette étude, nous voulons appréhender la dynamique des surfaces de prairies dans les Hautes Chaumes Vosgiennes. Pour cela, plusieurs données et méthodes sont discutées dans la littérature. Commençons par les données agro-environnementales avant de voir les méthodes.

- Des données agro-environnementales de sources variées

Des études ont proposé différents types de données et d'indicateurs pour caractériser et suivre la dynamique des cultures de prairies. Mazagol et Porteret (1962) pensent qu'il existe 21 indicateurs de la distribution du couvert végétal parmi lesquels : la pente, l'exposition, l'altitude, le substrat, la rugosité des surfaces, etc. Cependant, leur étude concerne les Hautes Chaumes du Forez qui s'élèvent à plus de 900 mètres d'altitude (entre 1200 et 1400 m).

Selon le réseau « Alpes sentinelles » (2018), un cadre d'analyse peut être appliqué autour de trois composantes déclinées en sept indicateurs, à savoir :

- la ressource pastorale : elle se rapporte à la biomasse produite par les pelouses accueillant le bétail ;
- les pratiques pastorales : vues par quartiers d'alpages en fonction de l'effectif des troupeaux en présence ;
- la consommation de la ressource : elle concerne le fourrage utilisé pour alimenter les espèces et varie en fonction de la culture de la zone de pratique de l'activité pastorale.

Ce cadre permet d'analyser et de comprendre la dynamique des pratiques pastorales, avec un regard plus ou moins complet sur les choix de conduites pastorales des exploitants. Mais cette approche est limitée par l'insuffisance de données déclaratives fournies par ces exploitants.

Une autre catégorie de données est fournie par le Registre Parcellaire Graphique (RPG). Le RPG renseigne sur les pratiques agro-pastorales à l'échelle des îlots et des parcelles. Un îlot est constitué de plusieurs parcelles qui représentent différents types de cultures telles que le blé, le maïs, et d'autres plantes fourragères et surfaces pastorales, déclarées par un exploitant

⁶ [Les mesures agri-environnementales sur les hautes chaumes](#) (Parc naturel régional des Ballons des Vosges, 2023)

⁷ [Les mesures agri-environnementales sur les hautes chaumes](#) (Parc naturel régional des Ballons des Vosges, 2023)

agricole. Si le RPG permet d'avoir des données sur les surfaces de cultures notamment sous prairies à l'échelle des parcelles à partir de l'année 2015, ce registre ne donne surtout pas des informations sur les limites des parcelles (Martin & Scheurer, 2017).

Certains auteurs (Cantelaube & Carles, 2014) ont montré la nécessité d'identifier les surfaces agricoles absentes du RPG, notamment les cultures permanentes, afin d'avoir une bonne couverture des unités paysagères. Pour cela, ils proposent d'utiliser notamment les données géographiques CORINE Land Cover (CLC). Pourtant, la précision et la résolution spatiales de ces données sont souvent remises en question par rapport au RPG.

D'autres types de données comme la biomasse (Choler *et al.*, 2021), la topographie, les données géologiques, pédologiques, phytosociologiques, ont été utilisées. Outre cela, Hadria *et al.* (2009) ont testé l'apport des indices tels que le NDVI (Indice de végétation par différence normalisée) dans l'étude des prairies irriguées (Sud-Est de la France). Ces analyses se sont appuyées sur des données extraites d'images satellitaires (8m) issues d'un capteur (FORMOSAT-2)⁸ et ont montré une variabilité temporelle des dates de coupes aux échelles fines, notamment de la parcelle. Mais contrairement aux Hautes Chaumes Vosgiennes, le territoire investigué concerne une zone de plaine.

Par ailleurs, Fauvel *et al.* (2021) ont étudié la diversité des espèces de prairies en faisant intervenir des séries temporelles issues des capteurs Sentinel 1 et 2, aux côtés des données et informations contenues dans le RPG. Là aussi, il s'agit des données satellitaires (10m*10m) dont les analyses ont montré une différenciation intraparcellaire (à l'échelle des parcelles et de la période analysée), qui se traduit par une diversité spécifique quant aux surfaces de cultures observées.

Shaqura et Lasseur (2023), quant à eux, ont essayé de déterminer les surfaces pastorales à l'aide d'informations fournies par le RPG et des données d'enquêtes pastorales (caractérisant les entités pastorales), en s'appuyant notamment sur des images satellites SPOT 6. Même si les analyses menées sont intéressantes notamment dans la connaissance des surfaces pastorales des espaces de montagne (notamment des Alpes du Sud), cette étude n'a pas permis d'évaluer efficacement certaines catégories de prairies temporaires et permanentes.

- De la diversité des méthodes pour analyser la dynamique des prairies montagnardes

Autant il existe plusieurs données et indicateurs dans la caractérisation de la dynamique spatiale et temporelle des surfaces de cultures sous prairies montagnardes, autant les méthodes pour analyser ces données sont diverses et variées. La littérature documente des procédés qui vont de la simple spatialisation à la modélisation statistique des données géographiques et spatiales.

Parmi ces procédés, certaines études ont fait appel aux outils SIG (Systèmes d'Information Géographiques). Nous avons par exemple l'étude de Shaqura et Lasseur (2023) qui, à partir des outils de géotraitement issus de QGIS, a pu caractériser les surfaces pastorales, en confrontant les données du RPG aux enquêtes pastorales (données déclaratives).

Il existe d'autres procédés tels que les analyses statistiques multivariées, à savoir l'Analyse en Composante Principale (ACP) et la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). Grâce à ces outils, Marie *et al.* (2013) ont pu cartographier les typologies des cultures sur tout le territoire de la France à partir des données du RPG. Dans cette liste, on peut ajouter une autre catégorie qui concerne les méthodes basées sur les indices tels que le NDVI et les techniques de

⁸ C'est un satellite taïwanais lancé depuis mai 2004, contenant un capteur à pas de temps journalier.

classification supervisée. Par exemple, Fauvel *et al.* (2021) ont utilisé l'algorithme Random Forest (RF) pour classer les espèces de prairies, en se basant sur les cultures recensées dans le RPG. Même si ces dernières techniques de télédétection sont reconnues notamment pour leurs précisions et résolutions spatiales de qualité satisfaisante, ces méthodes sont pour la plupart basées sur des indicateurs quantitatifs, en ignorant fréquemment les données qualitatives telles que les déclarations des exploitants agricoles.

Somme toute, notre étude suppose que l'utilisation des données du RPG peut permettre de mieux analyser la dynamique des surfaces de prairies dans les Hautes Chaumes Vosgiennes à l'aide des outils SIG. En effet, nous pensons que ces outils offrent de nombreuses possibilités dans l'analyse des données agro-environnementales associées à ces milieux : détermination des superficies, du nombre de parcelles, évaluation des géométries, analyse des changements (disparition, progression, régression) des différentes catégories de cultures. Dans le cadre de cette hypothèse, **nous nous proposons d'utiliser les données associées aux réserves (biologiques).** Mais quelle peut être l'échelle la plus adaptée à une telle démarche qui peut conduire à la construction d'indicateurs de gestion des prairies ?

1.3. Quelles échelles de spatialisation des données agro-environnementales associées aux prairies montagnardes ?

Nous avons vu que l'étude des catégories de prairies montagnardes incite à utiliser plusieurs types d'outils et de données. Ce constat se fait aussi au sujet des échelles d'analyse temporelle et spatiale de ces milieux. Cette question ressort dans la plupart des travaux précédemment cités, qui alternent entre des analyses aux échelles larges et fines, notamment à la lumière des données utilisées et de leurs sources. Comme conséquence de cela, il y a surtout la construction des indicateurs pertinents.

- Des analyses aux échelles temporelles et spatiales différentes selon les données

L'utilisation des données à l'échelle d'îlots, comme c'est le cas dans le RPG, a été déjà faite par plusieurs études (Marie *et al.*, 2013 ; Shaqura et Lasseur, 2023). Au-delà des territoires d'étude considérés dans ces travaux, ces données renvoient aux échelles spatiales plus larges, c'est-à-dire à un ensemble de parcelles et de catégories de cultures associées. Contrairement à ces travaux, certaines analyses ont été conduites aux échelles spatiales et temporelles fines, à l'exemple de l'étude de Hadria *et al.* (2009) qui s'est limitée à l'échelle de la parcelle, et en utilisant les données associées au NDVI. Dans ce même objectif, Hady Saïd *et al.* (2011) ont choisi d'utiliser les données parcellaires pour détecter les dates des opérations de fauche des prairies.

Pour ne citer que ces études et les catégories de données mobilisées, nous pouvons relever des problèmes relatifs aux critères d'évaluation des indicateurs d'évolution des prairies aux échelles larges (notamment des îlots). En effet, les surfaces de cultures peuvent être très variables d'une parcelle à une autre et cette variabilité est souvent due à la diversité de ces formations, tout comme aux pratiques agro-pastorales développées. Ainsi, la précision et la résolution spatiales des données peuvent poser des problèmes dans le cadre de ces échelles, contrairement aux analyses plus fines qui se consacrent à la dynamique de ces milieux à l'échelle parcellaire. En effet, ce niveau de spatialisation des indicateurs peut permettre de décrire ces formations en fonction des conditions agro-environnementales spécifiques à chaque catégorie de cultures, et donc de mieux caractériser la diversité et l'hétérogénéité de ces surfaces.

L'enjeu de cette étude est donc de prendre en compte l'échelle des parcelles pour spatialiser plus finement les indicateurs de gestion de prairies sur les Hautes Chaumes Vosgiennes. A cette échelle, il est possible de développer des outils et méthodes adaptés à la construction d'indicateurs d'évolution des surfaces de cultures sur la base des données de gestion (pâturage, fauche, réserves).

2. Objectifs et hypothèses de travail

L'objectif général est d'analyser la dynamique des surfaces de cultures exploitées sous prairies à l'échelle des Hautes Chaumes Vosgiennes entre 2015 et 2022. L'étude se base sur les données parcellaires des cultures telles que les PPH, les SPH, les réserves biologiques, les surfaces non déclarées. Pour répondre à cet objectif, nous émettons deux hypothèses.

La première est la suivante : **les données issues du RPG peuvent permettre de construire des indicateurs d'évolution des cultures telles que les PPH et les SPH à l'échelle parcellaire.** Ces indicateurs sont traduits par l'évolution des superficies, du nombre de parcelles et associés à des changements qui s'expriment par la progression et/ou la régression de ces surfaces. L'objectif est d'identifier les données relevant des déclarations des exploitants agricoles à l'échelle des parcelles, en associant les réserves biologiques.

