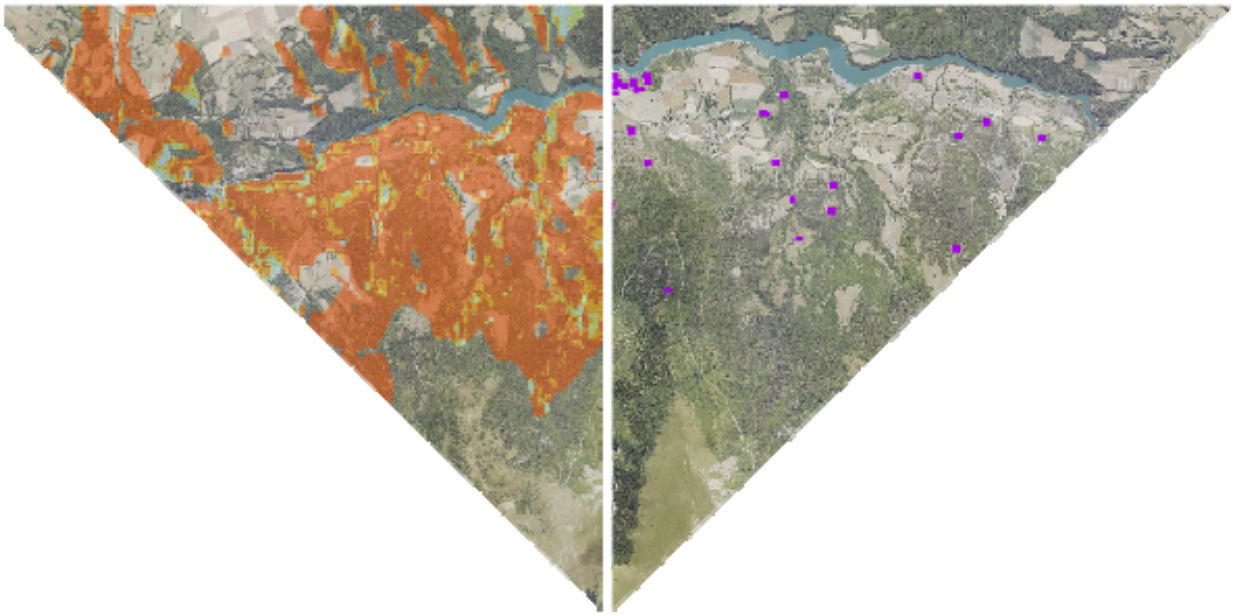
Guide méthodologique

Inventaire des pelouses et coteaux secs isérois



Protocole de terrain et méthodologie SIG

Année 2014

Aude Massa

Avenir
Conservatoire
d'espaces naturels
Isère

Introduction

La diversité et la richesse en colonies floristiques méridionales du département de l'Isère est le reflet de l'extrême variété climatique, géologique et topographique de ce territoire, qui est donc un espace de choix pour une action de cartographie des systèmes de pelouses et coteaux secs. Si cette action est d'ores et déjà engagée depuis plusieurs années par les Conservatoires d'espaces naturels, les Conservatoires botaniques nationaux et d'autres associations naturalistes, aucun tronc méthodologique commun et homogène d'inventaires et de suivis de ces systèmes n'a encore été réellement mis en place, contrairement aux zones humides.

Dans le cadre d'une stratégie régionale pelouses sèches et face à l'hétérogénéité des rendus cartographiques des habitats de pelouses sèches entre structures, le CEN Isère a souhaité proposer un premier guide méthodologique traitant de la méthodologie d'inventaires et de traitements de données utilisées lors de l'inventaire 2014. Ce guide se veut être, non pas un cadre de référence, mais une trace de la démarche plus scientifique utilisée dans le choix des sites de prospection, dans l'utilisation de modèles de cartographie prédictive et dans les méthodes de cartographie d'habitats de pelouses sèches. L'objectif est de permettre une homogénéisation des cartes et des bases de données associées à la description de ces systèmes, une meilleure mutualisation des données entre structures volontaires et une priorisation équitable des sites remarquables entres les différents secteurs de département de l'Isère.

Ce document se décompose en fiches pratiques portant successivement :

- ✓ sur la méthode d'élaboration d'une synthèse de fichiers de formes cartographiques,
- ✓ sur l'utilisation de modèle de cartographie prédictive dans la définition de l'aire de prospection et dans le travail de pré-cartographie
- ✓ sur le protocole de cartographie d'habitats et de relevés d'espèces
- ✓ sur la saisie et l'évaluation patrimoniale des parcelles inventoriées

1. Définition d'un système de coordonnées et d'encodage unique pour l'ensemble des données initiales

L'utilisation d'un système de coordonnées et d'encodage unique est indispensable à la réalisation de l'ensemble des étapes d'agrégation et de traitement de données cartographiques. Dans ce cas précis, le système de projection choisi est Lambert 93 et l'encodage des fichiers UTF8.

