



HAL
open science

Cartographie de la vulnérabilité paysagère des troupeaux au pâturage face aux attaques de prédateurs dans le département des Pyrénées-Atlantiques (Rapport de synthèse rédigé à partir du rapport technique de l'étude)

Lucas Schwaab, Claude Soulas, Vincent Thiérion, Mathieu Fauvel, Michel Meuret, Pierre Gascoat

► To cite this version:

Lucas Schwaab, Claude Soulas, Vincent Thiérion, Mathieu Fauvel, Michel Meuret, et al.. Cartographie de la vulnérabilité paysagère des troupeaux au pâturage face aux attaques de prédateurs dans le département des Pyrénées-Atlantiques (Rapport de synthèse rédigé à partir du rapport technique de l'étude). CDEO & Chambre d'agriculture des Pyrénées-Atlantiques. 2023, pp.25. hal-04132556

HAL Id: hal-04132556

<https://hal.inrae.fr/hal-04132556v1>

Submitted on 19 Jun 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

Rapport de synthèse rédigé à partir du rapport technique

**Cartographie de la vulnérabilité paysagère des troupeaux au
pâturage face aux attaques de prédateurs dans le
département des Pyrénées-Atlantiques**

Lucas Schwaab (1)

Coordonnateur du projet au CDEO (2)

Claude Soulas

Référents INRAE CESBIO (3)

Vincent THIERION et Mathieu FAUVEL

Référent INRAE Selmet (4)

Michel MEURET

Référent Cellule Pastorale des Pyrénées Atlantiques

Pierre GASCOUAT (5)

1 Chargé de mission au CDEO (l.schwaab@ccdeo-ordiarp.fr)

2 Centre Départemental Elevage Ovin, Quartier Ahetzia 64130 ORDIARP

3 UMR 5126 Centre d'Études Spatiales de la Biosphère, 31401 TOULOUSE

4 UMR 0868 Systèmes d'élevage méditerranéens et tropicaux, 34060 MONTPELLIER

5 Lycée des métiers de la Montagne 1051 route du gave d'Aspe – BP 144 –
64400 OLORON SAINTE-MARIE



Sommaire

1 Introduction

1.1 Contexte et objectifs	4
1.2 Eléments généraux de méthodologie	4

2 Carte d'occupation du sol

2.1 Présentation de la démarche générale	5
2.2 Intérêt et limite du traitement des données de télédétection issues de Sentinel 2	5
2.3 Création de la donnée de référence	6
2.3.1 Bases de données d'occupation du sol	6
2.3.2 Les limites pour décrire les milieux de landes et les formations boisées	6
2.3.3 L'utilisation de la photo-interprétation pour la classification des landes	8
2.3.4 Au final, une donnée de référence hybride	12
2.4 Les traitements complémentaires pour améliorer la classification	13
2.5 Résumé et extraits de cartes	14
2.5.1 Résumé de la démarche	14
2.5.2 Carte d'occupation des sols après traitements	14

3 Carte de vulnérabilité

3.1 Vulnérabilités intrinsèques et distances de vulnérabilité	15
3.2 Autres facteurs paysagers pris en compte dans l'évaluation de la vulnérabilité paysagère	17
3.2.1 Topographie	17
3.2.2 Extraction des clairières	18
3.3 Filtrage et discrétisation	18
3.4 Synthèse et production des cartes de vulnérabilité	19

4 Évaluation statistique et analyse de sensibilité

4.1 Évaluation de la classification d'occupation du sol	21
4.2 Analyse de sensibilité de la carte de vulnérabilité paysagère	22
4.2.1 Scénarios faisant varier les règles de vulnérabilité	22
4.2.2 Scénarios complémentaires pour alimenter le débat autour des paramètres de la carte de vulnérabilité paysagère	23

5 Conclusion

1 | Introduction

1.1 Contexte et objectifs

La réalisation des cartes d'occupation du sol et de vulnérabilité paysagère locale intervient dans le cadre de l'étude d'impact de la mise en place des mesures de protection des troupeaux d'élevage au pâturage contre les prédateurs sur le département des Pyrénées-Atlantiques. Il s'agit d'une première approche de la vulnérabilité des troupeaux en raison des natures et structures de paysages, construite pour ce qui concerne les loups sur la base d'expériences sur près de 30 ans dans des paysages similaires des Alpes, de Provence et du sud Massif central, mais aussi d'autres pays.

Elle est centrée sur la notion de vulnérabilité paysagère locale, à savoir les éléments du paysage susceptibles de favoriser les attaques sur troupeaux, car favorisant les comportements d'affut par le prédateur en préalable à une éventuelle attaque et/ou de repli du prédateur suite à une attaque réussie ou tenue en échec.

Il est donc important de souligner qu'il ne s'agit pas d'une cartographie du risque de prédation, lequel est d'origine multifactorielle et nécessiterait de prendre en compte entre autres les conditions d'utilisation, notamment saisonnières, par les éleveurs des espaces à pâturer, la présence effective de prédateurs sur le territoire et a fortiori de leurs localisations, seuls ou en famille.

De plus, l'objectif n'est pas de fournir LA carte définitive de la vulnérabilité paysagère départementale, mais de fournir des éléments permettant d'aborder cette notion avec la possibilité de faire varier quantitativement certains paramètres de la carte.

L'objectif général du travail est donc de permettre d'alimenter la réflexion et d'ouvrir la discussion autour de la notion de vulnérabilité paysagère locale des troupeaux d'élevage face à la prédation.

1.2 Présentation générale de la méthodologie

En vue de créer la carte de vulnérabilité paysagère à l'échelle du département des Pyrénées-Atlantiques, nous avons adopté une démarche en trois étapes :

1. Création d'une carte d'occupation du sol avec une nomenclature adaptée à la problématique tout en tenant compte des limites liées à l'étendue de la zone d'étude et des données disponibles.

2. Élaboration d'un algorithme permettant de passer de la carte d'occupation des sols à une carte de vulnérabilité paysagère en appliquant des règles de vulnérabilité établies sur la base de connaissances expertes sur les facteurs paysagers favorables aux attaques de prédateurs sur troupeaux.

3. Ajout d'éléments complémentaires (effet clairière, topographie ...) susceptibles de jouer un rôle en matière de vulnérabilité.

A ce stade, il est important de souligner *qu'il n'a hélas pas été possible d'accéder aux données sur le nombre de jours de brouillard au cours des saisons de pâturage*, qui constitue pourtant un élément de vulnérabilité particulièrement important, notamment à l'étage montagnard supra-forestier (cas des unités pastorales d'estive) dans les Pyrénées.

Les différents aspects méthodologiques sont largement détaillés dans le rapport technique rédigé par Lucas Schwaab dans le cadre de sa mission au CDEO et fourni en annexe 1.

2 | Carte d'occupation du sol

2.1 Présentation de la démarche générale

La carte d'occupation du sol est réalisée à partir de traitements de plusieurs sources de données, dont la figure 1 décrit la méthodologie générale de création.

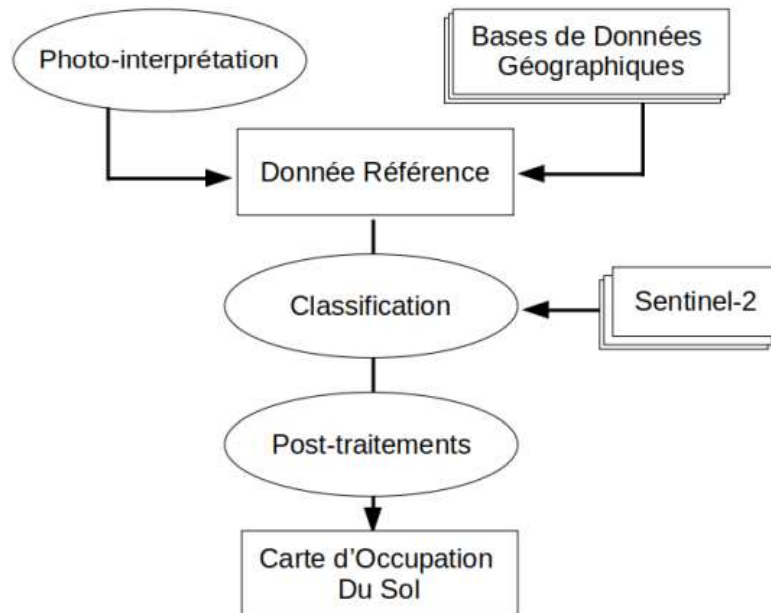


Figure 1 : Méthodologie générale de création de la carte d'occupation du sol.

2.2 Intérêt et limite du traitement des données de télédétection issues de Sentinel 2

La création de la carte d'occupation du sol repose essentiellement sur la classification de séries temporelles Sentinel2 de niveau 2A1 à 10 mètres de résolution spatiale avec une résolution temporelle (durée entre deux observations) de 5 jours.

Les traitements de ces données de télédétection s'appuient notamment sur la chaîne de traitement iota22 (Infrastructure pour l'Occupation des sols par Traitement Automatique).

Il s'agit d'une chaîne de traitement générique de préparation des données, d'apprentissage supervisé pour constituer les données de référence et de classification. La donnée d'apprentissage ou donnée de référence, est composée majoritairement de classes issues de bases de données géographiques librement disponibles et détaillées en partie 2.2.

Toutefois, le besoin de disposer d'une cartographie plus fine de certaines strates de végétation, en particulier des espaces de landes, a nécessité la création de données de référence (données vérité terrain) par photo-interprétation.

Enfin, de nombreuses distinctions, entre différents types de formation boisées, ne sont pas atteignables par classification d'image Sentinel-2. C'est pourquoi, notre approche repose également sur une étape de post-traitement. Ces derniers, ainsi que la nomenclature résultante sont expliqués en partie 2.3.