La seconde hypothèse considère que : **il est possible de construire ces indicateurs grâce aux outils SIG à une échelle fine (parcelle) qui caractérise mieux la variabilité de ces surfaces de cultures.** A ce niveau, nous voulons évaluer les indicateurs d'évolution et de changements des PPH, des SPH et des réserves à l'aide d'outils SIG, notamment à l'échelle fine des parcelles.

3. Cadre de l'étude et démarche méthodologique

Pour répondre à nos hypothèses, nous avons utilisé des données et outils qui sont présentés dans les sections suivantes. Tout d'abord, nous allons décrire la zone d'étude avant d'énumérer les données que nous avons traitées grâce aux outils de géotraitement QGIS et aux librairies python (geopandas, matplotlib et plotly. Graph), sous Jupyter Notebook.

3.1. Territoire de l'étude

La zone étudiée est une partie du territoire du Massif des Vosges qui couvre le Parc Naturel Régional des Ballons des Vosges (PNRBV) dans la région française du Grand Est (figure 1). C'est une zone de moyenne montagne de près de 60 milliers d'hectares, qui culmine jusqu'à 1424 mètres d'altitude avec des dispositions en étages de la végétation (Goepp, 2007). Le PNRBV quant à lui est érigé en 1995 et s'étend sur 746 hectares. Ce parc abrite le territoire des Hautes Chaumes qui représentent de vastes étendues herbeuses d'environ 900m d'altitude (Goepp, 2007 ; Sell et *al.*, 1998).

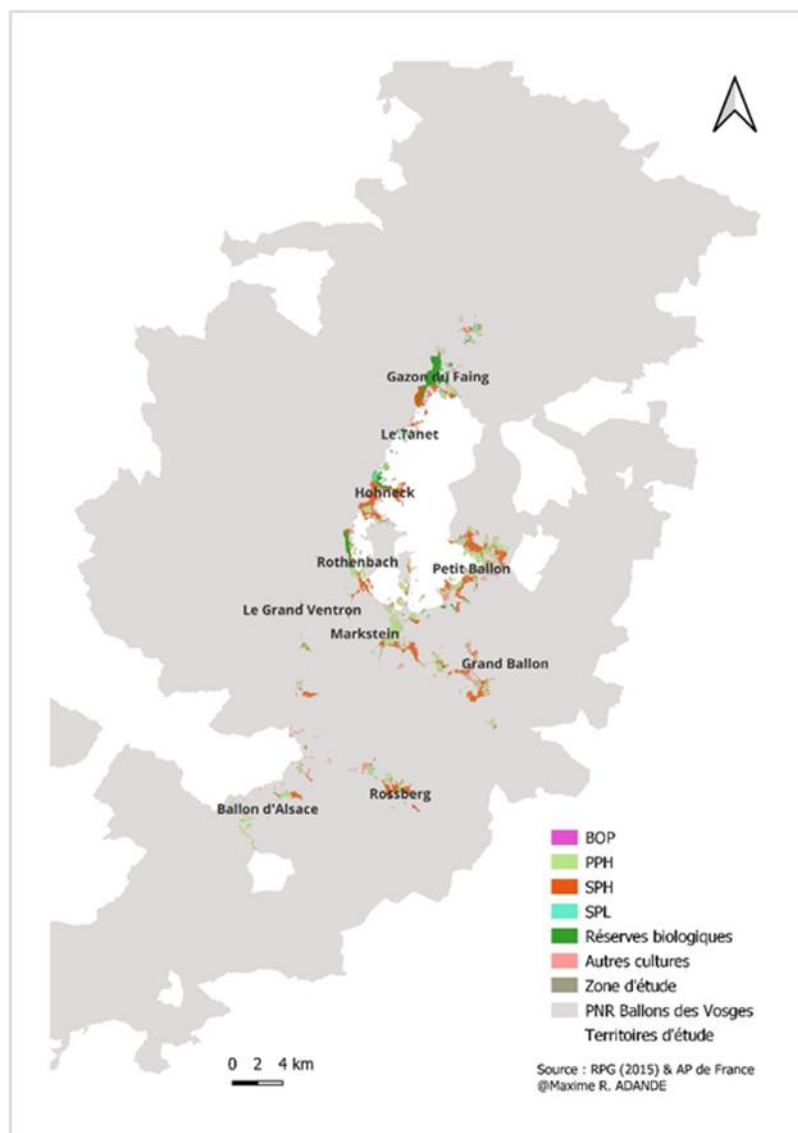


Figure 1 : Présentation du milieu d'étude

Dans ce territoire, nous retrouvons plusieurs catégories de cultures telles que les estives et landes qui regroupent le Bois Pâturé (BOP), les surfaces pastorales à herbe prédominante (SPH). On y récence aussi les prairies permanentes à herbe prédominante (PPH) dans la catégorie des prairies permanentes (figure 1).

Enfin, dans le cadre de notre recherche, nous avons considéré les surfaces de prairies à partir de 800m d'altitude. Dans ces espaces sont comprises les zones de réserves du *Rothenbach* et du *Frankenthal-Missheimle*.

3.2. Données utilisées et sources

Des données de diverses sources sont utilisées dans le cadre de cette étude. Elles se présentent sous plusieurs formats.

Nous avons défini un protocole (figure 2) qui décrit notamment les données et les méthodes qui ont servi à leurs traitements, mais aussi à la construction de nos indicateurs.

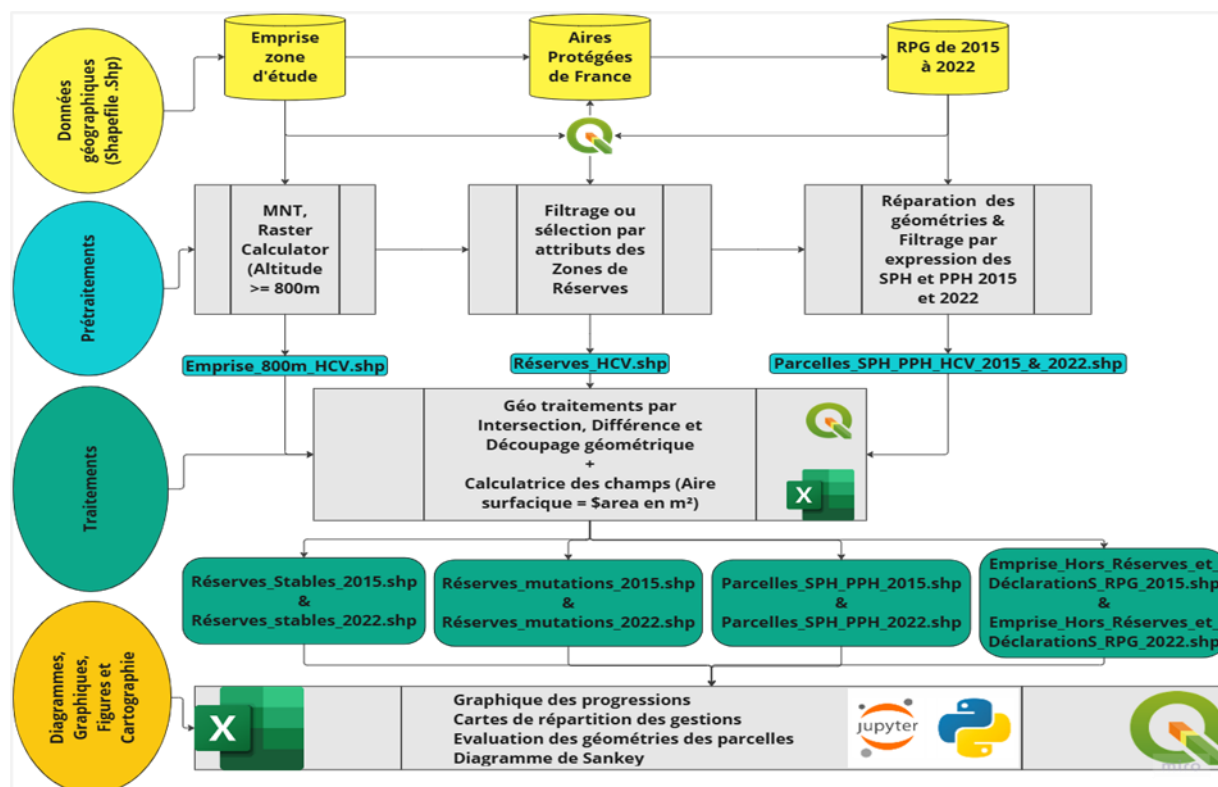


Figure 2 : Organigramme des étapes suivies

3.2.1. Données de types géométriques

Ce sont principalement des polygones au format vecteur. D'une part, ces données sont issues de la base de données de la Coopération pour l'Information Géographique en Alsace (CIGAL de Data Grand Est), notamment le Shapefile de la zone d'étude et les données des Aires Protégées sur tout le territoire français. D'autre part, d'autres données proviennent de l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) (<https://geoservices.ign.fr/>), à propos des données RPG version 2.0. À ce niveau, les différentes cultures sont présentées dans la figure 3, entre autres, les PTR (Autres prairies temporaires de 5 ans ou moins), les SNE (Surfaces agricoles

temporairement Non Exploitées), ainsi que les SPL (Surfaces pastorales à ressources fourragères ligneuses prédominantes).

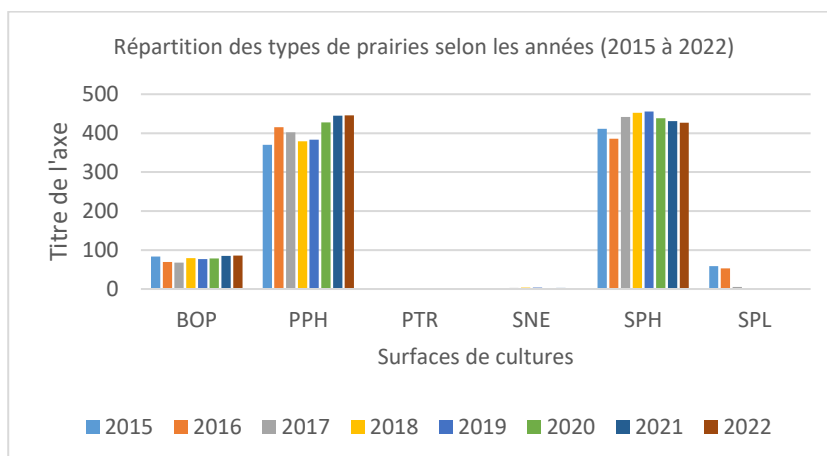


Figure 3 : Répartition des surfaces de cultures de 2015 à 2022

La figure 3 montre une part importante des déclarations pour les cultures PPH et SPH de 2015 à 2022, suivies des cultures BOP et SPL. Les autres cultures (SNE et PTR) enregistrent des effectifs les moins élevés. Dans ce contexte, nous avons choisi de retenir les cultures PPH et SPH qui sont donc les plus représentées par rapport aux autres dans le milieu d'étude.