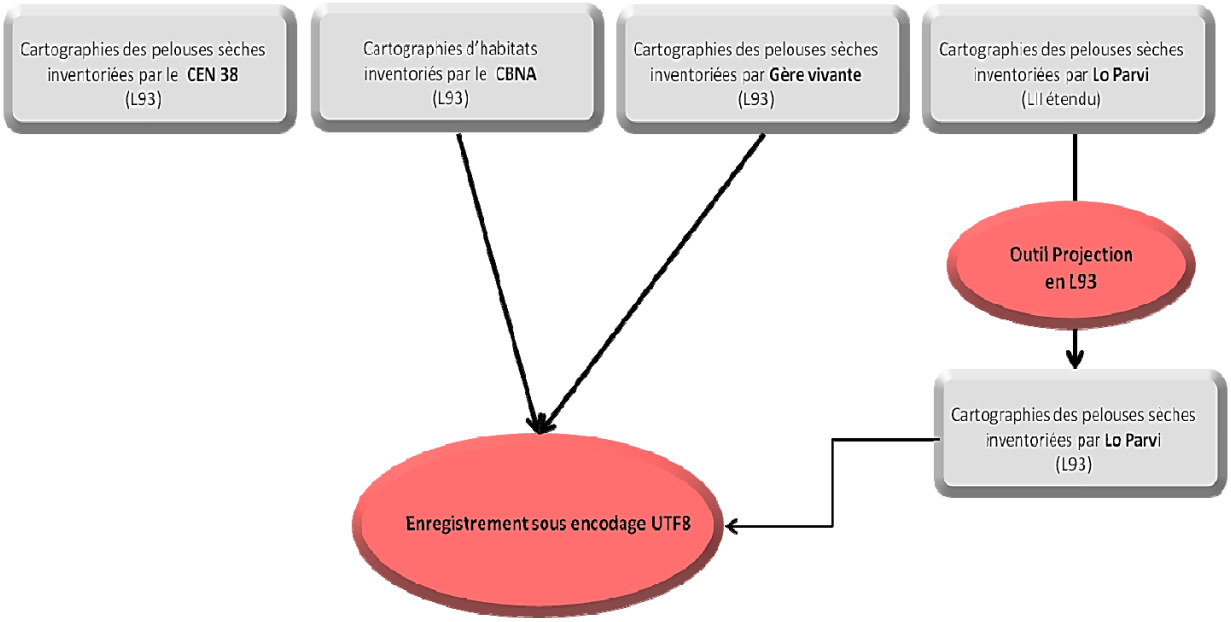


Figure 1: Schématisation de l'homogénéisation des systèmes de coordonnées et d'encodage

2. Vérification des données

Un travail fastidieux de vérification de la qualité et de la cohérence des données a été effectué. Une vigilance particulière a été portée sur la qualité de la saisie des typologies des habitats et leur pourcentage :

- le total des pourcentages doit être de 100 %
- les habitats ne doivent pas être inscrits plusieurs fois sur la même ligne
- Une hiérarchisation décroissante des habitats doit être respecté au niveau du pourcentage (ex : % habitat 1 ≥ % habitat 2 ≥ % habitat 2 ≥ % habitat 4, etc.)

Formules associées…

Répétition des habitats :
(("CODE_HAB1" = "CODE_HAB2") OR ("CODE_HAB2" = "CODE_HAB3" AND "CODE_HAB2" >0) OR ("CODE_HAB3" = "CODE_HAB4"AND "CODE_HAB3" >0)) OR ("CODE_HAB1" = "CODE_HAB3") OR ("CODE_HAB1" = "CODE_HAB4")OR ("CODE_HAB2" = "CODE_HAB4"AND "CODE_HAB2" >0)

Total des pourcentages :
((coalesce("N_HAB1" , 0)+ coalesce("N_HAB2", 0) + coalesce("N_HAB3", 0) + coalesce("N_HAB4", 0))>100) OR
(coalesce("N_HAB1" , 0)+ coalesce("N_HAB2", 0) + coalesce("N_HAB3", 0) + coalesce("N_HAB4", 0))<100)

Hiérarchisation décroissante des habitats :
("N_HAB2" >"N_HAB1"OR"N_HAB3" > "N_HAB2"OR"N_HAB4" > "N_HAB3"OR"N_HAB3" > "N_HAB1"OR"N_HAB4" > "N_HAB2")

Enfin une vérification des artefacts de numérisation a été réalisée à travers un filtre surfacique de 50 m², seuil arbitraire en dessous duquel une numérisation cartographique volontaire semble peu probable. Ces artefacts peuvent être dus par exemple à une mauvaise jointure lors de la numérisation manuelle des parcelles.

3. Homogénéisation des tables attributaires

Objectif

L'ensemble des données cartographiques « pelouses sèches » de l'Isère provenant de différentes structures et inventaires, leur compilation en une couche unique requiert une phase de réflexion quant à l'exhaustivité et la qualité des données à conserver et donc indirectement à une structure de table attributaire unique. Etant donné que l'ensemble des 13 fichiers sources seront amenés à être utilisés séparément au sein de la structure du Conservatoire, l'homogénéisation des tables attributaires a été réalisée en amont de l'agrégation sur l'ensemble de ces 13 fichiers.

Méthodologie

Le choix d'une table attributaire identique et la plus exhaustive possible pour l'ensemble des 13 fichiers de forme a été réalisée. Cette table présente donc :

- La localisation géographique de chaque polygone (commune et lieu-dit)
- Les données « habitats » indispensables à la caractérisation des polygones comprenant leurs références CORINE biotope et leurs proportions en pourcentage
- Les pratiques agricoles a priori appliquées sur la parcelle (fauche, pâturage, broyage, abandon…)
- Le niveau d'embroussaillement de la parcelle suivant trois niveaux (1: 5 à 30 % |2: 30 % à 60 % |3: ≥60 %)
- Le niveau de recouvrement du sol suivant quatre niveaux (1: 100 % de sol herbacé |2: 90 % de sol herbacé et 10 % de sol nu |3: 80 % de sol herbacé et 20 % de sol nu | 4: ≥20 % de sol nu)
- Les informations complémentaires propres à chaque auteur
- L'alliance phytosociologique
- Le statut communautaire, prioritaire ou non défini de l'habitat suivant les critères de la Directive Habitat, Faune, Flore de 1992
- La légende simplifiée
- L'auteur et sa structure
- La date.

Tableau 1 : Exemple de la table attributaire choisie

Identifiant	Commune	Lieu-dit	Code habitat 1	Proportion d'habitat 1 (%)	Code habitat 2	Proportion d'habitat 2 (%)	Code habitat 3	Proportion d'habitat 3 (%)	Code habitat 4	Proportion d'habitat 4 (%)
MAY13	Mayres Savel	La traverse	34.322	65	31.812	15	34.33	10	32.62	10
Pratiques	**Niveau embroussaillement**	**Recouvrement**	**Remarques**	**Phytosociologie**	**Statut**	**Habitats remarquables**	**Auteur**	**Légende**	**Année**	**Sources**
Pâturage bovin	1	1	Prairie xérophile à B.erectus …	Mesobromion erecti	Communautaire	non	A.MASSA	Pelouse sèche à Brome érigé	2014	CEN Isère

L'ensemble des attributs de chaque champ ont donc été homogénéisés afin de faciliter la compréhension des utilisateurs et les requêtes SQL à l'exception des champs « HABITATS» et «REMARQUES» propres à chaque couche de chacune des structures. Le champ « LEGENDE » a été fortement travaillé afin d'atteindre une synthèse minimale de 24 légendes pour la représentation cartographique à l'échelle départementale. On notera également que pour certains fichiers de forme, un certain nombre des champs cités ci-dessus n'ont pas été complétés : seuls les champs « phytosociologie» et « statut » ont parfois été renseignés ultérieurement.