2.3 Création de la donnée de référence

La création de la donnée de référence est une étape essentielle de la méthode de traitement utilisée (méthode de classification supervisée) et elle est réciproquement liée à la nomenclature de la carte obtenue. De plus, la qualité des échantillons d'apprentissage (c'est à dire du contenu de la donnée de référence), détermine grandement les résultats de classification.

2.3.1 Bases de données d'occupation du sol

Les échantillons d'apprentissage sont principalement extraits de trois bases de données nationales et internationales :

- Corine Land Cover (CLC) : CORINE Land Cover (CLC) est un inventaire biophysique de l'occupation des sols produit par interprétation visuelle d'images satellite, selon une nomenclature en 44 postes ;
- BDTOPO : La BD TOPO® est une description vectorielle 3D (structurée en objets) des éléments du territoire et de ses infrastructures, de précision métrique, exploitable à des échelles allant du 1 : 2 000 au 1 : 50 000 ;
- Registre Parcellaire Graphique (RPG) : Le registre parcellaire graphique est une base de données géographiques servant de référence à l'instruction des aides de la Politique Agricole Commune (PAC).

Des correspondances ont été établies entre la nomenclature établie pour cette étude et les classes d'occupation du sol extraites de chaque base de données afin d'affiner la nomenclature avant le traitement des données par classification.

2.3.2 : Les limites des bases de données d'occupation des sols pour décrire les espaces de landes et formations boisées

Les landes constituent des espaces particulièrement sensibles, à la fois en termes de vulnérabilité paysagère et dans la perspective d'une modification des pratiques pastorales en lien avec la mise en œuvre de la protection des troupeaux. Leur identification et leur classification doit donc faire l'objet d'une attention particulière.

La BD TOPO contient, de façon étrange du point de vue des nomenclatures écologiques, les catégories de « Lande herbacée » et de « Lande ligneuse », mais :

- La classe « Lande herbacée » présente dans la nomenclature n'est cependant pas utilisée en France métropolitaine.
- Enfin, comme l'illustre la figure 2, la classe « Lande ligneuse » recouvre une hétérogénéité assez importante de strates de végétation. Elle peut contenir des landes hautes comme des landes basses et inclut des portions plus ou moins étendues de pelouses et de surfaces minérales.

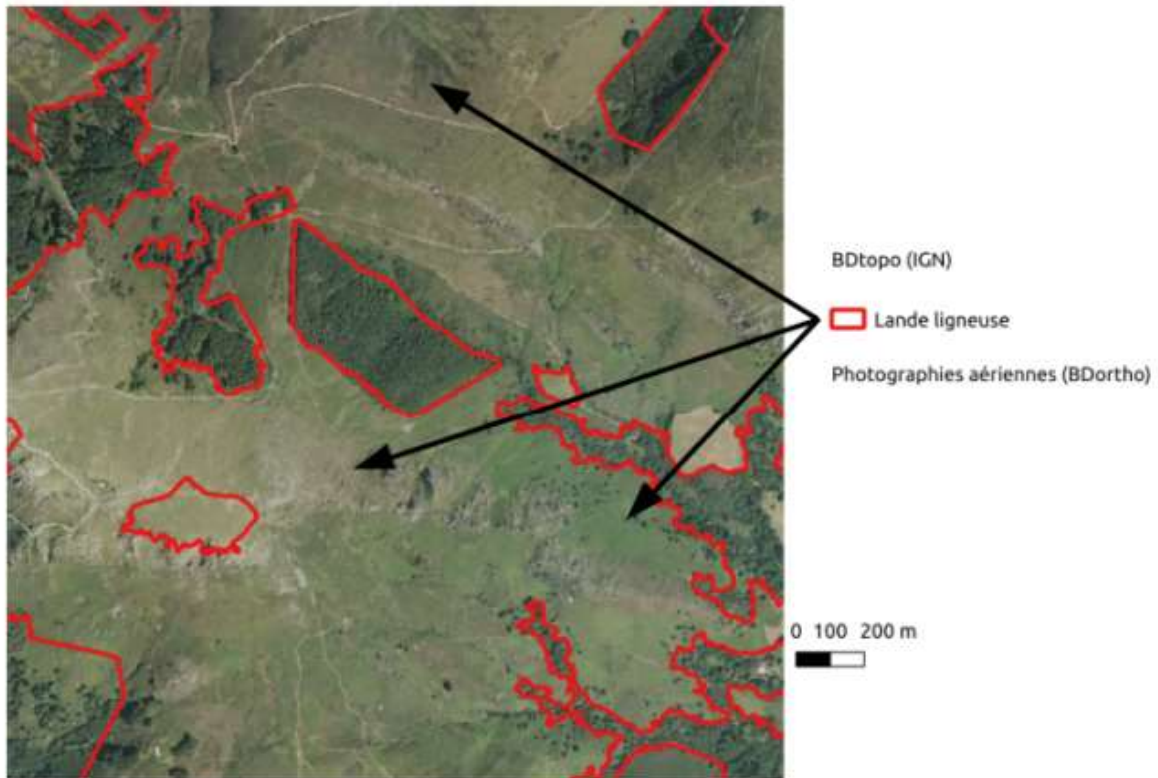


Figure 2 : La classe « Lande ligneuse » de la BD TOPO est très hétérogène.

D'autre part, la classe « Forêt ouverte » de la BD TOPO contient un certain nombre d'espaces pouvant être qualifiés de « landes avec arbres » (parfois appelés « pré-bois » lorsque la dynamique écologique tend vers de la forêt, ce qui n'est le plus souvent pas décelable sur photos aériennes car lié au processus de recrutement de jeunes arbres qui sont invisibles sur photo).

- En effet, par définition, les espaces de landes comportant quelques arbres dispersés (couverture du sol supérieure à 10%) sont classés en « Forêt ouverte ».
- Cependant, de nombreux autres cas de figures existent et rendent impossible l'utilisation de cette classe comme donnée de référence.

La figure 3 illustre par exemple la différence entre une formation de type lande haute avec arbres et une forêt ouverte correspondant à un peuplement ouvert de pinède à crochets sur une surface minérale.

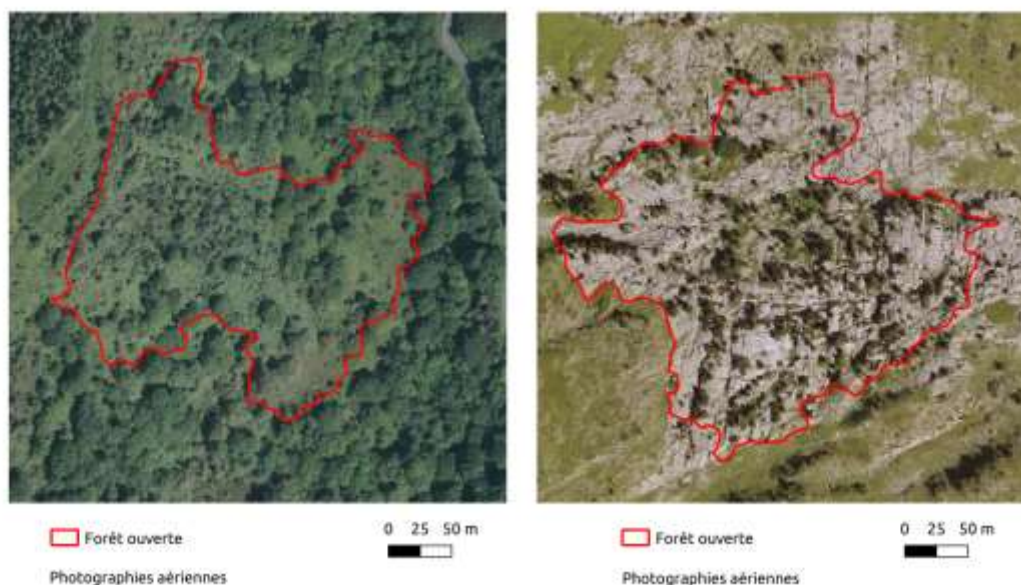


Figure 3 : Extraits de la classe Forêt ouverte de la BD TOPO choisis pour illustrer la différence entre une formation de type lande haute avec arbres et une forêt ouverte de type peuplement ouvert de pinède à crochets sur une surface minérale.

Nous en avons donc conclu à l'insuffisance des bases de données existantes au niveau des formations de landes compte tenu aux besoins relatifs à l'étude de la vulnérabilité paysagère locale.

Pour pallier à ce manque de données de référence, nous avons opté pour la photo-interprétation.

2.3.3 : L'utilisation de la photo-interprétation pour la classification des landes

Trois classes de landes en lien avec les objectifs de l'étude ont été définies :

- Landes basses : ce sont des landes dont les arbustes présentent moins de 80 cm de hauteur et qui se trouvent surtout en haute montagne. Cette classe ne comprend pas les landes hautes ayant été fauchées, broyées ou écochées. Enfin, il est rare que la distinction entre pelouses et landes basses apparaisse très nettement sur les photos, surtout si ces communautés sont en dynamique progressive (les premiers arbustes gagnent sur les pelouses). Dans de nombreux cas, ces deux classes forment un gradient discontinu, parfois sur un même espace. C'est pourquoi, la classe lande basse s'étend des landes basses fermées aux landes basses ouvertes parsemées d'îlots de pelouses. Nous avons cherché à limiter la classe "pelouse" à des zones de végétation herbacée rase et clairsemée.
- Landes hautes : ce sont des landes dont les arbustes ont plus de 80 cm de hauteur, qui se trouvent en plaine dans des espaces interstitiels ainsi qu'en moyenne montagne et parfois alors sur des versants entiers. Ces landes peuvent potentiellement faire l'objet de fauchage, de broyages ou d'écochage, mais cela ne doit pas être le cas au moment de la photo-interprétation (par principe de précaution, la hauteur potentielle de la lande ne pouvant qu'être supposée dans ce cas).
- Landes hautes avec arbustes et arbres : ce sont des assemblages de formations boisées ouvertes et de landes hautes qui se retrouvent en plaine dans des espaces interstitiels et en montagne dans des zones de transition entre landes hautes et formations boisées. Cela peut

donc recouvrir des espaces bien distincts, à savoir, soit en dynamique progressive et plus ou moins rapide vers de la forêt (qualifiés alors de « pré-bois), soit d’anciens espaces forestiers à présent très fragmentés (ou « clairières ») par des landes hautes, ceci pour diverses raisons, naturelles ou artificielles (coupes d’arbres, etc.).