Les données associées aux réserves ont été également sélectionnées (annexe 1). Nous avons retenu au total cinq (05) catégories de réserves que sont : les réserves forestières biologiques intégrales, les réserves biologiques aménagées en forêts (*Frankenthal-Missheimle*, *Tanet-Gazon du Faing*), les terrains acquis par un conservatoire régional d'espaces naturels, les réserves naturelles nationales, et enfin, les réserves naturelles régionales (*Rothenbach*).

Dans l'annexe 2, nous remarquons que la superficie des Réserves Naturelles Nationales (0,36 millier d'hectare) est prédominante, devant les Réserves Naturelles Régionales (0,07 millier d'hectares) et les Réserves Biologiques aménagées en forêts. Par ailleurs, une prospection de terrain nous a permis d'observer les réserves du *Frankenthal-Missheimle* et du *Rothenbach*. Les paysages associés sont représentés à travers les clichés qui suivent (figure 4).



Figure 4 : (photos a et b) : paysages des réserves de Rothenbach (a) & Frankenthal-Missheimle (b)
Frankenthal-Missheimle : photo présentant un terrain fauché dans le périmètre de ceinture de la réserve.

3.3. Prétraitements et cartographie des données

Dans un premier temps, nous avons délimité la zone d'étude à partir d'un fichier raster de type MNT (Modèle Numérique de Terrain)⁹. Le critère de 800m d'altitude et plus a été défini grâce à la calculatrice raster de QGIS. Dans un second temps, les données du RPG ont été filtrées par expressions (Filter by Expression) pour chaque fichier (2015 et 2022). Suite à cela, nous avons obtenu 2 fichiers shapefile, répertoriant uniquement les parcelles des cultures PPH et SPH.

Nous avons également trié les réserves à partir de la base de données des Aires Protégées de France et retenu les cinq catégories citées précédemment (figure 3).

3.3.1. Construction des indicateurs de gestion ou d'évolution des cultures

Cette étape porte sur les principaux traitements ayant mené à la construction de nos indicateurs d'évolution des cultures. D'une part, nous avons extrait les données de gestion présentées en précédence, telles que les PPH et les SPH, pour les deux années 2015-2022. À ce titre, plusieurs outils de géotraitement (*différence, couper, intersection*) ont été utilisés sous QGIS (Shaquara et Lasseur, 2023).

D'autre part, nous avons sélectionné les réserves stables des années 2015 et 2022 en opérant une différence entre la couche des réserves de chaque année et celle des parcelles de cultures (SPH et PPH) obtenue par intersection avec la donnée générale fournie par le RPG. En outre, les surfaces de réserves ayant changé ont été extraites par intersection, c'est-à-dire entre la couche des parcelles de cultures PPH et SPH par année avec la couche Shapefile des réserves.

Enfin, les surfaces n'ayant pas fait l'objet de déclarations, ni de réserves, ont été obtenues grâce à l'outil de géotraitement « *couper* » de QGIS. Pour cela, la couche shapefile délimitée à 800m et + a servi à extraire les deux premières données. Pour chaque résultat, un champ « *superficie* » était créé, et sur la base de l'outil « *calculateur de champ* ». Ces superficies sont calculées par la formule « *\$area* » en mètre carré. Les résultats sont divisés par 10.000 pour les convertir en hectare, et enfin par 1.000 pour obtenir les milliers d'hectare (Kha).

3.3.2. Représentation des changements de surfaces associées aux cultures

Pour évaluer les changements relatifs aux parcelles entre 2015-2022, nous nous sommes servis de Python avec le package GeoPandas. Cette extension géospatiale a été déjà recommandée dans le traitement de grands volumes de données (Big data) (Lardot *et al.*, 2021). Lors de cet exercice, ont été évalués les taux de progression et/ou de régression des surfaces en prenant comme référence les statistiques de l'année 2015. La formule suivante a été utilisée pour calculer l'évolution de chaque culture :

$$\text{Taux (\%)} = \frac{\text{Superficie 2022} - \text{Superficie 2015}}{\text{Superficie 2015}}$$

Par la suite, nous avons fait recours à l'extension python plotly. Graph pour représenter les taux d'évolution obtenus (progression, régression) à partir du diagramme de Sankey (Wenger, 2023).

⁹ Source : (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

3.3.3. Spatialisation des indicateurs de gestion

Les indicateurs obtenus lors de ces étapes ont été ensuite cartographiés afin de les spatialiser et de mieux cerner les changements (disparition, progression/régression) associés aux surfaces de cultures, le nombre de et les superficies des parcelles au cours des années, notamment entre 2015 et 2022. Les cartographies ont été effectuées avec le logiciel QGIS.

4. Dynamique spatio-temporelle des prairies sur les Hautes-Chaumes Vosgiennes

Dans cette partie, nous présentons les résultats issus des traitements effectués. Tout d'abord, nous décryptons les évolutions des parcelles entre les années (de 2015 à 2022), avant de voir la dynamique spatio-temporelle des surfaces de cultures que nous avons choisies, à savoir les PPH, les SPH, les mises en réserve, mais aussi les espaces ni déclarés ni en réserve entre 2015 et 2022.

4.1. Évolution des déclarations selon le nombre et les surfaces de parcelles de 2015 à 2022

La distribution des effectifs nous montre une forte variabilité pour le nombre de parcelles déclarées de 2015 à 2022, par rapport aux superficies (figure 5).

	Nombre de parcelles	Superficie totale (Millier d'hectares Kha)
Moyenne	934,75	2,920458321
Ecart-type	20,7416076	0,033525049
Variance	376,4375	0,000983438

Figure 5 : Distribution des effectifs relatifs aux déclarations des parcelles de 2015 à 2022

Pour autant, les parcelles ont connu des évolutions contrastées de 2015 à 2022. Nous pouvons le voir dans la figure 6. En effet, sur les 8 années (de 2015 à 2022), le nombre de parcelles est passé de 923 à 963. Cela correspond respectivement aux superficies allant de 2,92 à 2,95 milliers d'hectares.

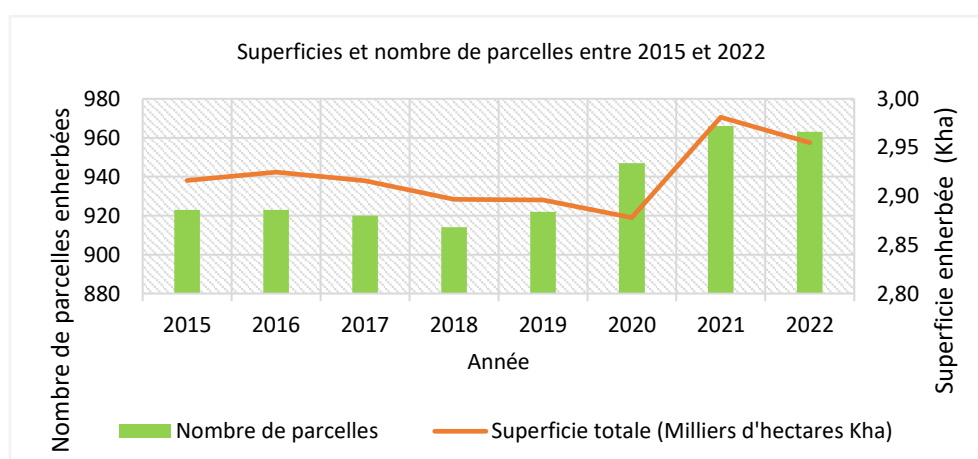


Figure 6 : Évolution du nombre et de la superficie des parcelles déclarées de 2015 à 2022

Ces évolutions montrent une situation de stabilité pour le nombre de parcelles (de 2015 à 2019) et les superficies déclarées (de 2015 à 2020). Les effectifs élevés sont enregistrés à partir de l'année 2020 d'une part et 2021 de l'autre. Globalement, les maximums sont observés durant les années 2021 et 2022. Cette situation suppose une augmentation progressive de l'utilisation des surfaces de prairies dans la zone d'étude.

4.1.1. Analyse spatio-temporelle des déclarations des différents types de cultures

Nous avons mentionné plus haut les différents types de cultures représentés dans la figure 3. Nous voyons d'abord leur évolution de 2015 à 2022 (figure 7), avant de présenter celles des cultures que nous choisissons d'analyser dans cette étude.

- Répartition des types de cultures de 2015 à 2022

Dans cette répartition, il y a une prédominance des SPH et des PPH quelles que soient les années. Le nombre de parcelles de ces cultures a été presque constant entre les années, malgré quelque petite variabilité. Les autres cultures SPL, PTR et SNE ont faiblement évolué. Comme nous l'avons précisé plus haut, nous allons nous consacrer aux SPH et PPH dans la suite de l'étude, et notamment pour les années 2015 et 2022 (figure 8).

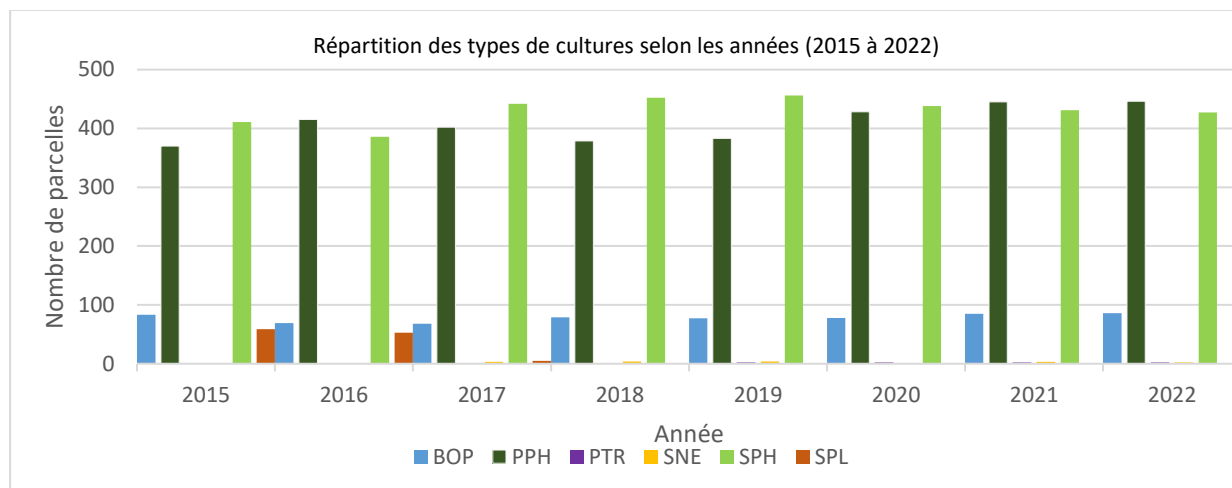


Figure 7 : Évolution des types de cultures entre les années (de 2015 à 2022)

- Répartition des types de cultures entre 2015-2022

Les parcelles déclarées par les agriculteurs comprennent souvent les cultures produites. Celles-ci peuvent être comprises dans les réserves et certaines zones qui ne sont ni déclarées ni mises en réserve. Nous analysons la répartition de ces surfaces entre 2015-2022 comme suit.