On notera que ces tables ont été impérativement jointes au contenu du fichier de forme auquel elles sont rattachées avant agrégation afin de ne pas perdre ces informations : c'est le cas de la couche vectorielle fournie par le Parc Naturel du Vercors et réalisée par le Conservatoire botanique national alpin dont l'exemple est développé ci-dessous.

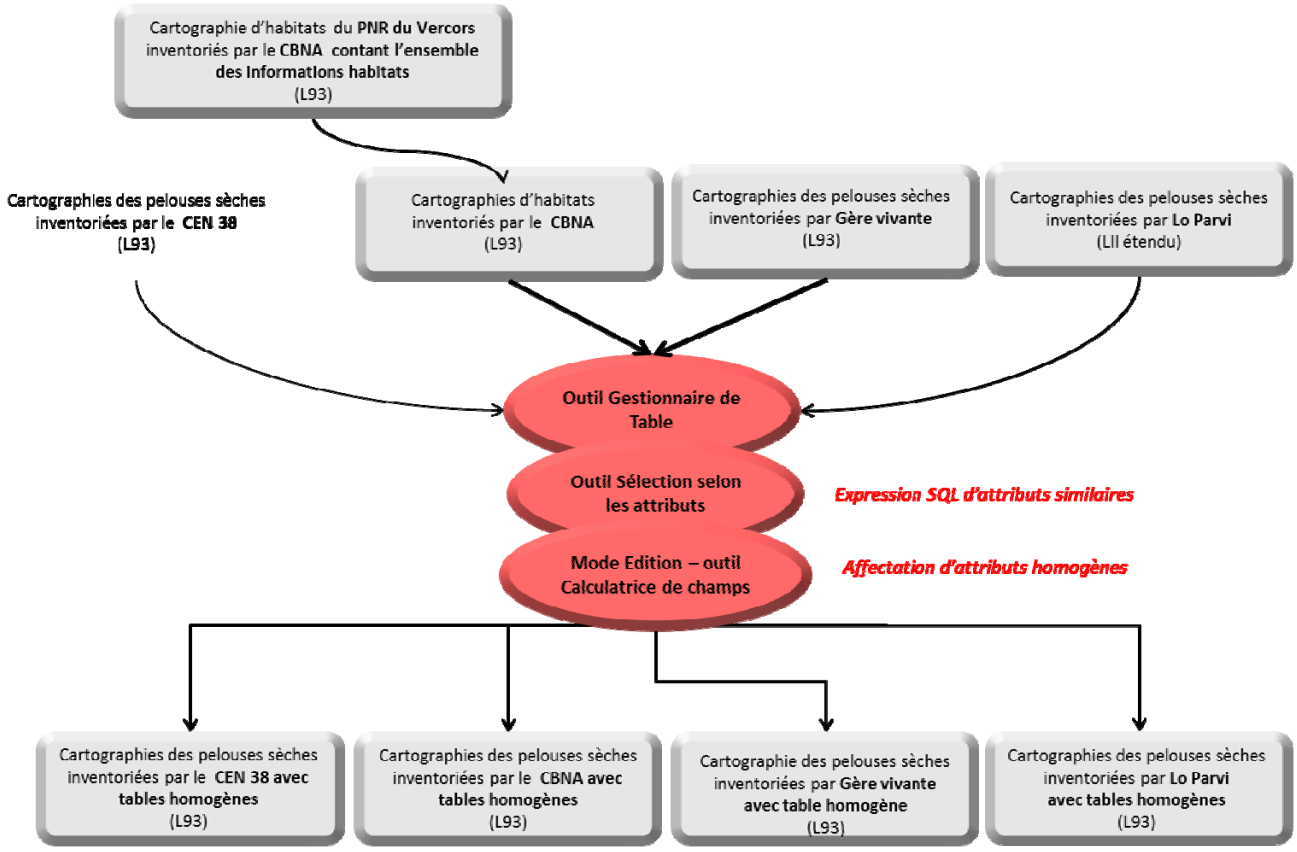


Figure 2 : Schématisation de l'homogénéisation des tables attributaires et de leurs attributs

Cas particulier du fichier de forme polygonale du Parc naturel régional du Vercors

Le fichier de forme polygonale du Parc naturel régional du Vercors comprend environ 52 450 polygones et s'accompagne d'une table reliée contenant une typologie d'habitats par ligne soit un total de 129 739 lignes.

Objectif

L'objectif est de disposer des données « habitat » de chaque polygone renseigné dans le fichier de forme fourni par le PNR du Vercors dans la table attributaire de ce même fichier, autrement dit de n'avoir qu'une seule table par fichier de forme en vue de l'agrégation.

Méthodologie

Il s'agit dans un premier temps de structurer la table liée afin qu'elle corresponde au modèle de table unique. Il faut donc transposer l'ensemble des lignes « habitat » d'un polygone en une seule ligne avec plusieurs colonnes « habitat » sur le modèle de table unique. L'étape de transposition « lignes - colonnes » est précédée d'un classement des habitats par pourcentage descendant : autrement dit de l'habitat majoritaire à l'habitat minoritaire constitutif du polygone.

Une fois cette étape réalisée, la nouvelle table liée doit être clarifiée et homogénéisée via :

- Une sélection des 4 premiers habitats majoritaires
- Une compilation des intitulés de ces habitats dans la colonne « Remarques »
- La création d'un champ « légende » et une attribution de celle-ci parmi les 24 légendes prédéfinies.