La phase de photo-interprétation a été réalisée à l’aide d’images aériennes de la BD ORTHO de l’IGN et d’images Sentinel-2. La BD ORTHO est une base de données de photographies aériennes terrains sans usage ou en sous-usage situés le plus souvent entre différentes parcelles agricoles à 50 cm de résolution.

Elle fournit donc une très haute résolution spatiale pour l’identification d’éléments fins du paysage. Elle est cependant mise à jour sur un rythme de 3 ou 4 ans, ce qui ne permet d’avoir de contrôle sur la date d’acquisition des images utilisées (du moins pas sur les mois de l’année). C’est là l’intérêt de réaliser la photo-interprétation également à partir d’images Sentinel-2, dont la résolution temporelle permet une approche multidate.

En préalable à la photo-interprétation, un jeu de données terrain a été mobilisé pour identifier les différents faciès de landes présents dans les Pyrénées-Atlantiques (figure 4) :

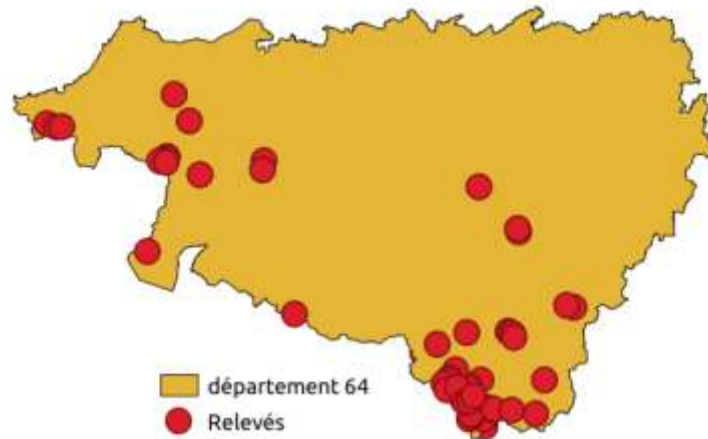


Figure 4 : Relevés de végétation servant de base à la photo-interprétation

Nous avons répertorié les espèces ou associations végétales les plus fréquemment rencontrées dans chacune des classes mentionnées plus haut (figure 5).

Landes hautes avec arbres	Landes hautes	Landes basses
- Fougères, ronces	- Ajonc d’Europe (haut, région atlantique)	- Callunes
- Genêts à balais	- Fougeraies (fougère aigle)	- Myrtilles
- Aulnes verts	- Buis	- Ajoncs nains
- Buis	- Genêts à balais	- Rhododendrons
- Broussailles diverses	- Genévriers « pyramidaux » (- 1600m)	- Genêt occidental
- Arbustes divers	- Ronces	- Genévriers rampants (+ 1600m)
- Arbres divers	- Aulnes vert	

Figure 5 : Contenu des classes de landes pour la photo-interprétation.

La photo-interprétation passe par une reconnaissance de l’espèce ou de l’association végétale. Cela ne fournit pas une description exhaustive du contenu de ces classes, mais il s’agit d’un moyen de faciliter la photo-interprétation dans la mesure où il est parfois plus facile, comme l’illustre l’exemple

de la figure 6, de reconnaître dans un premier temps une espèce/association végétale et d'en déduire ensuite la hauteur de végétation correspondante.

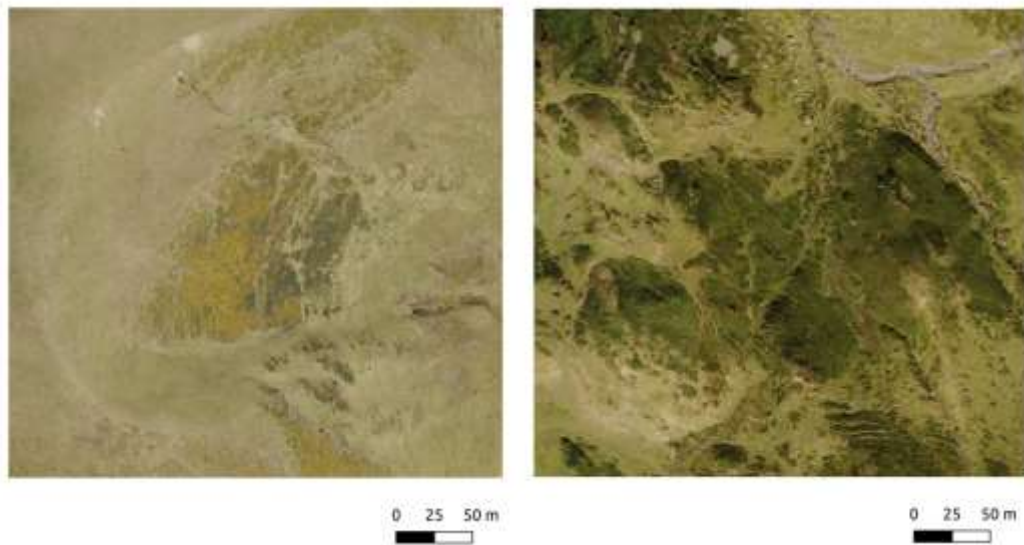


Figure 6 : Le genêt occidental (*Genista hispanica* subsp. *Occidentalis* Rouy) ici reconnaissable à ses fleurs jaunes et le rhododendron (*Rhododendron ferrugineum* L.) à sa couleur sombre.

Dans cette même logique, l'approche multodate apportée par les images Sentinel-2 permet de mettre en évidence certaines espèces/communautés végétales dont l'évolution saisonnière se démarque des autres. La figure 7 illustre l'évolution de la fougère aigle en fin d'été/début d'automne.

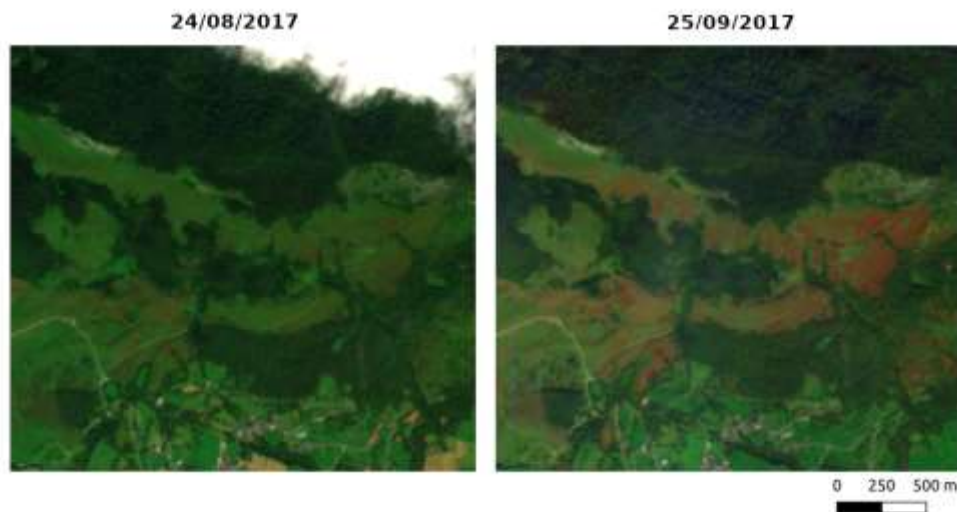


Figure 7 : Exemple de fougère aigle sur des images Sentinel-2 à deux dates différentes. A partir de la fin de l'été, la fougère devient rouge-orange et contraste avec les pelouses.

Cependant, déterminer l'espèce/communautés végétale ne suffit pas toujours et d'autres critères sont à prendre en compte. C'est le cas justement des fougères qui peuvent se retrouver dans les catégories de landes basses et de landes hautes (figure 8). Il est donc important de ne pas procéder de manière systématique et de considérer le degré d'ouverture de la formation végétale (recouvrement des éléments qui la compose).

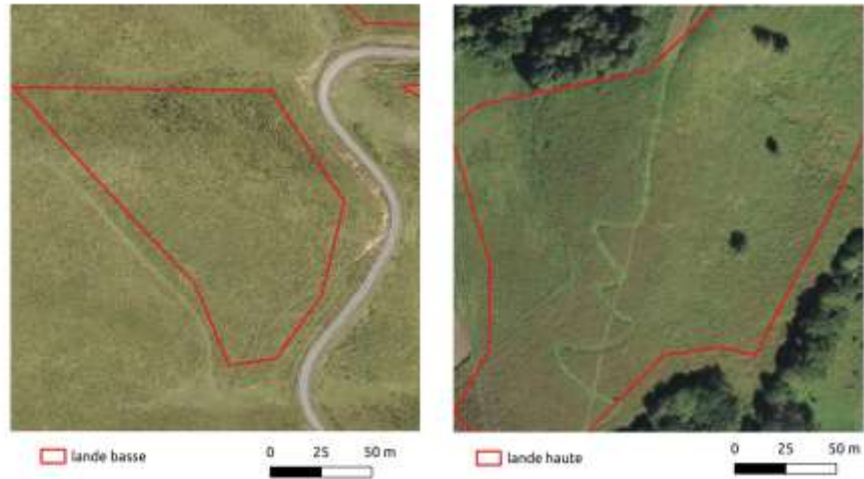


Figure 8 : Comparaison entre une fougeraie basse et une fougeraie haute. Avec l'altitude, il arrive que la fougère aigle reste relativement rase. La fougeraie haute est souvent dense.