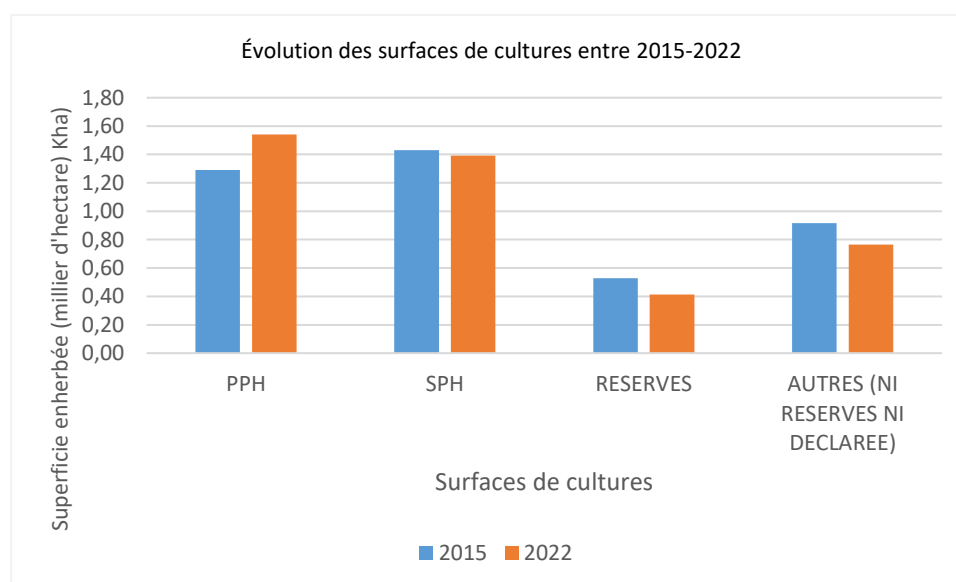


Figure 8 : Évolution des surfaces de cultures entre 2015-2022

En effet, il se dégage presque le même constat, celui d'une prédominance des PPH et des SPH entre 2015 et 2022. Toutefois, il ressort une petite variabilité entre les années pour toutes les cultures. Par exemple, les superficies sont plus élevées en 2015 pour toutes les cultures sauf les PPH, à l'opposé de 2022 où seules ces dernières dominent.

Les données de gestion associées à ces cultures, notamment les PPH, les SPH, ou encore les zones de réserves, ont été spatialisées entre 2015 et 2022, afin de voir leur dynamique spatiale sur la zone d'étude (figures 9 et 10).

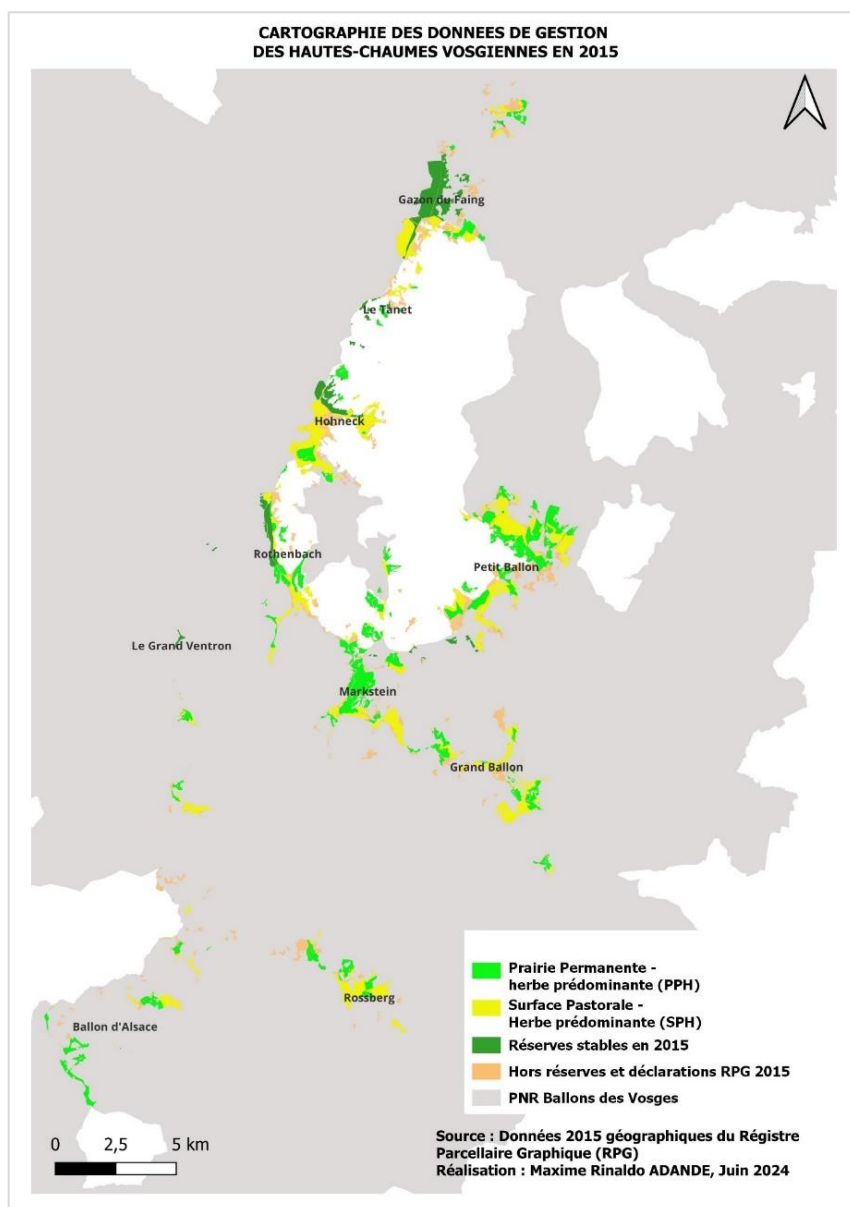


Figure 9 : Répartition des données de gestion de cultures en 2015

Cette carte indique que les cultures PPH (1,28 Kha) et SPH (1,41 Kha) sont les plus représentées dans la zone d'étude. Ces surfaces sont suivies par les espaces qui ne sont ni déclarés et ni mis en réserve (0,91 Kha). Les réserves sont les moins représentées (0,51 Kha), se concentrant dans

les sites du Gazon du Faing au Nord, du Hohneck et du Rothenbach. Somme toute, il y a une prédominance des PPH et des SPH qui se répartissent quasi totalement sur tous les sites de la zone en 2015.

La figure 10 concerne la répartition de ces différentes surfaces de cultures en 2022. Elle montre une stabilité des réserves sur le site du Gazon du Faing. La superficie totale des réserves est de 0,42 Kha en 2022. Les autres sites du Rothenbach et du Hohneck ont légèrement régressé au profit des prairies permanentes, qui enregistrent 1,54 Kha. Les surfaces pastorales ont, elles aussi, diminué en superficie (1,39 Kha), notamment au niveau du Hohneck.

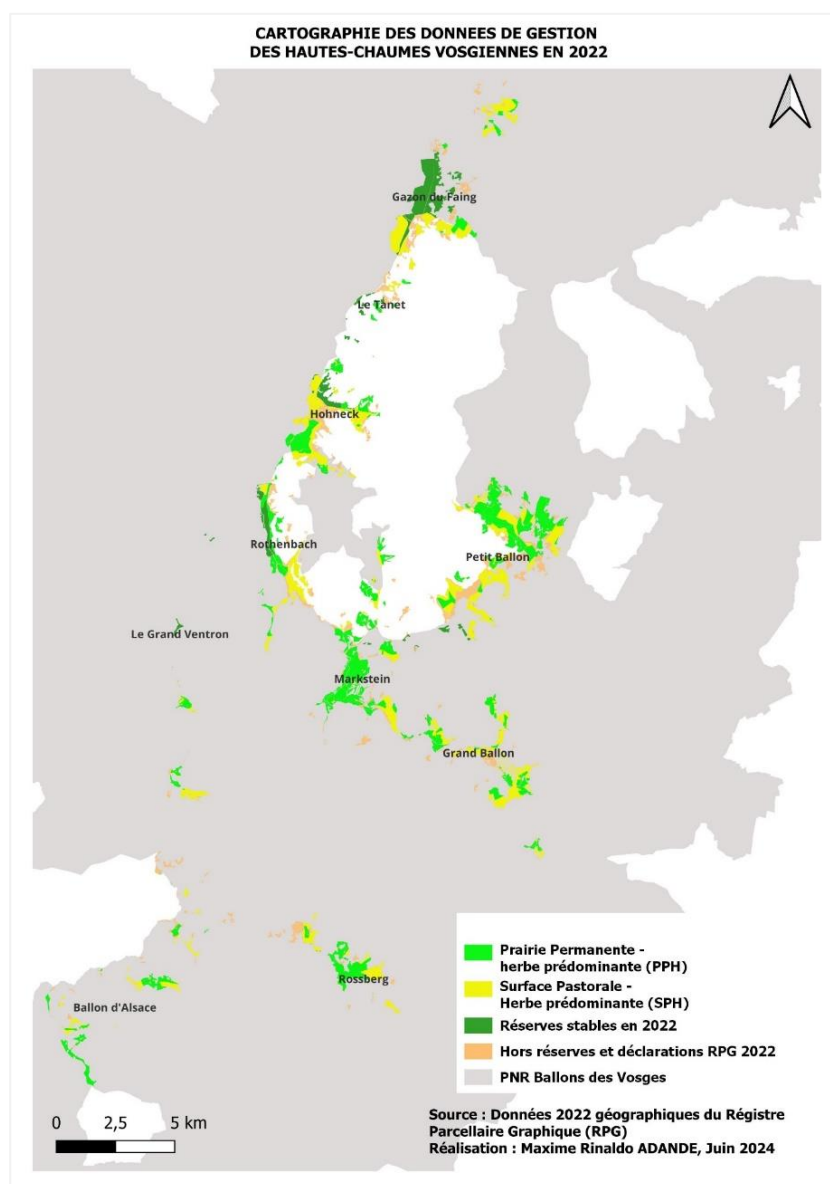


Figure 10 : Répartition des données de gestion en 2022

Tout compte fait, nous remarquons que les prairies permanentes et les surfaces pastorales ont progressé par rapport aux réserves entre 2015 et 2022. Cette diminution des réserves semble alors confirmer l'augmentation des activités pastorales dans les sites d'étude.