Formules associées…

Classement des habitats par pourcentage descendant :

```
SELECT ID, code_cb, part,libelle, row_number() over(partition BY ID ORDER BY part DESC,code_cb ASC) AS rn
FROM data_PNRV_UTF8)
```

Transposition des lignes en colonnes » :

```
SELECT ID
    , max(case rn when 1 then code_cb end) AS HAB_1
    , max(case rn when 1 then part end) AS part_1
    , max(case rn when 1 then libelle end) AS libelle_1
…
    , max(case rn when 13 then code_cb end) AS HAB_13
    , max(case rn when 13 then part end) AS part_13
    , max(case rn when 13 then libelle end) AS libelle_13
FROM data_PNRV_UTF8
GROUP BY ID
order by ID
```

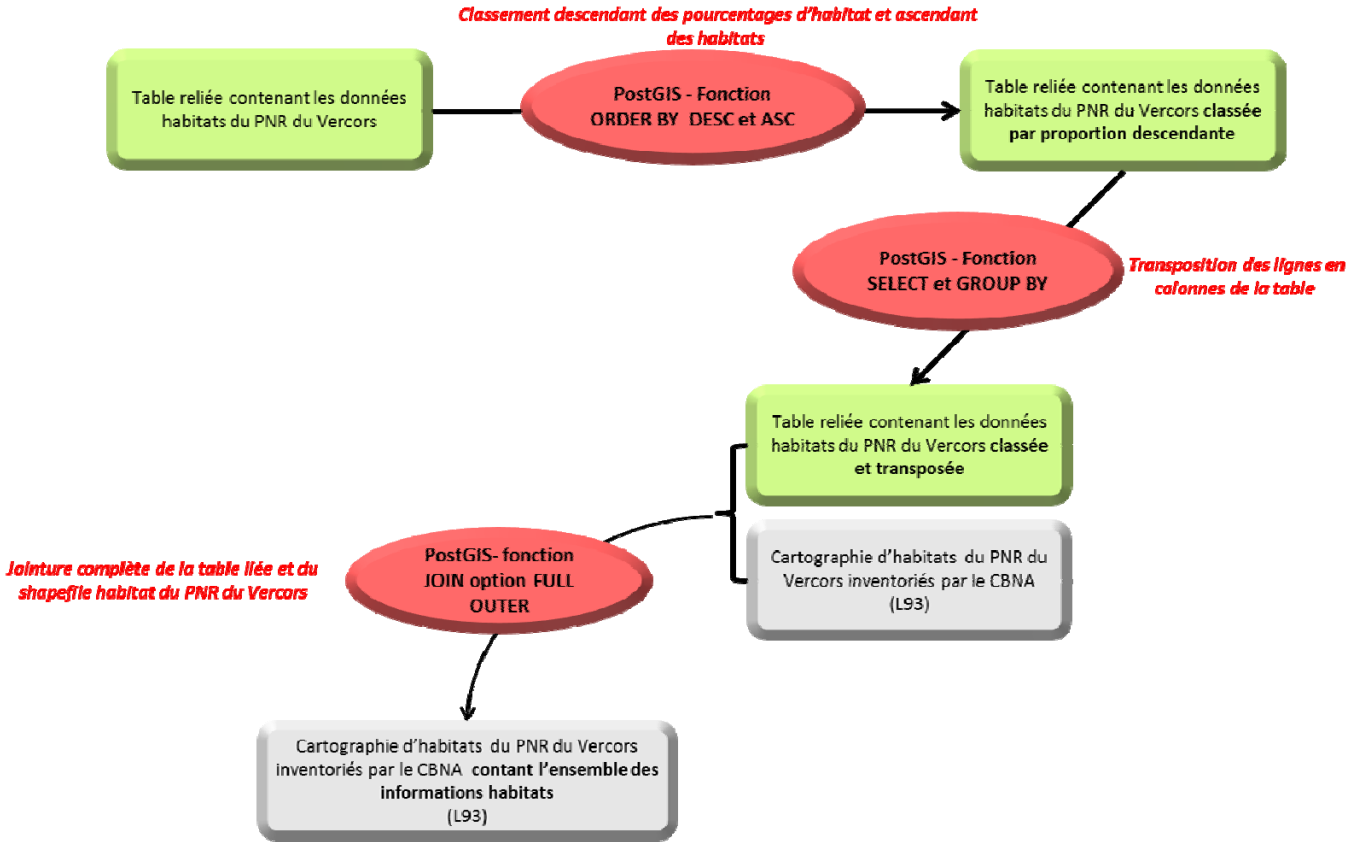


Figure 3 : Schématisation des modifications des fichiers de formes avec tables attributaires reliées comme le fichier de forme du parc du Vercors

FICHE 1 | Elaboration d'un fichier de forme de synthèse départementale des pelouses sèches de l'Isère

ETAPE 2: Sélection des habitats associés aux pelouses et coteaux secs

Qu'il s'agisse d'inventaires ciblées sur cette thématique ou d'inventaires non ciblées, certain fichiers de forme source ne contiennent pas obligatoirement uniquement des données pelouses sèches et/ou des stades dynamiques associés.

Objectif

L'objectif est de conserver uniquement les parcelles présentant des habitats ou des mosaïques d'habitats comprenant les systèmes pelouses sèches appartenant aux alliances du Mesobromion erecti et Xerobromion erecti, les pelouses pionnières à Orpins et thérophytes sur dalles (Sedo albi-Veronicion dilenii et Alysso sedion), les pelouses xériques rocailleuses siliceuses (Koelerio macrantae-Phleion phleoidis), les pelouses sableuses (Corynephorion et Sileno conicae-Cerastion semidecandri) et enfin certaines pelouses annuelles pionnières xérique acidiphile (Thero Airion).

Méthodologie

La sélection des parcelles relevant des alliances citées ci-dessus impliquent une sélection des codes CORINE biotope s'y référant ainsi que la détermination d'une valeur seuil (en pourcentage) de ces habitats. Arbitrairement, il a été décidé que ce seuil soit de 20 %. Dans le cas particulier des fichiers issus d'inventaires non ciblées réalisés sur de grands massifs montagneux et boisés (Vercors et Chartreuse), la sélection d'ensemble boisés avec des reliquats de pelouses/praires sèches isolées ne semblait pas pertinente avec les objectifs de cette cartographie d'inventaire (restauration non envisageable). Par conséquent, les parcelles, présentant des milieux arbustifs en habitat 1 à plus de 50 %, ont été exclues systématiquement dans ce type de fichiers.