Au contraire, dans d'autres cas, déterminer l'espèce/association végétale n'est pas indispensable.

Il s'agit en particulier des landes hautes avec arbres qui comportent de nombreux arbustes. Ici c'est encore le degré d'ouverture de la lande qui est le plus important (recouvrement en arbres/arbustes, peu importe l'espèce). La figure 9 illustre la différence entre des landes hautes à fougère et ajoncs et des landes hautes à fougère et ajoncs avec arbres et arbustes.



Figure 9 : Landes hautes et landes hautes avec arbres. La différence entre les deux tient à la présence d'arbres et d'arbustes divers, mais les deux peuvent comporter des fougères et des ajoncs.

Enfin, les images Sentinel-2 en composition colorée infrarouge couleurs 910 permettent une estimation visuelle de l'activité chlorophyllienne de la végétation. La figure 10 illustre la différence de réflectance entre des pelouses/landes basses et des landes hautes à fougère.

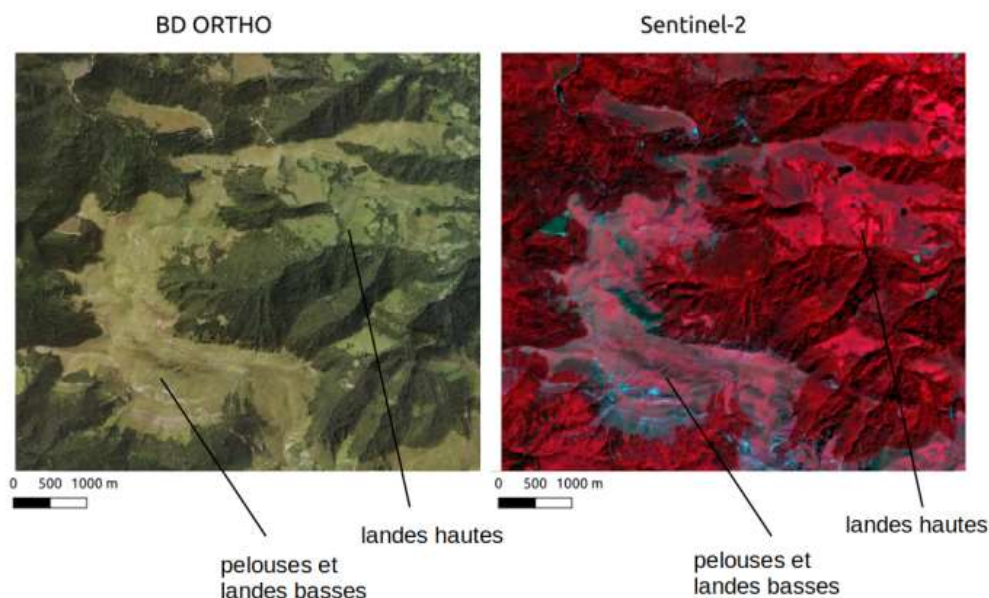


Figure 10 : Composition colorée infrarouge couleur d'une image Sentinel-2 du 17-08-2017. Forêt d'Iraty, Pays Basque. Les pelouse et landes basses à l'ouest du bois sont plus claires et bleutées que les landes hautes à fougère au nord-est du bois.

2.3.4 : Au final, une donnée de référence hybride

Le résultat est une donnée de référence avec des échantillons en majorité issus de bases de données géographiques (figure 11) mais avec un important travail de photo-interprétation sur les milieux semi-naturels du département des Pyrénées-Atlantiques.



Figure 11 : Aperçu de la donnée de référence utilisée pour l'apprentissage et la validation de la classification.

2.4 Les traitements complémentaires pour améliorer la classification

Afin d'obtenir les meilleurs résultats de classification possibles, les paramètres suivants ont été testés :

- **Données utilisées et taille de la série temporelle.**

L'utilisation d'une série temporelle de deux ans améliore les résultats par rapport à une seule année.

Une résolution temporelle à 20 jours améliore également les résultats par rapport à une résolution à 10 jours.

- **Stratification de la classification.**

La stratification permet d'affiner le modèle de classification différent par strate sur certaines classes qui peuvent être spécifiques d'une strate en particulier (par exemple : cas des surfaces minérales en montagne ou des surfaces artificialisées en milieu urbain).

A partir des unités paysagères du département issues de l'Atlas de Paysages du département, et compte tenu des fortes disparités topographiques et agropastorales, nous avons décidé d'étudier l'apport de l'utilisation d'une stratification du territoire pour la classification en trois strates correspondant à trois niveaux de regroupement d'unités paysagères présentant des caractéristiques communes (figure 12)

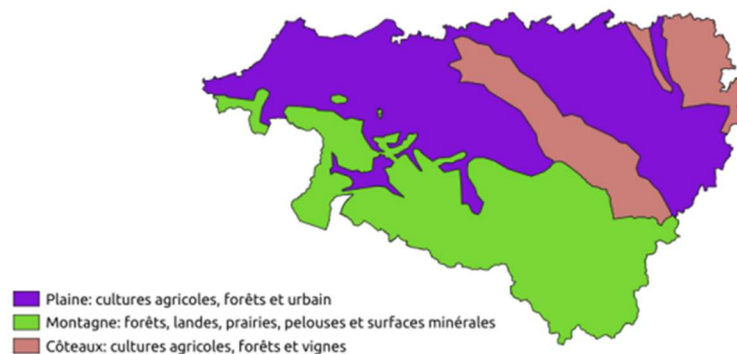


Figure 12 : Stratification utilisée pour la classification. Elle a été réalisée manuellement (digitalisation). Les limites entre les strates s'accordent avec les unités paysagères dont certaines ont été corrigées par photo-interprétation pour coller au mieux avec l'occupation du territoire.

- **Stratégie d'échantillonnage :** un seuil a été fixé de sorte que les classes très représentées sont limitées à un nombre maximal d'échantillons (un nombre maximal d'échantillons par classe et par strate fixé à 200 000)

Par ailleurs les traitements complémentaires ont été réalisés :

- **Extraction des escarpements et crêtes rocheuses :** la classe Surface minérale telle qu'obtenue par classification est trop hétérogène pour lui associer des règles de vulnérabilité paysagère. En effet, la situation dépend fortement de la topographie et en particulier de l'accessibilité pour des troupeaux, ovins principalement, en raison du niveau de la pente.
- **Afin d'adapter les paramètres de vulnérabilité de manière proportionnée, les formations boisées sont déclinées en plusieurs groupes selon leur superficie.**

- Grandes formations boisées = formations boisées avec une superficie supérieure à 5000 m² (seuil adopté par l'IGN pour la BD TOPO)
 - Petites formations boisées = formations boisées de moins de 5000m² ou formations boisées de moins de 60 mètres de large
 - Haies et bosquets (très petites formations boisées) = formations boisées de moins de 20 mètres de large (épaisseur de la haie ou rayon du bosquet).
- **Prise en compte des natures potentielles de sous-bois, susceptible de beaucoup modifier la visibilité et donc la vulnérabilité** : en croisant avec les 9 classes de formations boisées repérées selon les catégories d'essences végétales (conifères ou feuillus), la topographie, l'altitude et l'exposition.

2.5 Résumé et extraits de cartes

2.5.1 Résumé de la démarche

En résumé, la carte d'occupation du sol est obtenue par classification, à partir d'une donnée de référence hybride, suivie de post-traitements visant à récupérer les haies et bosquets trop fins pour être détectés, ainsi qu'à préciser les classes de formations boisées et les surfaces minérales (figure 13).

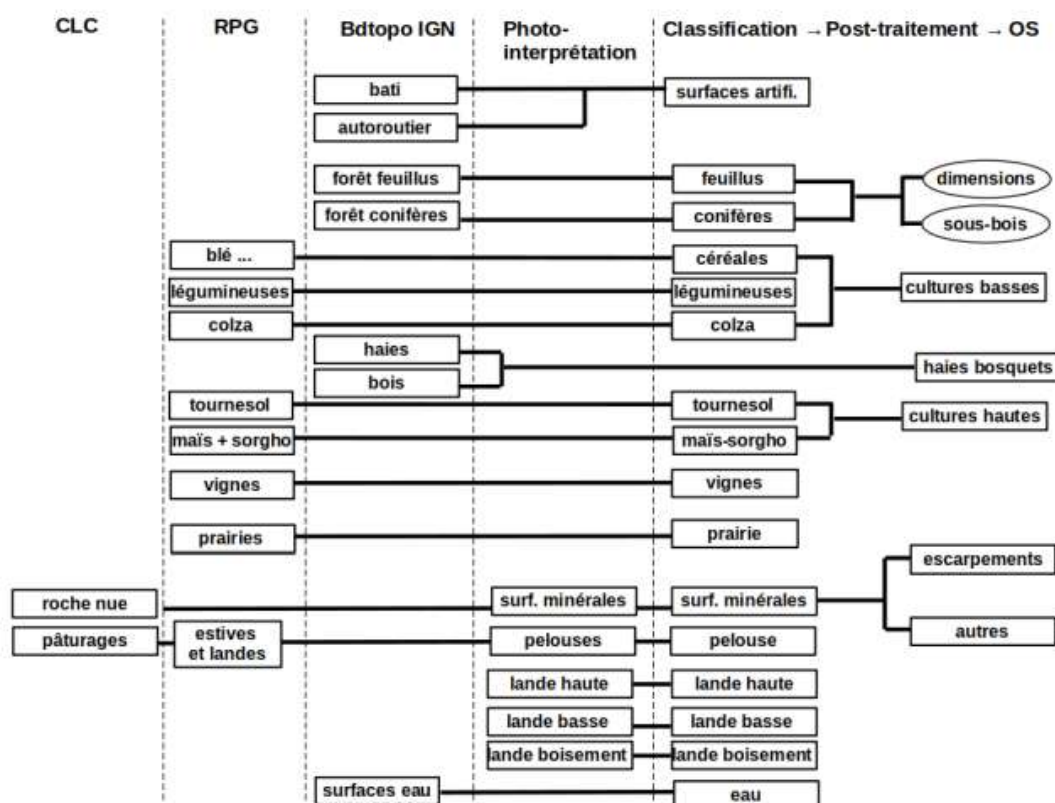


Figure 13 : Résumé du processus de création de la carte d'occupation du sol.