4.1.2. Détection des changements associés aux surfaces de cultures

Dans cette section, nous allons présenter d'un côté les changements (disparition, progression, régression) subis par les parcelles déclarées dans le RPG, et par la suite, analyser les transitions des indicateurs de gestion des prairies (2015-2022).

4.1.2.1. Changements associés aux parcelles déclarées entre 2015 et 2022

Les parcelles déclarées dans le RPG entre 2015-2022 ont fait l'objet des analyses et les résultats sont présentés dans la figure 11.

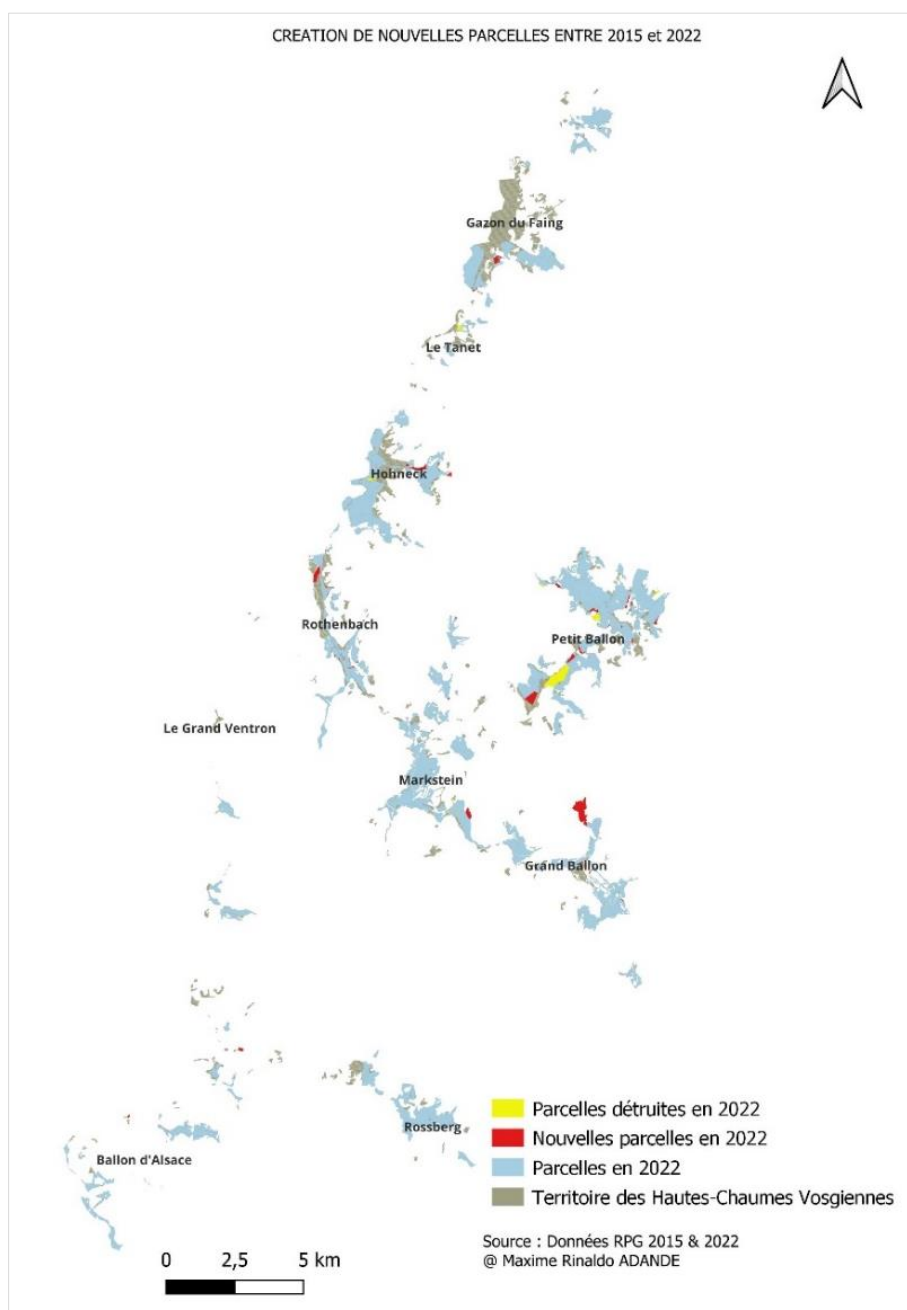


Figure 11 : Évolution des parcelles déclarées de 2015 à 2022

Les parcelles disparues (couleur jaune), entre 2015 et 2022, représentent une superficie de 0,05 Kha d'hectare de PPH. Les parcelles ajoutées (couleur rouge) en 2022 occupent 0,08 Kha de SPH.

Nous pouvons affirmer que les parcelles disparues entre 2015 et 2022 ont été majoritairement transformées en surfaces pastorales. Et surtout, ces changements sont vus sur les sites du Petit Ballon et du Grand Ballon.

4.1.2.2. Changements associés aux surfaces de réserves entre 2015 et 2022

Après les parcelles, nous avons analysé les changements à propos des surfaces de réserves entre 2015 et 2022 (figure 12). Nous remarquons une baisse généralisée des superficies des réserves. Pour autant, les réserves biologiques aménagées en forêts se sont plus ou moins stabilisées en 2015 pour 0,24 Kha et en 2022 pour 0,23 Kha.

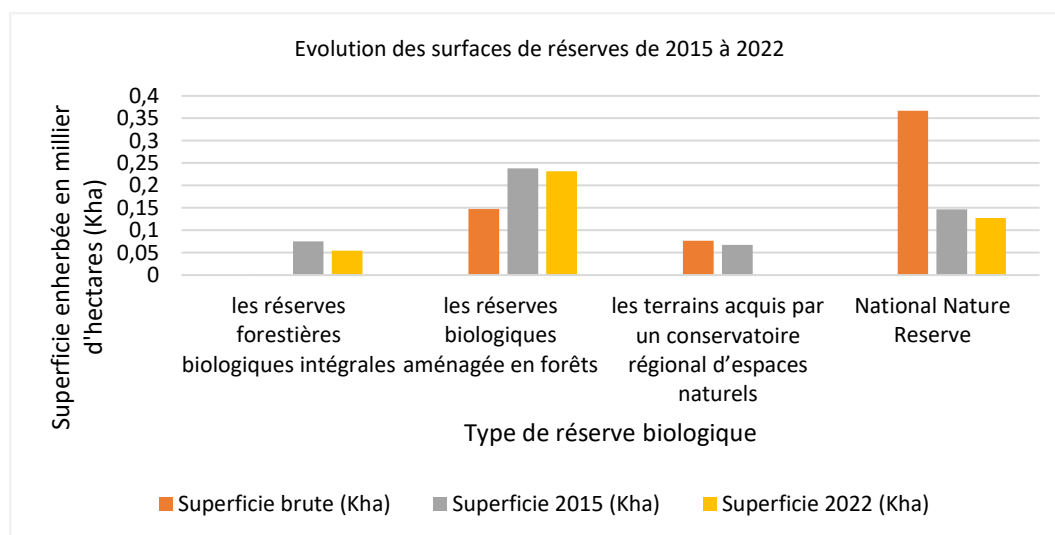


Figure 12 : Évolution des superficies des types de réserves de 2015 à 2022

Les terrains acquis par un conservatoire régional d'espaces naturels (partie intégrante de la Réserve du Rothenbach) sont passés de 0,06 Kha en 2015 à 0,00 Kha en 2022. Ces espaces de réserves sont devenus des zones non déclarées.

Les surfaces de réserves stables de 2015 sont majoritairement devenues des espaces de PPH et de SPH en 2022 (figure 13). En effet, leur superficie de 0,53 Kha en 2015 s'est transformée en PPH (0,008 Kha) et SPH (0,025 Kha) en 2022.

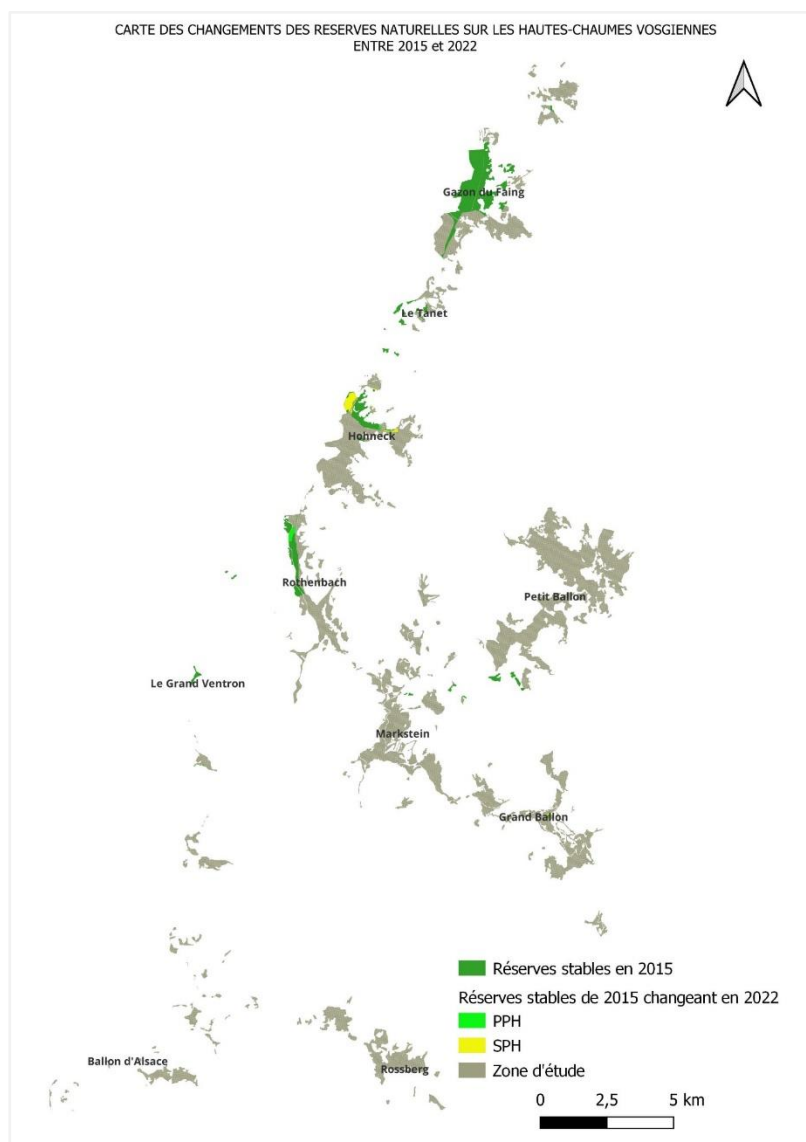


Figure 13 : Carte des changements des réserves entre 2015 et 2022

Encore une fois, les PPH et SPH sont les plus marquées dans ces changements.