Il s'agit ensuite de construire une requête SQL conditionnelle permettant une sélection des parcelles inventoriées via ces codes CORINE biotope. La requête SQL utilisée est schématisée ci-après. Toujours dans un souci d'utilisation ultérieure de chaque fichier de forme de façon individuelle, cette sélection est effectuée pour chacun d'entre eux.

Formules associées...

Sélection des habitats (cas d'inventaires ciblés) :

```
 SELECT
 FROM
WHERE
(regexp_substr("CODE_HAB1" ,
'(34.1|34.3|34.4|34.7|35.2|64.1)')) OR
( regexp_substr("CODE_HAB2" ,
'(34.1|34.3|34.4|34.7|35.2|64.1)') AND "N_HAB2" >= 20) OR
( regexp_substr("CODE_HAB3" ,
'(34.1|34.3|34.4|34.7|35.2|64.1)') AND "N_HAB3" >= 20) OR
( regexp_substr("CODE_HAB4" ,
'(34.1|34.3|34.4|34.7|35.2|64.1)') AND "N_HAB4" >= 20)
```

Sélection des habitats (cas d'inventaires non ciblés) :

```
CASE WHEN
(regexp_substr("CODE_HAB1" ,
'(34.1|34.3|34.4|34.7|35.2|64.1)') OR
( regexp_substr("CODE_HAB2" ,
'(34.1|34.3|34.4|34.7|35.2|64.1)') AND "N_HAB2" >= 20) OR
( regexp_substr("CODE_HAB3" ,
'(34.1|34.3|34.4|34.7|35.2|64.1)') AND "N_HAB3" >= 20) OR
( regexp_substr("CODE_HAB4" ,
'(34.1|34.3|34.4|34.7|35.2|64.1)') AND "N_HAB4" >= 20)
THEN 1 WHEN
(regexp_substr("CODE_HAB1" ,
'(41|42|43|44|62.3|81|82|83)')) AND "N_HAB1" >= 20)
....
```

Tableau 2 : Requête SQL permettant la sélection des habitats de pelouses sèches pour les fichiers de formes issus d'inventaire ciblés

Code CORINE Biotope HAB_1	Part en %		Code CORINE Biotope HAB_2	Part en %		Code CORINE Biotope HAB_3	Part en %		Code CORINE Biotope HAB_4	Part en %
34.1 et dérivés	ND		34.1 et dérivés	≥ 20%		34.1 et dérivés	≥ 20%		34.1 et dérivés	≥ 20%
34.3 et dérivés	ND		34.3 et dérivés	≥ 20%		34.3 et dérivés	≥ 20%		34.3 et dérivés	≥ 20%
34.4 et dérivés	ND	OU	34.4 et dérivés	≥ 20%	OU	34.4 et dérivés	≥ 20%	OU	34.4 et dérivés	≥ 20%
34.7 et dérivés	ND		34.7 et dérivés	≥ 20%		34.7 et dérivés	≥ 20%		34.7 et dérivés	≥ 20%
35.2 et dérivés	ND		35.2 et dérivés	≥ 20%		35.2 et dérivés	≥ 20%		35.2 et dérivés	≥ 20%
62.3 et dérivés	ND		62.3 et dérivés	≥ 20%		62.3 et dérivés	≥ 20%		62.3 et dérivés	≥ 20%
64.1 et dérivés	ND		64.1 et dérivés	≥ 20%		64.1 et dérivés	≥ 20%		64.1 et dérivés	≥ 20%

Tableau 3 : Requête SQL permettant la sélection des habitats de pelouses sèches dans le cas de fichiers de formes issus d'inventaires non ciblés

Code CORINE Biotope HAB_1	Part en %		Code CORINE Biotope HAB_2	Part en %		Code CORINE Biotope HAB_3	Part en %		Code CORINE Biotope HAB_4	Part en %
34.1 et dérivés	ND		34.1 et dérivés	≥ 20%		34.1 et dérivés	≥ 20%		34.1 et dérivés	≥ 20%
34.3 et dérivés	ND		34.3 et dérivés	≥ 20%		34.3 et dérivés	≥ 20%		34.3 et dérivés	≥ 20%
34.4 et dérivés	ND	OU	34.4 et dérivés	≥ 20%	OU	34.4 et dérivés	≥ 20%	OU	34.4 et dérivés	≥ 20%
34.7 et dérivés	ND		34.7 et dérivés	≥ 20%		34.7 et dérivés	≥ 20%		34.7 et dérivés	≥ 20%
35.2 et dérivés	ND		35.2 et dérivés	≥ 20%		35.2 et dérivés	≥ 20%		35.2 et dérivés	≥ 20%
62.3 et dérivés	ND		62.3 et dérivés	≥ 20%		62.3 et dérivés	≥ 20%		62.3 et dérivés	≥ 20%
64.1 et dérivés	ND		64.1 et dérivés	≥ 20%		64.1 et dérivés	≥ 20%		64.1 et dérivés	≥ 20%
Sauf 41 et dérivés	≥ 60%									
Sauf 42 et dérivés	≥ 60%									
Sauf 43 et dérivés	≥ 60%									
Sauf 44 et dérivés	≥ 60%									
Sauf 81 et dérivés	≥ 60%									
Sauf 82 et dérivés	≥ 60%									
Sauf 83 et dérivés	≥ 60%									

Une correction a été apportée ultérieurement à cette requête conditionnelle concernant la présence de plusieurs habitats de pelouses sèches dans une parcelle dont le pourcentage individuel est inférieur à 20 %. Dans le cas où, dans une parcelle, la somme des pourcentages de l'ensemble des habitats thermophiles prédéfinis ci-dessus est supérieure à 20%, cette parcelle est alors sélectionnée. C'est le cas de l'exemple ci-dessous.