2.5.2 Carte d'occupation du sol après post-traitements

Après post-traitements, nous avons une nomenclature à 21 classes. La figure 14 montre une vue d'ensemble de cette carte. Des extraits à plus grande échelle sont présentés dans le rapport technique.

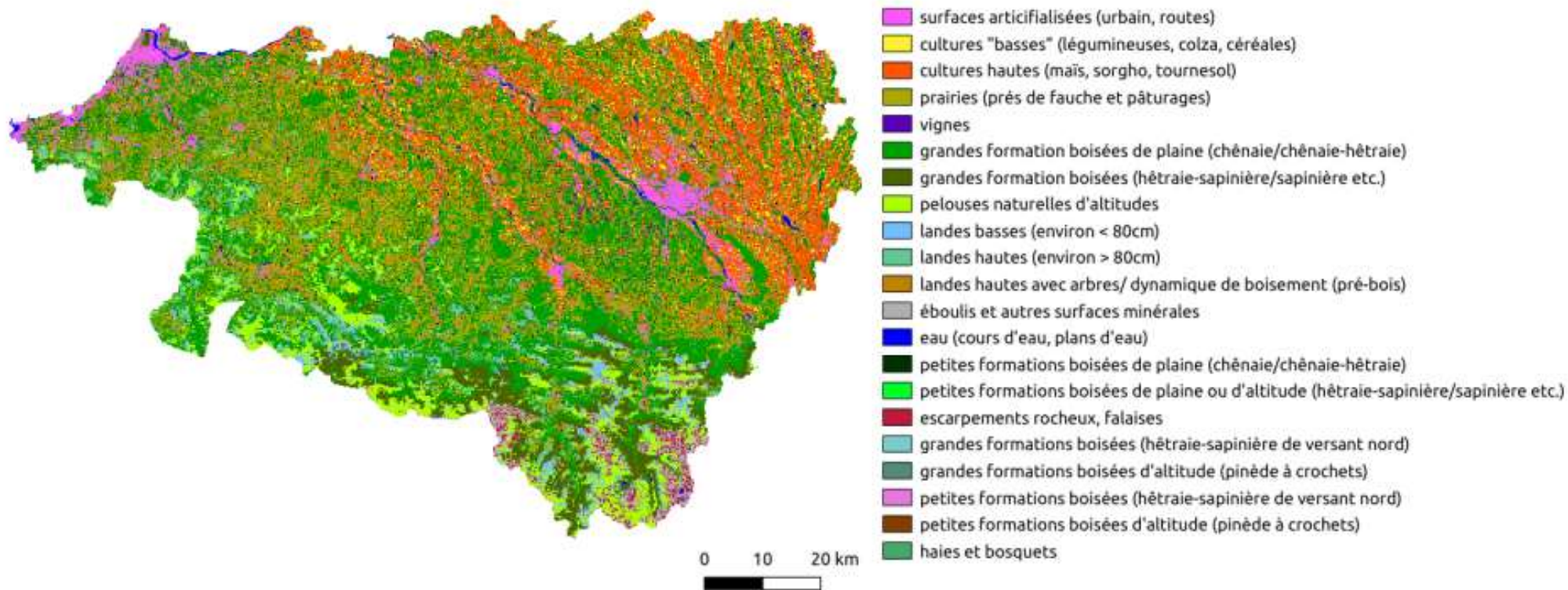


Figure 14 : Vue d'ensemble de la carte d'occupation du sol après réalisation des post-traitements. La nomenclature contient 21 classes.

3 | Carte de vulnérabilité

3.1 Vulnérabilités intrinsèques et distances de vulnérabilité

Le calcul de la carte de vulnérabilité repose sur la distinction de deux types de vulnérabilité :

- **La vulnérabilité intrinsèque à chaque classe d'occupation du sol**, c'est à dire d'une vulnérabilité de base, indépendante des classes voisines.
- **La vulnérabilité projetée par certaines classes** (nous les qualifions de classes source), jusqu'à une certaine distance, **sur les classes voisines** (classes cibles). Elle se traduit par une augmentation de la vulnérabilité au sein d'une zone tampon autour de la classe source. La vulnérabilité augmente dans cette zone d'autant plus que la classe source est jugée comme favorisant les conditions d'attaques (dissimulation du prédateur, affuts préalables et replis).

Seules certaines classes sont susceptibles d'être affectées par les classes voisines. Ce sont les classes dites cibles.

Les données et paramètres de vulnérabilité affectés à chaque classe ont été décidés sur la base des connaissances expertes (INRAE Montpellier/réseau de chercheurs *Coadapht*¹) à partir d'expériences issues d'autres régions et parfois pays, et sont exprimés sur une échelle allant de n.a (ne s'applique pas) à 3 (vulnérabilité maximale pour les indices de vulnérabilités intrinsèque ou projetée).

Le document ayant servi de base pour l'affectation de ces paramètres est présenté en annexe 2.

La table 1 résume l'ensemble des classes cibles et sources :

- On peut voir que les formations boisées génèrent de la vulnérabilité sur leur voisinage, mais que leur vulnérabilité interne ne dépend pas des autres classes.
- Les classes landes hautes, haies/bosquets et landes hautes avec arbres, sont quant à elles influencées par les classes voisines en même temps qu'elles génèrent de la vulnérabilité sur les classes voisines.
- D'autre part, la vulnérabilité au sein des classes pelouses et lande basses dépend des classes voisines mais elles ne génèrent pas elles même de vulnérabilité, du fait de la faible hauteur de végétation associée.
- Enfin, les classes qui n'appartiennent à aucune des catégories du tableau sont celles qui sont exclues du calcul de la vulnérabilité

	Cible	Source
Grande formation boisée		X
Formation boisée moyenne		X
Haies et bosquets	X	X
Landes hautes à dynamique de boisement	X	X
Landes hautes (> 80cm)	X	X
Landes basses (< 80cm)	X	
Cultures agricoles « hautes »		X
Cultures agricoles « basses »		
Vignes	X	X
Pelouses (herbacée basse)	X	
Prairie (tout usage)	X	
Cours d'eau et surfaces en eau		X
Surfaces artificialisées		
Autres surfaces minérales	X	
Falaises et autres escarpements rocheux inaccessibles		

Table 1 : Appartenance de chaque classe aux catégories de "classe cible" (influencée par les classes voisines) et "classe source" (génératrice de vulnérabilité sur les classes voisines). Les classes qui n'appartiennent à aucune des catégories sont celles qui sont exclues du calcul de la vulnérabilité.

Les données concernant les distances de vulnérabilité sont présentées dans la table 2.

¹ Voir : <https://coadapht.fr/fr>

Element/occupation du sol + espèce potentiellement prédominante	Vulnérabilité intrinsèque	Vulnérabilité projetée	Distance de vulnérabilité
Grande formation boisée : chênaie ou chênaie-hêtraie	3 (fixe)	3	400m
Grande formation boisée : hêtraie d'altitude, hêtraie-sapinière/sapinière ou conifères de plaine	2 (fixe)	2	400m
Grande formation boisée : hêtraie-sapinière de versant nord	1 (fixe)	1	400m
Grande formation boisée : pinède à crochets	1 (fixe)	1	400m
Petites formation boisées: chênaie ou chênaie-hêtraie	3 (fixe)	3	200m
Petites formation boisées: hêtraie d'altitude, hêtraie-sapinière/sapinière ou conifères de plaine	2 (fixe)	2	200m
Petites formation boisées: hêtraie-sapinière de versant nord	1 (fixe)	1	200m
Petites formation boisées: pinède à crochets	1 (fixe)	1	200m
Haies et bosquets (très petites formations boisées)	dépend du contexte	1	100m
Landes hautes avec arbres	3	3	200m
Landes hautes (environ > 80cm)	3	3	200m
Landes basses (environ < 80cm)	0	0	0m
Cultures agricoles « hautes » (maïs, sorgho, tournesol)	n/a	2	200m
Cultures agricoles « basses » (légumineuses, colza, céréales)	n/a	n/a	0m
Vignes	2	2	200m
Pelouses d'altitudes	0	0	0m
Prairie (prés de fauche et/ou pâturages)	0	0	0m
Cours d'eau et surfaces en eau	n/a	2	200m
Surfaces artificialisées (urbain, routes)	n/a	n/a	0m
Éboulis et pelouses rocailleuses (pente < 45°)	1	0	0m
Escarpements rocheux et falaises (crête ou pente > 45°)	n/a	n/a	0m
Hauts de pente	1	1	50m
Fonds de vallées encaissés	1	1	50m
« Clairières » (moins de 200m de large)	1	1	n/a

Table 2 : Récapitulatif de l'ensemble des paramètres pour le calcul de la carte de vulnérabilité paysagère locale. La vulnérabilité intrinsèque est la vulnérabilité interne de base de chaque classe cible. La vulnérabilité projetée correspond à l'augmentation de la vulnérabilité à l'intérieur du périmètre de vulnérabilité dont la taille est définie par la dernière colonne du tableau. La mention "fixe" au niveau des formations boisées signifie que leur niveau de vulnérabilité n'est pas influencé par les classes voisines.