Par ailleurs, nous avons analysé l'évolution comparative des indicateurs entre eux (figure 14), mais également entre les années 2015-2022 (annexe 3). Pour les indicateurs, il en ressort une progression uniquement pour les PPH. Les autres indicateurs ont connu une régression.

Indicateurs	2015	2022	Différence	Changement (Progression /régression)	Tendance (%)	Au profit de
PPH	1,28	1,54	0,26	0,19	19,49	Ni réserves ni déclarées
SPH	1,41	1,39	-0,02	-0,03	-2,68	PPH : 0,02 Kha
Réserves	0,52	0,41	-0,11	-0,22	-21,51	PPH : 0,09 Kha
Ni réserves ni déclarées	0,91	0,76	-0,15	-0,17	-16,58	PPH : 0,15 Kha

Figure 14 : Évolution comparative des changements associés aux cultures et entre 2015-2022

Le diagramme de Sankey a été utilisé pour mieux suivre les transitions entre les indicateurs de gestion (figure 15).



Figure 15 : Diagramme de Sankey sur l'évolution des indicateurs de gestion des années 2015-2022

Là aussi, nous constatons une migration complète des indicateurs SPH, des réserves et non réserves vers les PPH. Les prairies permanentes ont alors gagné 19,49 % de progression en termes de surface, aux dépens des autres indicateurs.

5. Discussion

La présente étude avait pour objectif de contribuer à la connaissance de la dynamique spatio-temporelle des indicateurs de gestion des prairies (PPH, SPH, réserves) sur les Hautes Chaumes Vosgiennes entre 2015 et 2022. Dans cette partie, nous discutons les implications des résultats issus des analyses qui ont permis de répondre à cet objectif.

5.1. Diminution des parcelles d'une année à une autre (entre 2015 et 2022)

Plusieurs parcelles déclarées ont disparu ou régressé entre 2015-2022. Ce qui correspondent aux surfaces de cultures ont été modifiées pour certaines, on parlera de diminution du nombre et des surfaces de parcelles (figures 16 et 17).

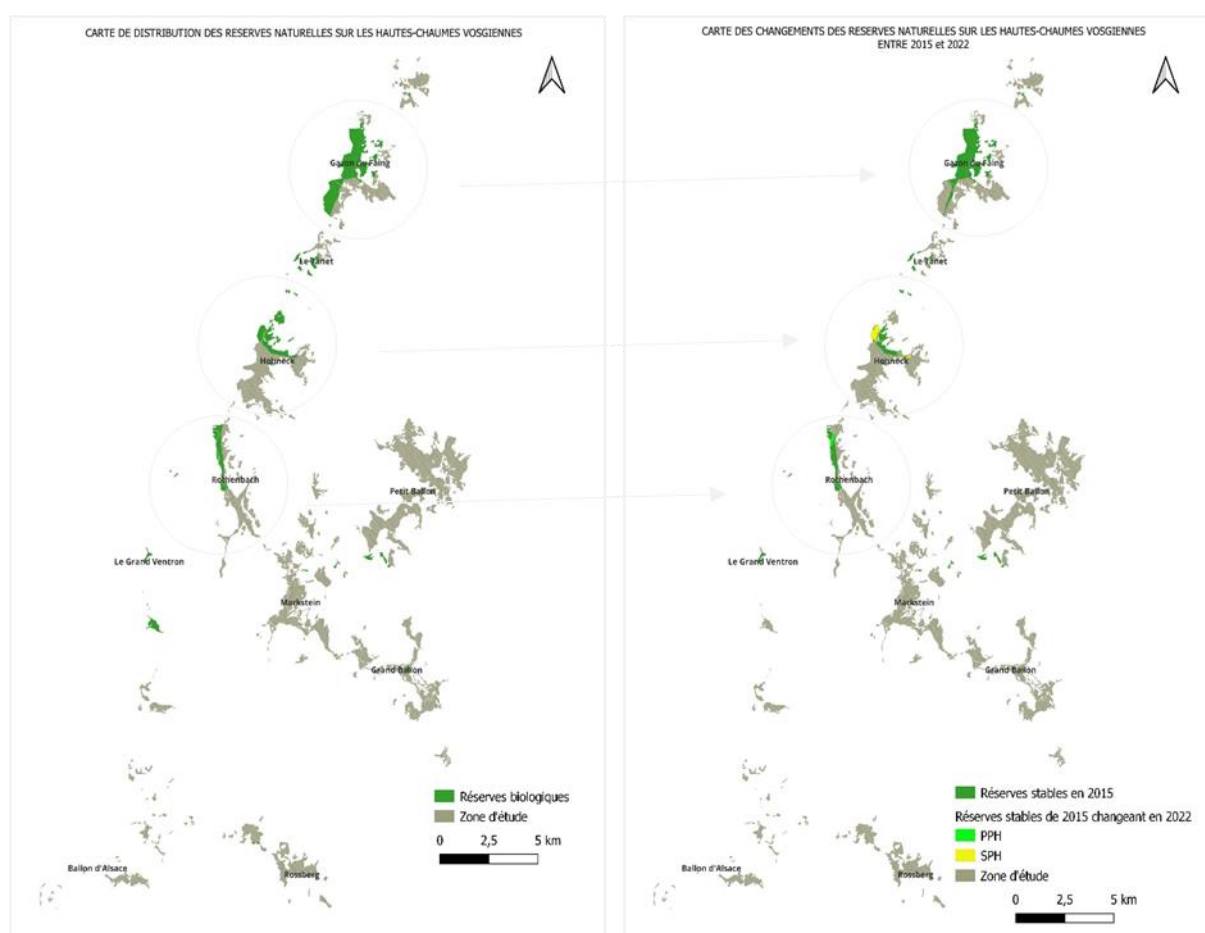


Figure 16 : Transition des réserves sur des parcelles de cultures entre 2015 et 2022

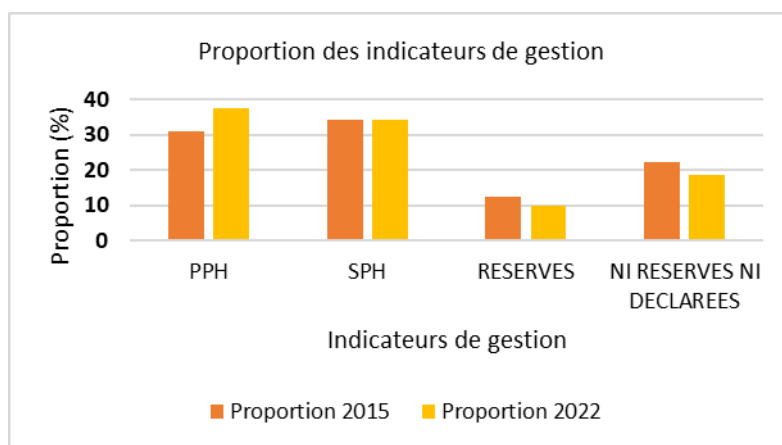


Figure 17 : Proportions des indicateurs de gestions entre 2015-2022

5.2. Les PPH comme indicateurs de gestion prédominants

Les PPH apparaissent comme les surfaces de cultures les plus représentées par rapport aux autres entre 2015-2022. Leur dynamique temporelle et spatiale est remarquable dans la zone d'étude. Sur la période 2015-2022, ces cultures ont remplacé d'autres surfaces de prairies. On le voit très bien quand on compare les changements subis par ces cultures (figure 19). Ce constat est élargi au nombre et aux surfaces de parcelles, d'autant que ces cultures présentent une forte variabilité au cours des deux années 2015-2022 (figure 18). Des études (Peyraud *et al.*, 2012 ; Arranz *et al.*, 2016 & Mesbahi *et al.*, 2019) corroborent ces aspects. Par exemple, Peyraud *et al.* (2012) ont démontré la prédominance des prairies permanentes face aux prairies temporaires à l'échelle de l'Europe. Cela peut s'expliquer par le fait que ces prairies sont souvent maintenues pendant une longue durée (plus de 5 ans), et subissent rarement des fauches (Hadj Saïd *et al.*, 2011).

Déclarations	2015	2022	Moyenne	Ecart-type
SPH	411	427	419	11,3137085
PPH	370	446	408	53,74011537

Figure 18 : Proportion des indicateurs de gestion en 2015 et 2022

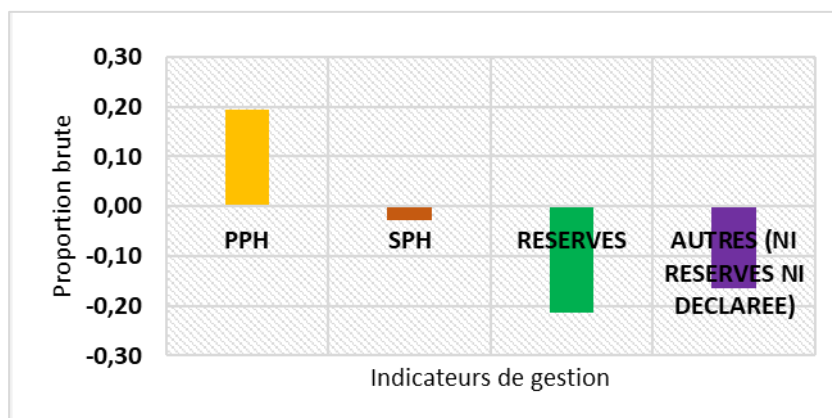


Figure 19 : Changements associés aux indicateurs de gestion des prairies (2015-2022)

5.3. L'implication des outils SIG dans la construction des indicateurs de gestion des prairies

L'une des hypothèses de travail était la construction des indicateurs d'évolution des cultures à l'aide des outils SIG et en utilisant les données du RPG que sont les surfaces de cultures (PPH, SPH, réserves). Un des apports majeurs de ces outils a été de permettre la cartographie des changements associés aux parcelles, y compris les surfaces de cultures. On a pu voir les espaces qui ont soit disparu, soit régressé/progressé dans la zone d'étude. Cependant, certains objectifs n'ont pas pu être atteints, et cela est lié aussi bien aux limites des outils que celles relatives aux données RPG utilisés.