Tableau 3: Exemple de cas de parcelle ayant plusieurs habitats de pelouses sèches dont la somme est supérieure à 20%

Code habitat 1	Proportion d'habitat 1 (%)	Code habitat 2	Proportion d'habitat 2 (%)	Code habitat 3	Proportion d'habitat 3 (%)	Code habitat 4	Proportion d'habitat 4 (%)
38.1	**60**	**34.1**	**15**	**34.33**	**15**	**34.32**	**10**

Formules associées…

Sélection des habitats en mosaïque dont la somme des parts de ces habitats sont égal à 20% :

```
(regexp_substr("CODE_HAB1" ,  '(34.1|34.3|34.4|34.7|35.2|64.1)')) OR
regexp_substr("CODE_HAB2" , '(34.1|34.3|34.4|34.7|35.2|64.1)') AND regexp_substr("CODE_HAB3" ,
'(34.1|34.3|34.4|34.7|35.2|64.1)') AND regexp_substr("CODE_HAB4" , '(34.1|34.3|34.4|34.7|35.2|64.1)') AND
( "N_HAB2"  + "N_HAB3"+"N_HAB4" >=20)
```

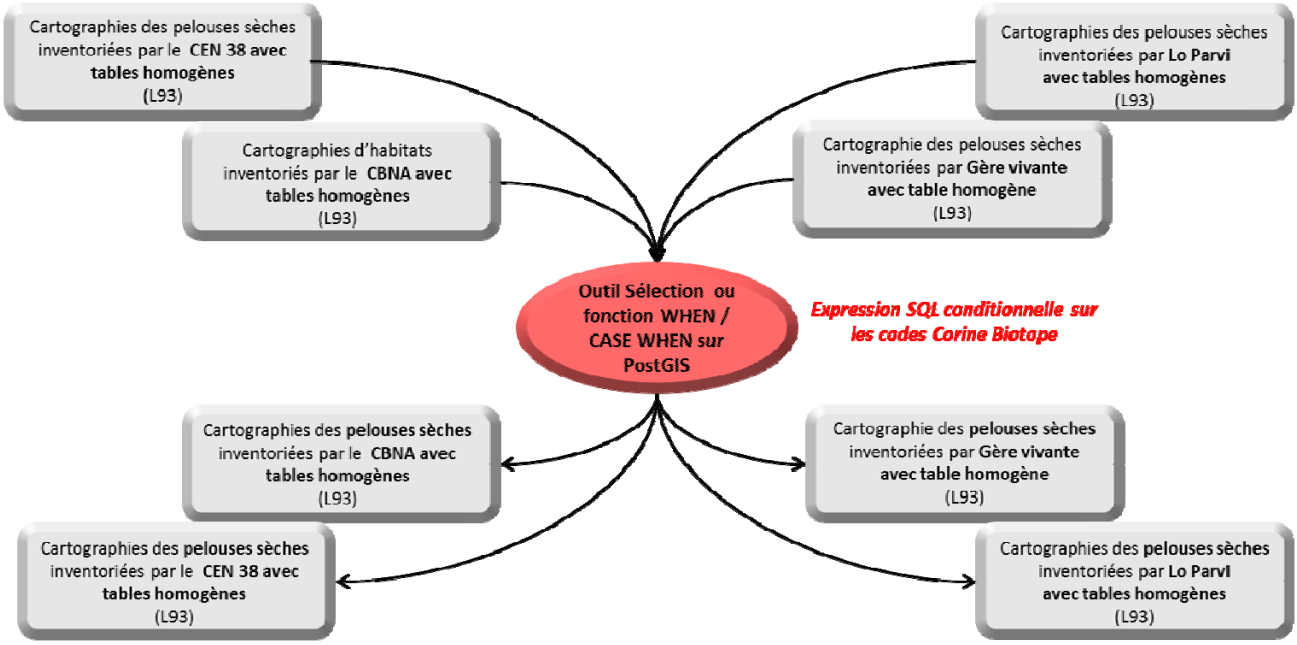


Figure 4 : Schématisation de la sélection des habitats élémentaires se référant aux systèmes de pelouses et coteaux secs

Aperçu du résultat

Figure 5 : Aperçu avant sélection des habitats de pelouses sèches (cas d'inventaires non ciblés)

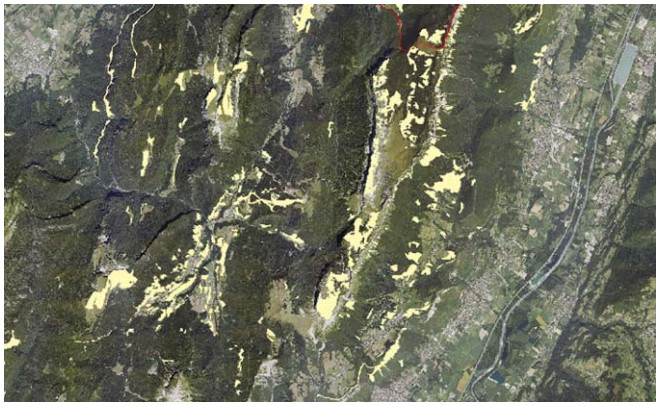


Figure 6 : Aperçu après sélection des habitats de pelouses sèches (cas d'inventaires non ciblés)

FICHE 1 | Elaboration d'un fichier de forme de synthèse départementale des pelouses sèches de l'Isère

ETAPE 3: Agrégation

Cette première synthèse est un état des lieux non exhaustif de la présence de milieux thermophiles associés aux systèmes des pelouses sèches dans le département de l'Isère. **Etant donné que les fichiers sources ont été réalisés à des résolutions différentes, cette synthèse n'a pas vocation à être utilisée à l'échelle du parcellaire**.

Objectif

L'objectif final est donc de disposer d'un fichier de forme polygonal départemental ciblé sur la thématique cartographique des habitats et des mosaïques d'habitats de pelouses sèches.

Méthodologie

Il s'agit ici d'agréger l'ensemble des 15 fichiers de forme des différentes structures vues précédemment. Etant donné la quantité de données à traiter, l'ensemble de ces étapes sera réalisé directement par requête SQL. Cette requête a été faite directement sur GDAL (Geospatial Data Abstraction Library) qui permet de traiter des données vectorielles, de façon plus restreinte que postGIS.