3.2 Autres facteurs paysagers pris en compte dans l'évaluation de la vulnérabilité

Les autres facteurs paysagers qui entrent en jeu dans la vulnérabilité sont :

- La topographie (les ruptures de pente pouvant favoriser les attaques et qui s'additionnent aux facteurs liés à l'occupation du sol).
- Les clairières, communément appelée « artigues » dans la nomenclature pyrénéenne, qui appartiennent à une configuration paysagère particulièrement sensible. En ce sens, elles font partie de la vulnérabilité générée par l'occupation du sol.

Malheureusement, les jours de brouillard constituent un facteur de vulnérabilité très important, notamment à l'étage montagnard supra-forestier et donc sur les estives, mais il n'a pas pu être pris en compte dans l'étude en raison de l'impossibilité d'avoir accès à la donnée.

3.2.1 Topographie

Le rôle de la topographie dans la vulnérabilité paysagère réside surtout dans les ruptures de pente, à savoir des variations fortes de la valeur de la pente dans un périmètre donné. Elles engendrent une rupture de visibilité « à la montée » (vu du troupeau) ainsi que des modifications de flux d'air (repérage olfactif et auditif par des chiens de protection). Ces effets topographiques locaux aident les prédateurs à utiliser des zones d'affût, ou de replis, plus sûres et confortables.

Les ruptures de pentes sont définies comme correspondant aux classes sommets et crêtes et vallons incisés issues de la classification de l'index de position topographique (TPI).

Les traitements des données de topographie ont été expérimentés avec la BD ALTI (25m) et le RGE ALTI (5m) rééchantillonnés à 10m de résolution et une analyse qualitative a montré que les résultats sont quasiment identiques en fonction de la donnée utilisée.

La figure 15 montre les ruptures de pente (à gauche) et la zone tampon de 50m formant la zone de vulnérabilité résultante (à droite).



Figure 15 : Ruptures de pente extraite à l'aide du TPI et zone tampon de 50 mètres autour des ruptures de pente formant la zone de vulnérabilité induite par ces dernières. Les couches sont superposées à la BD ORTHO.

La prise en compte des espaces couverts de « gros blocs » (plusieurs mètres de rayon et parfois aussi de hauteur) dont la présence, tout comme les fortes ruptures de pentes, peuvent servir aux prédateurs à se dissimuler pour un affut, n'a pas été possible, ces blocs n'étant pas repérables sur les photographies satellites.

3.2.2 Extraction des clairières

Il a été constaté qu'avec l'utilisation de zones tampon, la prise en compte de la configuration paysagère (interfaces entre différentes classes d'occupation du sol) pour le calcul de la vulnérabilité restait limitée à la notion de proximité (distance par rapport à n'importe quel pixel de la classe source).

Or certains éléments paysagers, comme les clairières ou « artigues », sont d'autant plus vulnérables qu'elles sont par entourées de grandes lisières quasi-continues. Il a donc été nécessaire de rajouter une étape d'extraction de ces portions d'espace plus ou moins entourés de formations boisées que nous qualifierons de clairières.

Une clairière est donc définie comme tout espace non forestier, accessible par les animaux d'élevage (hors urbain, cultures agricoles hautes, escarpements et eau) dont la largeur minimale entre deux limites de formations boisées est inférieure à 200 mètres.

La figure 16 illustre de manière simplifiée l'augmentation de la vulnérabilité au sein des portions d'espace identifiées comme représentants des clairières

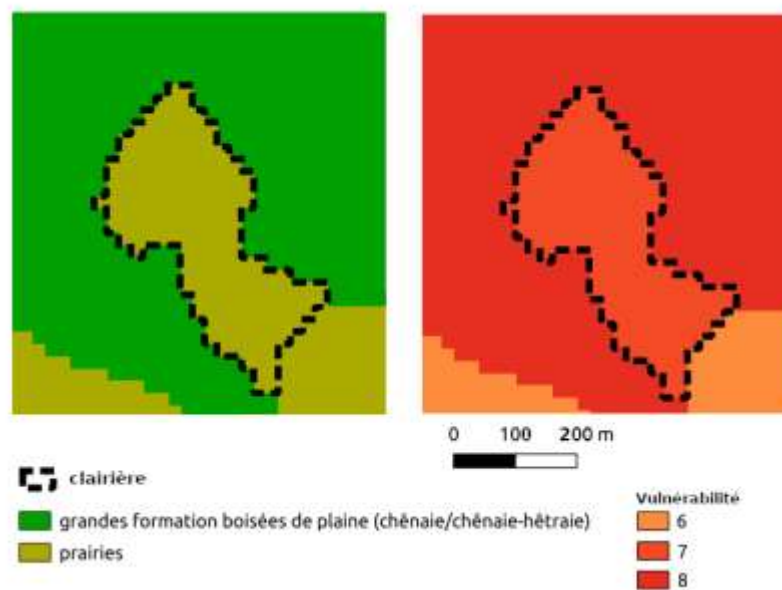


Figure 16 : Illustration de l'augmentation de la vulnérabilité dans les clairières. La prairie est non seulement à proximité de forêt mais la largeur entre les deux lisières est également inférieure à 200 mètres. Donc la vulnérabilité augmente d'un niveau supplémentaire.

3.3 Filtrage et discrétisation

Pour réduire l'aspect "bruité" de la carte, une opération de filtrage par vote majoritaire est réalisée. Cela consiste à remplacer la valeur du pixel par la valeur majoritaire au sein d'un voisinage donné.

3.4 Résumé de la démarche d'élaboration de la carte de vulnérabilité

Les principales étapes sont résumées dans la figure 17 :

- Calcul de la vulnérabilité générée par chaque classe séparément (zones tampon).
- Fusionnement des images résultantes et ajout de la vulnérabilité intrinsèque de chaque classe.
- Ajout de la vulnérabilité liée à la topographie (ruptures de pente).
- Ajout de la vulnérabilité spécifique aux clairières.
- Processus post-traitement des images (filtrage et discrétisation)

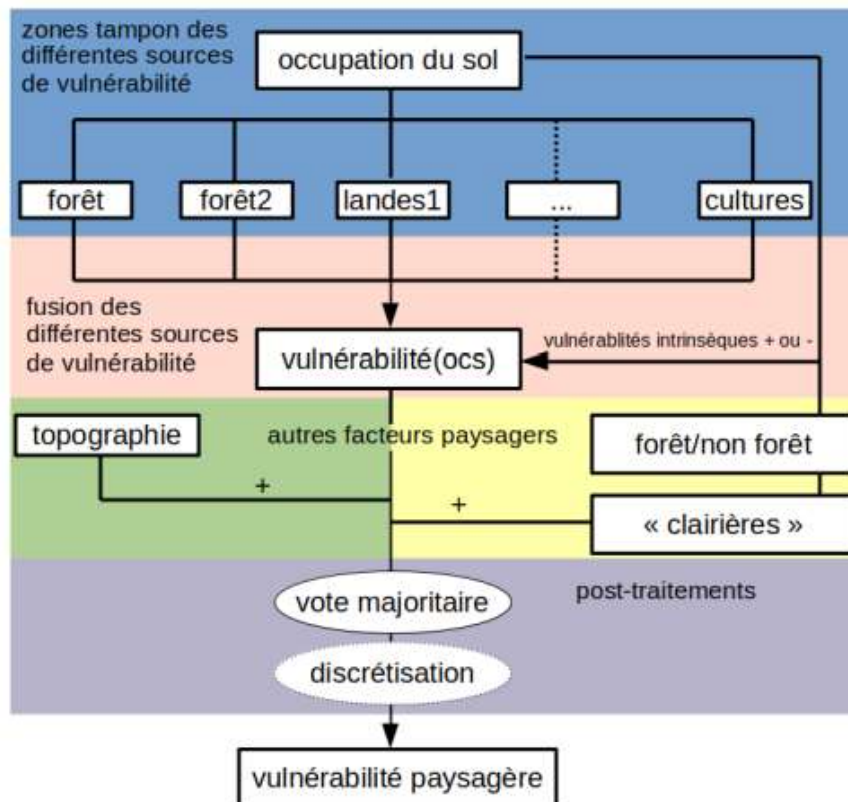


Figure 17 : Méthodologie générale de création de la carte de vulnérabilité.

3.5 Synthèse et production des cartes de vulnérabilités

La figure 18 présente la carte de vulnérabilité élaborée à l'issue de la réalisation de l'ensemble des étapes décrites précédemment et en utilisant les paramètres décrits à la table 2. L'établissement de différents scénarios faisant varier les critères nous permettra de spatialiser et d'analyser individuellement l'influence des différents paramètres de la vulnérabilité.