5.3.1. Limites de l'étude sur les outils et données utilisés

Dans cette étude, nous n'avons pas pu détecter les zones de fauches non déclarées dans le RPG, comme ont pu le faire Hadj Saïd *et al.* (2011), qui ont choisi d'utiliser les données parcellaires pour détecter les dates des opérations de fauche des prairies. L'une des limites du RPG est donc liée au fait qu'il ne permet pas de cartographier les parcelles fauchées dans le milieu d'étude. Outre l'absence de superficies associées aux parcelles, le RPG ne renseigne pas les déclarations sur toutes les données de gestion de prairies. Même lorsque ces données sont disponibles, elles relèvent uniquement du déclaratif. Des problèmes d'analyse peuvent alors découler de ces données et engendrer des biais d'analyse. Ainsi, les outils SIG peuvent présenter des limites pour la construction des indicateurs d'évolution sur des échelles spatio-temporelles assez fines.

5.3.2. Les archives satellitaires comme données complémentaires

L'étude de la littérature a montré qu'il est possible de se servir des outils de télédétection surtout pour les classifications, à partir d'images satellitaires. Ces outils et données sont loués pour leurs précisions et résolutions spatiales de qualité satisfaisantes. Dusseux *et al.*, (2014) ont exploité les images multi-temporelles dans le suivi des prairies sur la base d'indices (NDVI, LAI et fCOVER). Leur étude a permis de classifier les différentes zones de cultures, y compris les prairies. Par ailleurs, Fauvel *et al.* (2021) se sont servis de l'algorithme Random Forest (RF) pour classifier les espèces de prairies, en utilisant les cultures recensées dans le RPG. Il serait donc intéressant d'envisager la détection des espaces fauchés grâce aux images satellites (Sentinel-1 ou 2) et à l'aide des outils de la télédétection, dans une prochaine étude.

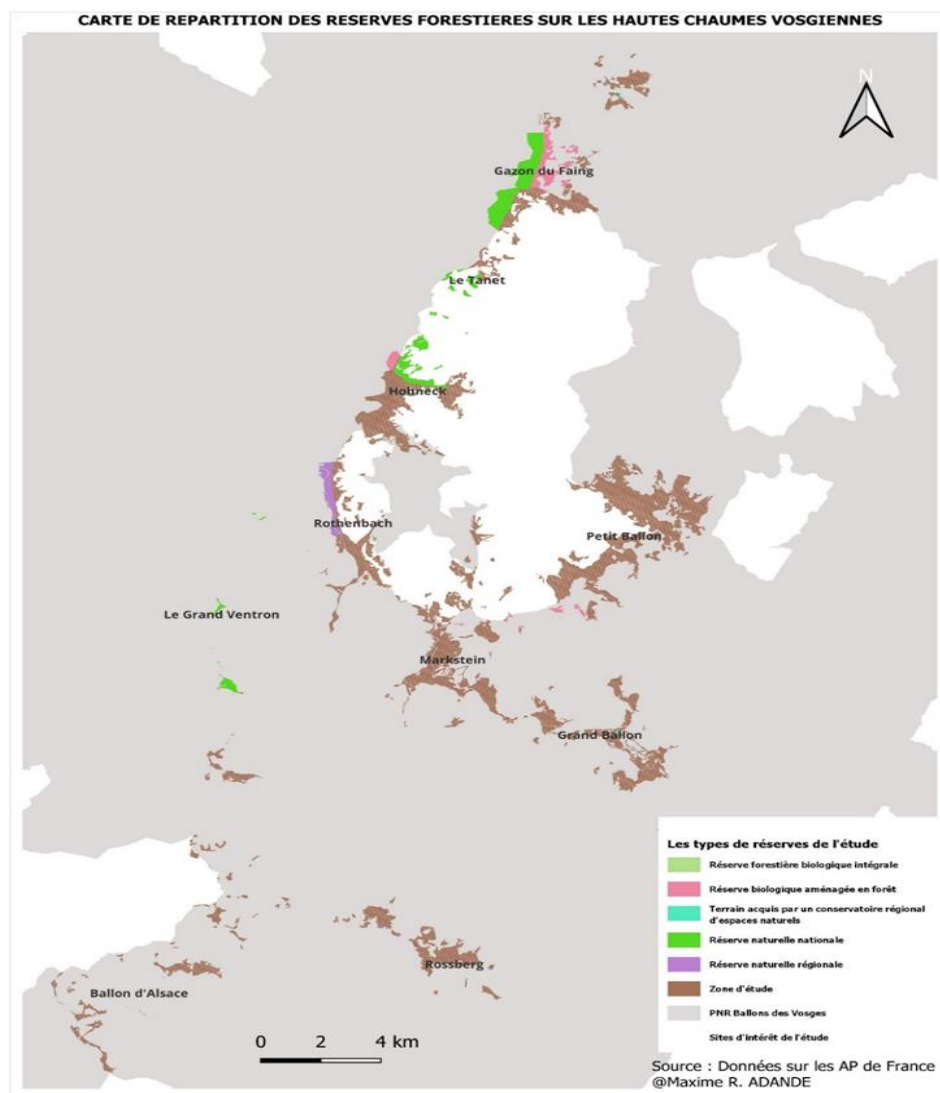
Conclusion Générale

Cette étude a permis d'analyser la dynamique temporelle et spatiale des indicateurs de gestion de prairies dans les Hautes Chaumes Vosgiennes entre 2015-2022. Cet objectif a conduit dans un premier à spatialiser les données de gestion (parcelles et surfaces de cultures) issues du RPG et celles des réserves biologiques. Dans un second temps, il a été analysé la dynamique spatio-temporelle de ces surfaces de cultures dans la zone d'étude à l'aide des outils SIG. Globalement, les résultats montrent une prépondérance des PPH par rapport aux SPH et aux réserves. Ces prairies permanentes évoluent progressivement en remplaçant ces autres catégories dans l'espace et dans le temps.

Au regard des limites associées aux données et outils SIG utilisés, des études futures pourraient être menées afin de caractériser l'évolution des surfaces de prairies depuis la mise en place des réserves jusqu'en 2015 d'une part, et de cartographier les parcelles fauchées, d'autre part. Cela semble possible en associant d'autres données spatiales et outils de télédétection.

Annexes

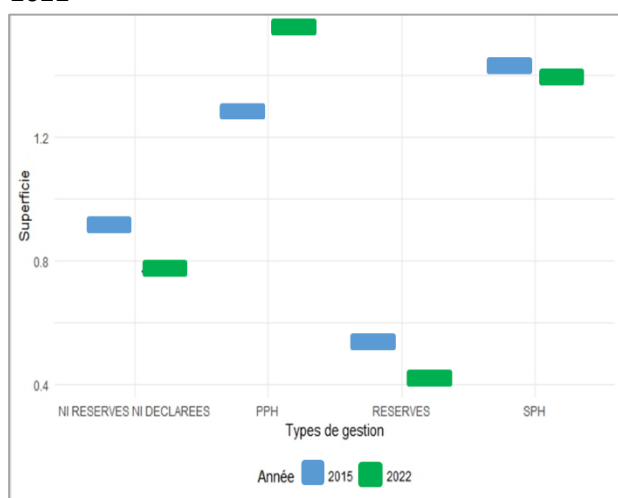
Annexe 1 : Répartition des Réserves



Annexe 2 : Superficies des Réserves entre 2015 et 2022

Réserves	Superficie brute (Kha)	Superficie 2015 (Kha)	Superficie 2022 (Kha)
Réserves forestières biologiques intégrales	6,70E-07	6,70E-07	6,70E-07
Réserves naturelles nationales	3,67E-01	2,38E-01	2,32E-01
Terrains acquis par un conservatoire régional d'espaces naturels	7,66E-02	6,74E-02	0,00E+00
Réserves naturelles régionales	7,54E-02	7,54E-02	5,45E-02
Réserves biologiques aménagée en forêts	1,47E-01	1,47E-01	1,28E-01
Total	6,66E-01	5,28E-01	4,14E-01

Annexe 3 : Evolution comparative des superficies des indicateurs de gestion entre les années 2015 et 2022



Annexe 4 : Proportion des indicateurs en 2015 et 2022

Indicateurs	Proportion 2015 (%)	Proportion 2022 (%)
PPH	31,10	37,30
SPH	34,20	34,20
RESERVES	12,60	10,00
NI RESERVES NI DECLAREES	22,10	18,50
Superficie emprise (Kha)	4,13	

Annexe 5 : Superficies calculées des parcelles par année

Années	Nombre de parcelles	Superficie totale (Milliers d'hectares Kha)	Superficie totale (Ha)
2015	923	2,92	2916,22
2016	923	2,92	2924,55
2017	920	2,92	2915,88
2018	914	2,90	2896,82
2019	922	2,90	2896,20
2020	947	2,88	2877,99
2021	966	2,98	2981,06
2022	963	2,95	2954,94
Moyenne	934,75		
Ecart-type	20,7416076		
Variance	376,4375		

Annexe 6 : Nombre de parcelles déclarées de 2015 à 2022

Année	BOP	PPH	PTR	SNE	SPH	SPL	Parcelles Totales
2015	83	370	0	0	411	59	923,00
2016	69	415	0	0	386	53	923,00
2017	68	402	0	3	442	5	920,00
2018	79	379	0	4	452	0	914,00
2019	77	383	2	4	456	0	922,00
2020	78	428	2	1	438	0	947,00
2021	85	445	2	3	431	0	966,00
2022	86	446	2	2	427	0	963,00

Annexe 7 : Evolution des indicateurs en 2015 et 2022

Année	PPH	SPH	RESERVES	Superficie en millier d'hectares (Kha) AUTRES (NI RESERVES NI DECLAREE)
2015	1,29	1,43	0,53	0,92
2022	1,54	1,39	0,41	0,76
Différence		0,25	-0,04	-0,15
Total		2,83	2,82	1,68