Formules associées…

Agréger dans une même couche toutes les couches de même géométrie (GDAL):

```
FOR %Q IN (*.shp) DO ogr2ogr -update -append
Couche_agregation.shp "%Q" -nln
Couche_agregation
```

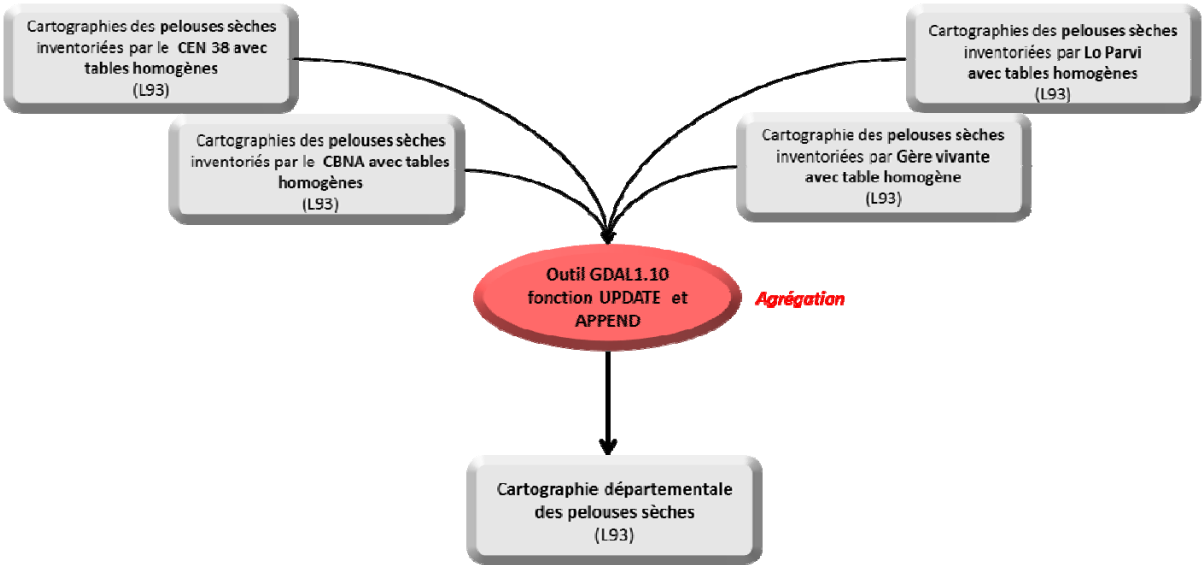


Figure 2 : Schématisation de l'étape d'agrégation des fichiers sources en un fichier unique

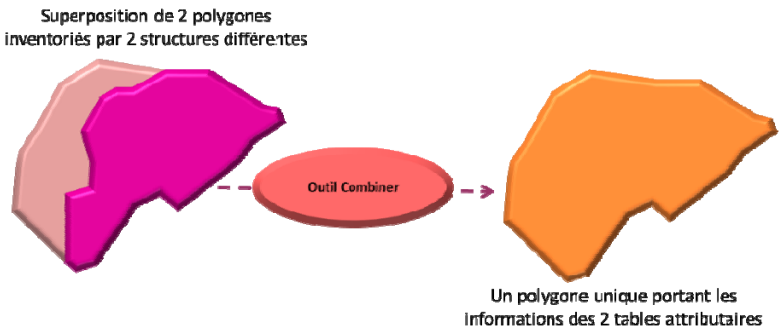


Figure 3: Cas de superposition de parcelles

La première version de ce fichier synthétique comporte encore un certain nombre d'impairs dûs notamment à la superposition d'inventaires de secteurs identiques. A ce jour, afin de ne pas perdre d'informations, cette superposition de polygones de géométries différentes a été solutionnée par une fusion des parcelles superposée ainsi que des informations portées par leur table attributaire.

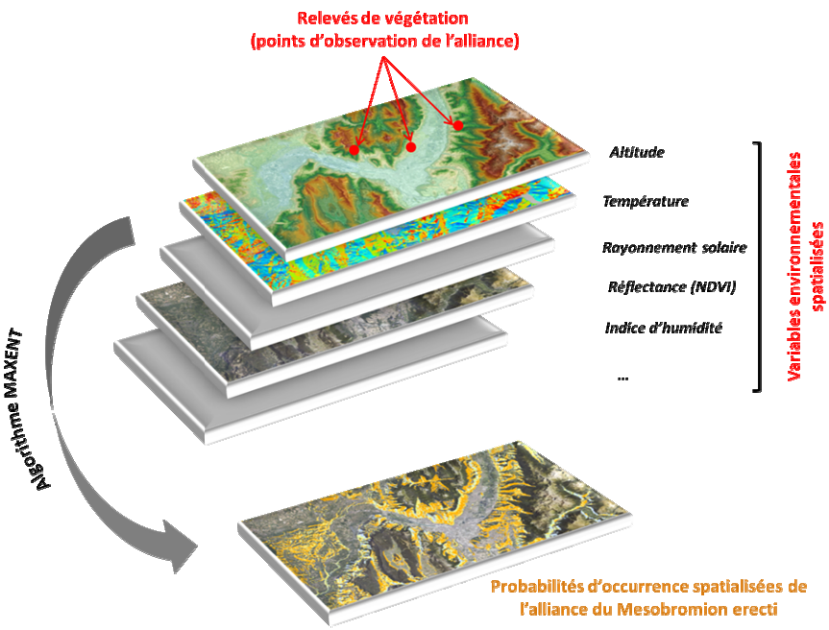


Figure1: Schématisation de l'élaboration du modèle de prédiction

Compte tenu de l'échelle du territoire à inventorier et du peu de moyens humains disponibles, un choix de priorisation des secteurs orphelins de cartographie d'habitats a été nécessaire. Pour autant, il paraissait important de hiérarchiser ces secteurs de la façon la plus objective possible, selon une méthodologie cartographique standardisée. Dans cette optique, la modélisation spatialisée de la distribution de la végétation réalisée dans le cadre du programme CARHAB est un outil potentiel dans l'orientation des prospections (secteurs sous-échantillonnés…).