Cette carte montre une vulnérabilité paysagère importante sur une grande partie du département, hormis :

- Les zones où la vulnérabilité des troupeaux ne s'applique pas (zones fortement urbanisées sans activité d'élevage, milieux aquatiques...)
- Les zones d'estive de l'étage montagnard supra-forestier pour lesquelles le paramètre de nombre de journées de brouillard n'a pas pu être intégré à l'analyse

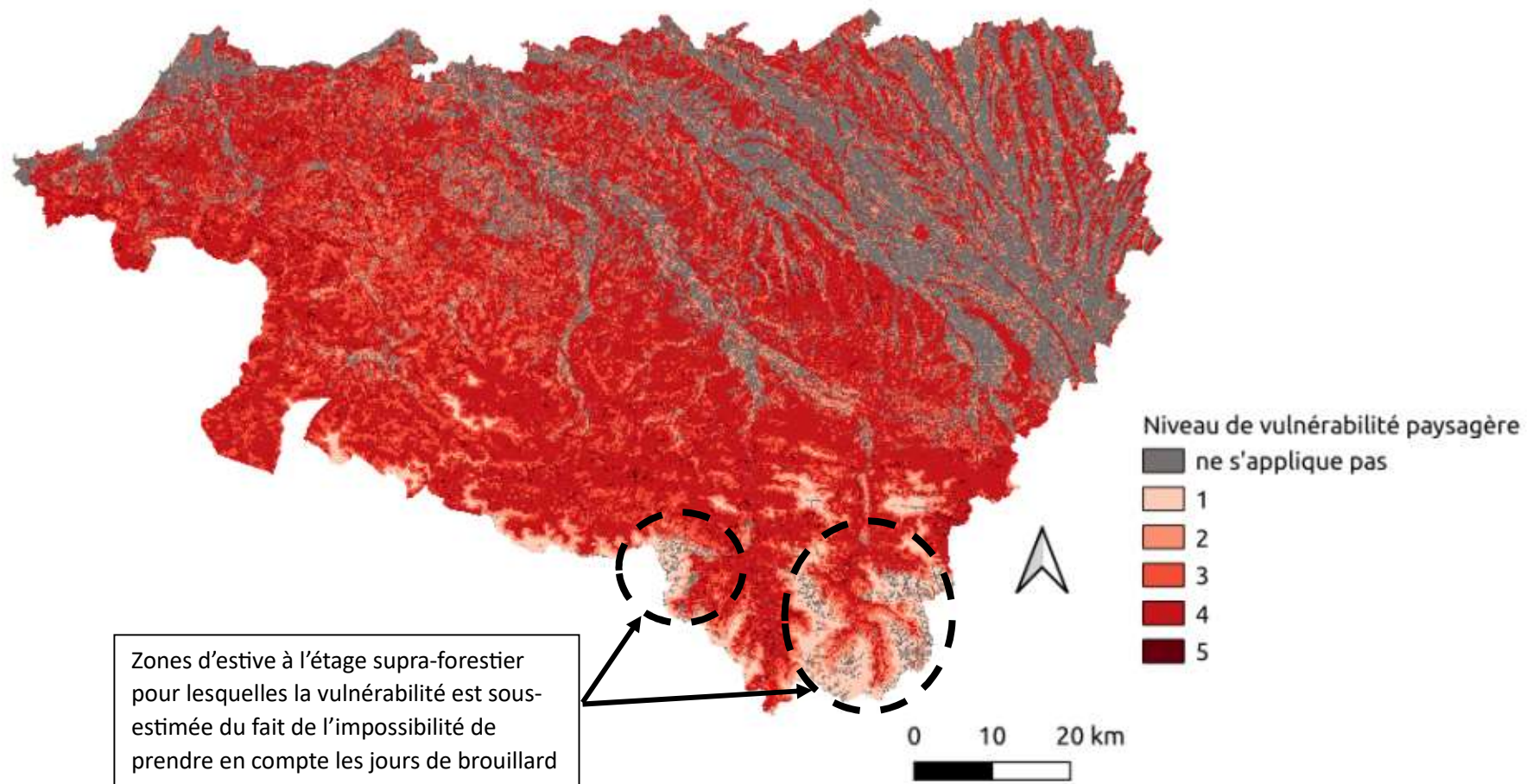


Figure 18 : Carte de vulnérabilité : vue d'ensemble du département

4 | Évaluation statistique et analyse de sensibilité des résultats obtenus

4.1 Évaluation de la classification d'occupation du sol

L'évaluation statistique de la classification est faite à partir de la matrice de confusion qui permet de mesurer la part de pixels correctement classifiée dans une classe donnée par rapport à l'ensemble des pixels classifiés dans cette classe.

La méthode d'évaluation est détaillée dans le rapport technique.

L'analyse de la matrice de confusion (figure 19) montre une précision globale très satisfaisante.

Néanmoins certaines classes restent mal reconnues. C'est le cas en particulier des différents types de lande qui présentent plus ou moins de confusions entre elles ainsi qu'avec les pelouses et forêts.

La classe forêt de conifère présente également un taux de confusion important avec la classe forêt de feuillus.

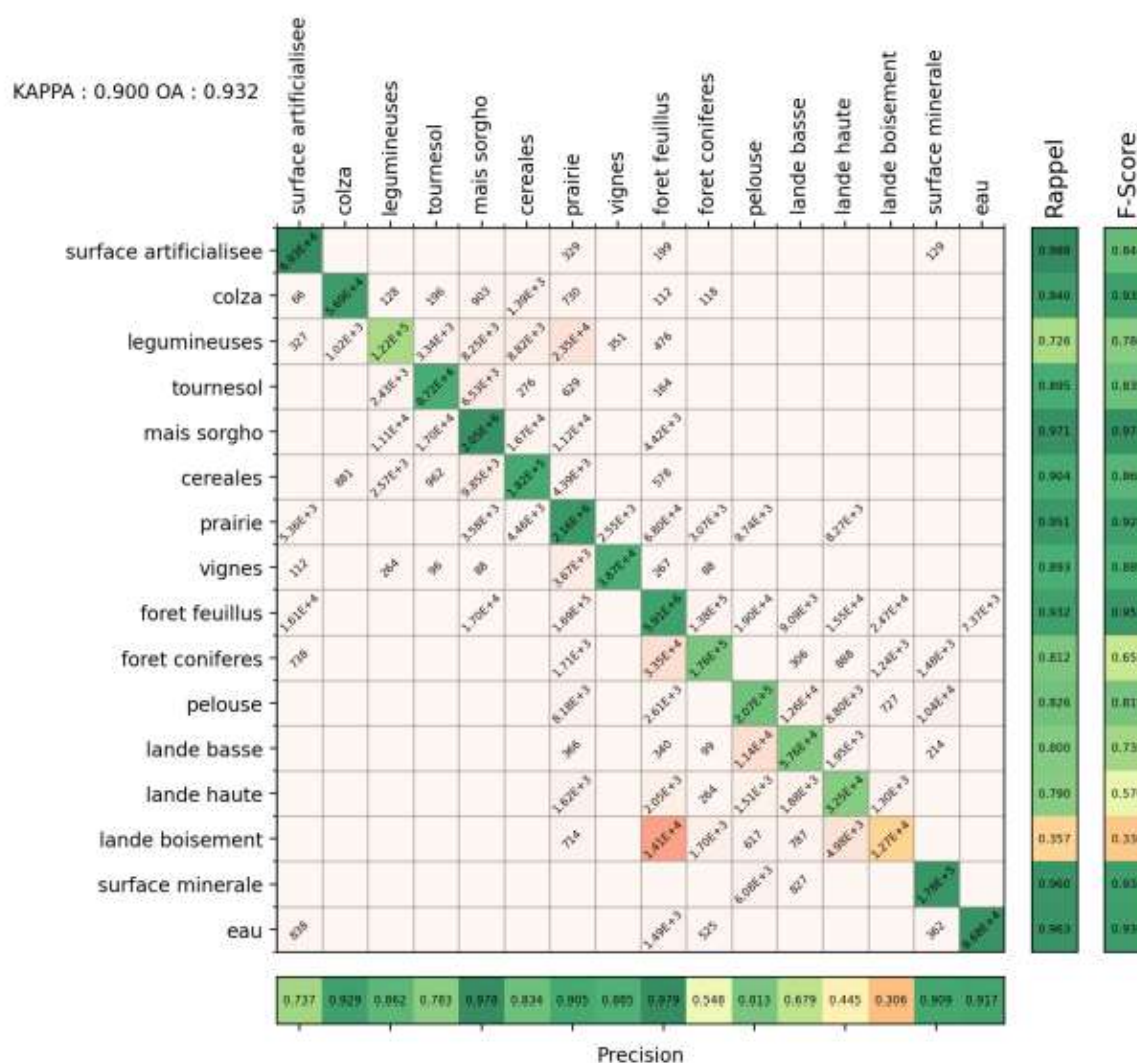


Figure 19 : Matrice de confusion de la carte d'occupation du sol en sortie de classification.

L'apport de la photo-interprétation supplémentaire a permis d'améliorer le recensement des landes, mais sans améliorer la précision statistique de la classification les résultats de classifications.

C'est pourquoi, l'évaluation statistique de la qualité de la carte d'occupation du sol a été complétée par une évaluation qualitative reposant sur la photo-interprétation et qui a notamment permis de formuler les points suivants :

- Les classes de landes restent globalement sous-détectées.
- Les faux positifs de landes hautes avec arbres ne sont pour beaucoup pas des erreurs de classification mais sont dues à l'échelle de la BDtopo et donc aux arbustes et broussailles contenues dans la classe forêt de feuillus.
- Les faux négatifs de landes hautes avec arbres correspondent en effet souvent à une sous-détection mais correspondent aussi parfois à des arbres de feuillus inclus dans la classe lors de la photo-interprétation (selon la définition de "lande haute avec arbres").
- Les faux positifs de lande haute dans les landes hautes avec arbre correspondent bien à des landes hautes et relèvent d'avantage des limites de l'approche pixel pour les classes mixtes que d'erreurs de classification.
- La possible confusion entre landes hautes ouvertes et landes basses pose question dans certaines zones, notamment de fougères, et nécessiterait une validation terrain.