Bibliographie

- Arranz J.M., Mareaux M., Iñarra P., Bernos N., Olha E., Gascoyat P., Charbonneau M., Noblia J.M., Hulin S., Carrere P. (2016) : Prairies permanentes basco-béarnaises : une typologie pour évaluer les services écosystémiques rendus par les prairies et par les exploitations, *Fourrages*, 228, 233-241. 10 p. <http://gis-id64.org/wp-content/uploads/2018/05/1.1.38.pdf>
- Bayeur C., Hennequin C., Mesbahi G., Plantureux S. (2020). Les prairies permanentes du massif des Vosges. Typologie agroécologique et diagnostic prairial. 210p. <https://www.parc-vosges-nord.fr/wp-content/uploads/2022/07/pnr-vn-livret-prairies-2020bd-pour-web-4237.pdf>
- Bermudes C. (2022). Spatialisation des résultats d'un modèle d'offre agricole (AROPAJ) sur les parcelles agricoles (Registre Parcellaire Graphique) pour l'étude des impacts environnementaux de l'agriculture française. Master 1 Géomatique, Université de Toulouse Jean Jaurès. 59p. https://dante.univ-tlse2.fr/access/files/original/32521/bermudes.caroline_master1_32522.pdf
- Cantelaube, P., Carles, M., 2014. Le registre parcellaire graphique : des données géographiques pour décrire la couverture du sol agricole. Le Cahier des Techniques de l'INRA, (N° Spécial GéoExpé), 58–64. 7p. <https://hal.inrae.fr/hal-02639660v1/document>
- Chaix C., Dodier H., & Nettiér B. (2017). Comprendre le changement climatique en alpage. Alpages Sentinelles : un espace de dialogue pour anticiper l'impact du changement climatique. 25p. https://www.mountainwilderness.fr/IMG/pdf/changementclimatiqueenalpage_irstea.pdf
- Choler, P., Bayle, A., Carlson, B. Z., Randin, C., Filippa, G., & Cremonese, E. (2021). The tempo of greening in the European Alps: Spatial variations on a common theme. *Global Change Biology*, 27(21), 5614–5628. <https://doi.org/10.1111/GCB.15820>
- Crouzat E., Dodier H., Loucougaray G., Lavorel S., Grigulis K. (2021). Effets du changement climatique sur les végétations d'alpage *Des clés pour comprendre*. 52p. https://www.alpages-sentinelles.fr/wp-content/uploads/2021/10/Alpages-Sentinelles_2021_Effets-CC-vegetations-alpage_web2.pdf
- Daget P. & Poissonnet J. (2010). Prairies et Pâturages : méthodes d'étude de terrain et interprétations. 955p. <https://agritrop.cirad.fr/593473/1/Daget%20JP%20JH%20PRAIRIES-ET-PATURAGES%20-%20CIRAD-CNRS.pdf>
- Dobremez L., Nettiér B., Legeard J-P., Caraguel B., Garde L., Vieux S., Lavorel S., & Della-Vedova M. (2014). « Les alpages sentinelles », *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine* [En ligne], 102-2 | 2014, mis en ligne le 24 septembre 2014, consulté le 08 décembre 2022. URL : <http://journals.openedition.org/rga/2165> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/rga.2165>
- Dusseux, P., Corpetti, T., Hubert-Moy L., & Corgne, S. (2014). Combined Use of Multi-Temporal Optical and Radar Satellite Images for Grassland Monitoring. *Remote Sensing*. 21p. <https://doi.org/10.3390/rs6076163>
- Fauvel M., Lopes M., Dubo T., Rivers-Moore J., Frison P-L., Gross N., Ouin A. (2021). Prediction of plant diversity in grasslands using Sentinel-1 and -2 satellite image time series. *Remote Sensing of Environment*, 2020, 237 (février), 15p. [ff10.1016/j.rse.2019.111536ff. ffhal-02624898f](https://hal.inrae.fr/hal-02624898/file/S0034425719305553.pdf)
- Ferrez, Y., 2017. Guide phytosociologique des prairies du massif des Vosges et du Jura alsacien, Conservatoire botanique d'Alsace, 368 p. <https://www.parc-vosges-nord.fr/wp-content/uploads/2018/11/guide-phytosociologiques-des-prairies-du-massif-vosgien.pdf>
- Fernández-Habas J., García Moreno A. M., Hidalgo-Fernández T., Ramón Leal-Murillo J., Abellanas Oar B., Gómez-Giráldez P. J., González-Dugo M. P., Fernández-Rebollo P. (2021). Investigating the potential of Sentinel-2 configuration to predict the quality of Mediterranean permanent grasslands in open

woodlands, *Science of The Total Environment*, Volume 791, 2021, 148101, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148101>.

Gianelle, D., Romanzin, A., Clementel, F., Vescovo, L., Bovolenta, S., 2018. Feeding management of dairy cattle affect grassland dynamics in an alpine pasture. *Int. J. Agric. Sustain.* 16, 64–73. <https://doi.org/10.1080/14735903.2017.1420372>

Goepp S. (2007). Origine, histoire et dynamique des Hautes-Chaumes du massif vosgien : Déterminismes environnementaux et actions de l'Homme (These de doctorat). Strasbourg 1. 288p. https://publication-theses.unistra.fr/public/theses_doctorat/2007/GOEPP_Stephanie_2007.pdf

Hadj Saïd M., Laghrouche M., Malek M., Hadria R., Oliso A., Courault D., & Ameur S. (2011). Détection supervisée des dates des opérations de fauche des prairies irriguées dans la plaine de la Crau, France. *Revue Télédétection*, 2011, vol. 10, nos 2-3, p. 129-136, 9p. <https://hal.science/hal-01337671/document>

Hadria R., Courault D., Desfonds V., Bsaibes A., Oliso A., Duchemin B. (2009). Utilisation des images FORMOSAT-2 à hautes résolutions spatiale et temporelle pour le suivi des prairies irriguées dans la région de La Crau Camargue au SE de la France. 4p. http://madarevues.recherches.gov.mg/IMG/pdf/56_uti.pdf

Lardot B., Cantelaube P., Carles M., Séard C., et Truche C. (2021). Construction d'une base de données géographiques exhaustive à échelle fine sur l'occupation agricole du sol : le RPG complété. Partie 1 : Production de la couche géographique des parcelles susceptibles d'accueillir les surfaces agricoles hors RPG. Note méthodologique US ODR, INRAE, version 2 revue octobre 2021. 28p. <https://hal.inrae.fr/hal-03647500v1>

Lenglet J. (2020) Quand la filière sort du bois : les nouvelles dynamiques territoriales des ressources et des proximités au sein du secteur forêt-bois : construction de stratégies alternatives dans les massifs des Vosges et du Jura. Géographie. Université Panthéon-Sorbonne - Paris I, 2020. Français. (NNT : 2020PA01H081). (tel-03343889), 452p. <https://theses.hal.science/tel-03343889v1/document>

Marie M., Bermond M., Madeline P., Coinaud C. (2013). Quelle cartographie de l'utilisation agricole du sol en France en 2010 ? Les apports du Recensement Parcellaire Graphique. 24p. https://www.sfer.asso.fr/source/jrss2013/jrss2013_e4_marie.pdf

Martin P., Scheurer O. (2017). Utiliser le Registre Parcellaire Graphique pour suivre les dynamiques d'occupation du sol des Aires d'Alimentation de Captage avec RPG Explorer. *Innovations Agronomiques*, 2017, 57, pp.21-34. <https://hal.science/hal-01544628/document>

Mazagol P.-O. Porteret J. (1962). Etude de l'organisation du couvert végétal des Hautes Chaumes du Forez : un exemple d'utilisation de l'algorithme PEGASE sur le secteur tourbeux de Gourgon-Bazanne (année 1962). RTP MoDyS, Rencontre de doctorants, Nov 2006, Lyon, France. 8p. <https://hal.science/hal-00353996/document>

Mesbahi G., Bayeur C., Michelot-Antalik A., Plantureux S. (2019). Quelles typologies pour la prédiction des propriétés des prairies permanentes ?. *Fourrages*, 2019, 237, pp.57-65. 22p. <https://hal.science/hal-02507233>

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer. (2009). Les mesures agri-environnementales pour la préservation des hautes-chaumes. 3p. https://pnrbv.n2000.fr/sites/pnrbv.n2000.fr/files/documents/page/MAE_Montagne68.pdf

Peeters A. (2018). Public Demands on Intensive Grassland Systems and Agri-Environmental Policies of OECD Members. XXI International Grassland Congress / VIII International Rangeland Congress. *International Grassland Congress Proceedings*, 13p. <https://uknowledge.uky.edu/igc/21/1/6/>

Peyraud J.L., Peeters A., De Vlieghe A. (2012). Place et atouts des prairies permanentes en France et en Europe, *Fourrages*, 211, 195-204.

https://www.researchgate.net/publication/234001842_Place_et_atouts_des_prairies_permanentes_en_France_et_en_Europe

Pornaro, C., Schneider, M.K., Leinauer, B., Macolino, S. (2017). Above-and belowground patterns in a subalpine grassland-shrub mosaic. *Plant Biosyst.* 151, 493–503. 12p. <https://doi.org/10.1080/11263504.2016.1187679>

Quenum M. (2009). Cartographie à l'échelle de la parcelle agricole de variables indicatrices de la capacité des sols à fixer le phosphore à l'aide de la télédétection et des nouvelles technologies. Thèse présentée à l'Institut national de la recherche scientifique Eau, Terre et Environnement (INRS – ETE), 234p. <https://espace.inrs.ca/id/eprint/481/1/T000507.pdf>

Rapinel S., Mony C., Lecoq L., Clement B., Thomas A., Hubert-Moy L. (2019). Evaluation of Sentinel-2 time-series for mapping floodplain grassland plant communities. *Remote Sensing of Environment*, 223, pp. 115-129. 15p. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.018>

Réseau « Alpes sentinelles ». (2018). Changement climatique Un observatoire alpin de l'évolution des pratiques pastorales en alpage. 8p. https://www.alpes-sentinelles.fr/wp-content/uploads/2020/07/2018_Plaquette-Evolution-pratiques-pasto.pdf

Sell Y., Berchtold J-P., Callot H., Hoff M., Gall J-C. & Walter J-M. (1998). L'Alsace et les Vosges, géologie, milieux naturels ; flore et faune. Delachaux et Niestlé. SBN 10: [2603011006](https://www.abebooks.fr/LAlsace-Vosges-Yves-Sell-Delachaux/31691942855/bd) / ISBN 13: [9782603011003](https://www.abebooks.fr/LAlsace-Vosges-Yves-Sell-Delachaux/31691942855/bd) ; disponible à la bibliothèque de la faculté de géographie et aménagement du territoire, Université de Strasbourg, 352p. <https://www.abebooks.fr/LAlsace-Vosges-Yves-Sell-Delachaux/31691942855/bd>

Shapura I., Lasseur J. (2023). Caractérisation des surfaces pastorales en Région PACA par SIG et télédétection : Questions de méthodes et premiers résultats. *Revue Française de Photogrammétrie et Télédétection*, 225 (1), 2023, 14p. <https://rfpt.sfpt.fr/index.php/RFPT/article/view/427/500>

Wenger R. (2023). Apport des images Sentinel-1&2 et des méthodes d'apprentissage profond pour la cartographie et le suivi des modes d'occupation des sols. Thèse de Géographie, Université de Strasbourg, 231p. <https://hal.science/tel-04339191v2/document>

Sellin V., Magnanon S., Gourmelon F., Debaine F., Nabucet J. (2015). Etude expérimentale en cartographie de la végétation par télédétection. *Cybergeo : Revue européenne de géographie / European journal of geography*, 2015, pp.730. [ff10.4000/cybergeo.27067ff. ffhal-01165523](https://hal.science/hal-01165523) <https://hal.science/hal-01165523>