4.2 Analyse de sensibilité de la carte de vulnérabilité paysagère

L'analyse de sensibilité consiste à faire varier certains paramètres pour en isoler l'impact sur le résultat final de la carte de vulnérabilité. L'objectif est de mettre en évidence l'influence de certains facteurs de vulnérabilité dans une optique de validation et d'illustration de la méthode.

Le rapport technique détaille le plan expérimental qui a été développé pour réaliser cette analyse de sensibilité et en particulier les points concernant les différentes approches et méthodes de traitement des données.

Dans ce rapport de synthèse, nous nous focaliserons sur l'influence du paramétrage des règles de vulnérabilité permettant d'élaborer des scénarios de vulnérabilité

4.2.1 Des scénarios basés sur le fait d'enlever un facteur de vulnérabilité du calcul en y associant une distance et un niveau de vulnérabilité nulle.

Les classes pour lesquelles nous avons choisi de faire varier les paramètres de vulnérabilité sont détaillées dans la table 3 ci-dessous

Scénario de vulnérabilité	sans haies	la vulnérabilité liée aux haies est fixée à 0 à l'intérieur et jusqu'à 0m autour de la classe haies et bosquets
	sans landes	la vulnérabilité liée aux landes est fixée à 0 à l'intérieur et jusqu'à 0m autour des classes de landes
	sans cultures	la vulnérabilité liée aux cultures est fixée à 0 à l'intérieur (déjà le cas) et jusqu'à 0m autour de la classe cultures hautes
	sans projection	toutes les distances de vulnérabilité sont fixées à 0m mais la vulnérabilité intrinsèque des classes reste identique

Table 3 : Détail des scénarios de vulnérabilité

Les analyses issues de ces scénarios montrent que :

- Les cultures agricoles ne rentrent pas en jeu dans l'apparition de hauts niveaux de vulnérabilité (niveaux supérieurs à 7).
- Les haies et bosquets n'entrent pas en jeu dans l'apparition de hauts niveaux de vulnérabilité (niveaux supérieurs à 5)
- Les landes entrent en jeu dans tous les niveaux de vulnérabilité et il s'agit d'une condition nécessaire à l'apparition d'une vulnérabilité de niveau 10
- En enlevant les distances de vulnérabilité liées à l'occupation du sol, le niveau de vulnérabilité maximal est de 8. On peut donc dire que la vulnérabilité intrinsèque et la topographie jouent un rôle majoritaire dans la vulnérabilité à l'échelle du département mais que la vulnérabilité projetée est responsable des très hauts niveaux de vulnérabilité (supérieurs à 8).

4.3.2 Des scénarios complémentaires pour alimenter le débat autour des paramètres de la carte de vulnérabilité paysagère

A ce niveau, il s'agit de réaliser plusieurs versions de cartes différentes en faisant varier les distances de vulnérabilité. Il a été étudié deux versions :

- Version "estimation haute": distances multipliées par deux
- Version "estimation basse": distances divisées par deux

Les résultats présentés dans le rapport scientifique valident le caractère relativement stable de la carte de vulnérabilité obtenue à l'échelle départementale et la possibilité de nuancer l'approche en passant à des échelles inférieures.

Les exemples ci-dessous permettent d'illustrer le type d'évolution de vulnérabilité obtenu :

- On voit à la figure 20 que la modification des distances de vulnérabilité impacte sensiblement le résultat en milieu ouvert supra-forestier.
- *A contrario*, la figure 21 illustre qu'en plaine, on atteint déjà régulièrement le niveau "saturation" avec les distances "standard" et que le fait d'augmenter les distances ne change parfois rien.
- Par contre, quand on les baisse, la différence est visible.

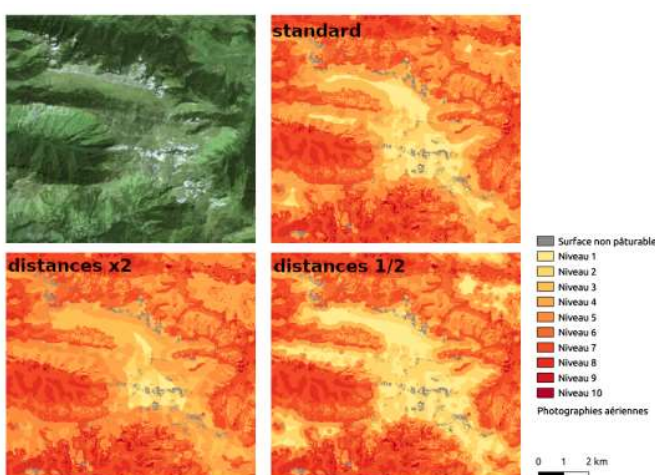


Figure 20 : Scénarios hauts et bas pour les distances (montagne)

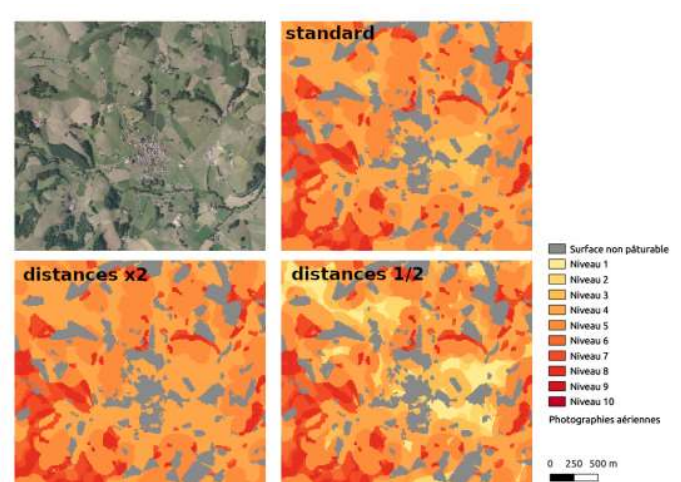


Figure 21 : Scénarios hauts et bas pour les distances (plaine)

5 | Conclusion

Les cartes élaborées dans le cadre de l'étude d'impact portent exclusivement sur la vulnérabilité des troupeaux en raison des natures et structures de paysages. L'analyse de ces paysages provient de la carte d'occupation des sols, mais aussi et parfois surtout de la prise en compte d'éléments paysagers importants en termes de vulnérabilité. Par exemple, les fortes ruptures de pentes ou les paysages forestiers avec clairières bordées de grandes lisières.

Les paramètres de vulnérabilité introduits dans le modèle concernent pour beaucoup les loups. En effet, du fait de leurs effectifs et de leur dispersion dans des paysages particulièrement variés, nettement plus que les ours, les expériences sur 30 ans sont nombreuses, notamment dans les Alpes, la Provence, les Vosges, et plus récemment aussi le sud du Massif central (expertises INRAE/réseau de chercheurs *Coadapht*).

L'attention portée au choix des données utilisées et à leur traitement a permis d'aboutir à des éléments cartographiques ayant une précision et une sensibilité très satisfaisantes, qui permettent de conclure à un niveau de vulnérabilité paysagère importante sur la quasi-totalité du département.

Toutefois, ce modèle reste imparfait car certains éléments importants n'ont pas pu y être intégrés (c'est le cas en particulier des jours de brouillards qui est un critère très important sur le département, notamment à l'étage montagnard supra-forestier).

Comme indiqué dans l'introduction, ces éléments cartographiques ne visent pas à identifier telle ou telle zone du département qui présenterait un risque de prédation plus élevé. Une analyse de ce type nécessiterait la prise en compte d'autres facteurs, tels que les conditions d'utilisation des espaces pâturés par les troupeaux, la présence effective de prédateurs sur le territoire et a fortiori de leur localisation, seuls ou en famille (meute de loup résidente, par exemple).

Cette étude permet toutefois de disposer d'éléments tangibles et concrets, permettant de mieux anticiper et de mettre en débat les questions portant sur la coexistence entre prédateurs et troupeaux d'élevage dans les conditions spécifiques du territoire des Pyrénées-Atlantiques.

A ce titre, il doit également être mis en relation avec les approches scientifiques visant à cerner les capacités d'adaptation des prédateurs, et notamment du loup, dans le cadre du développement spatial de leurs populations, les travaux récents indiquant que des prévisions d'installation à l'échelle d'un département seraient bien trop hasardeuses pour cette espèce très opportuniste et adaptable (Louvrier et al. 2018 (1) ; Lee-Yaw et al. 2022 (2)).

Enfin, sur un autre plan, l'attention particulière apportée à l'identification des milieux de landes lors de l'élaboration de la carte d'occupation des sols doit permettre de disposer d'une cartographie assez précise des surfaces concernées.

Cette donnée peut s'avérer pertinente pour évaluer les impacts potentiels de la modification des pratiques de pâturage en lien avec la mise en protection des troupeaux.

(1) Louvrier J., Duchamp C., Lauret V., Marboutin E., Cubaynes S., Choquet R., Miquel C., Gimenez O., 2018. Mapping and explaining wolf recolonization in France using dynamic occupancy models and opportunistic data. *Ecography*, 41, 647–660.

(2) Lee-Yaw J.A., McCune J.L., Pironon S., Sheth S.N., 2022. Species distribution models rarely predict the biology of real populations (Review). *Ecography*, e05877.