Ainsi, une modélisation spatialisée de l'occurrence de l'alliance phytosociologique du Mesobromion erecti a été réalisée à l'aide de la méthode du maximum d'entropie. La distribution de cette alliance est alors prédite à l'aide de données de présence (relevés de végétation sur le terrain) et de variables environnementales explicatives spatialisées. Les résultats se présentent sous la forme d'un raster continu (format ascii et ovr) pouvant être exporté dans un logiciel SIG afin d'être représenté de façon spatialisée. Chaque pixel présente une valeur d'occurrence comprise entre 0 et 1. Si les systèmes de pelouses sèches ne peuvent se résumer à cette alliance, elle en est une part suffisamment importante pour en justifier la localisation.

Tableau 1 : Variables environnementales explicatives de l'alliance du Mesobromion erecti

Variable	% de contribution	Importance de la variable
NDVI[1] de 2007	47.3	54.5
Somme des degrés jour supérieurs à 0°C.	16.5	11.1
Topographie	12.2	4.9
Pente	11.8	18.7
Evapotranspiration	8.1	0.2
Tendance Est-Ouest	1.8	3.9

Il est à noter que les secteurs présentant une altitude supérieure à 1200 m, une pente inférieure à 10 °, une orientation nord ont été écartés ainsi que les secteurs de sols à nu, les secteurs forestiers fermés et les surfaces aquatiques. (Voir CARHAB - Volet modélisation – Rapport d'avancement novembre 2012)

Les variables explicatives utilisées dans la prédiction de l'alliance du Mesobromion erecti sont, par ordre d'importance, l'indice de végétation normalisé (NDVI) qui mesure la réflectance, autrement dit la quantité de

1 Technique permettant, à l'aide de capteurs, d'enregistrer le rayonnement électromagnétique, émis ou réfléchi des ensembles de végétations.

rayons solaires réfléchie donc non absorbée par la végétation pour la photosynthèse, la somme des degrés jours supérieurs à 0°C, la pente et la topographie.

1. Reclassement symbologique

La distribution de probabilité de présence de l'alliance du mesobromion erecti obtenue peut être découpée en classes de probabilité d'occurrence, ce qui facilite l'interprétation et l'utilisation des résultats. Trois classes ont été définies sur la base des quantiles de la distribution de probabilité de l'alliance. Une classe supplémentaire a été définie pour les pixels avec une prédiction inférieure à 10 %, correspondant à des secteurs où l'alliance peut être considérée comme absente. Les valeurs seuil de modèles pour l'alliance du mesobromion erecti sont les suivantes :

Tableau 2 : Classes de prédiction d'occurrence du modèle

0 – 0,1	Très mauvaise prédiction	Alliance considérée comme absente
0,10 – 0,20	Mauvaise prédiction	Habitat peu favorable
0,20– 0 ,34	Bonne prédiction	Habitat favorable
0,34 – 1	Très bonne prédiction	Habitat très favorable

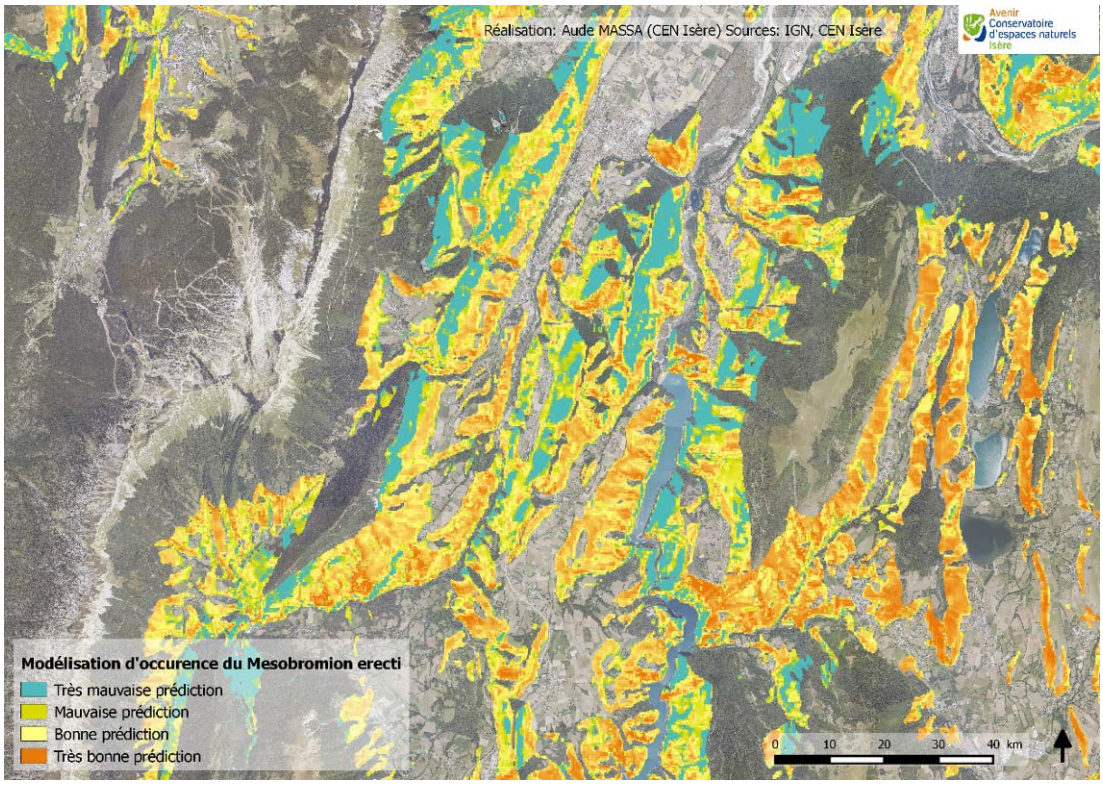


Figure 2: Illustration du raster de modélisation après reclassement symbologique

2. Transformation du raster en fichier de forme points

Objectif

La transformation du raster en fichier de forme points a pour but de permettre une extraction et une utilisation des valeurs d'occurrence prédites par le modèle.

Méthodologie

Afin de d'optimiser la précision de l'extraction des valeurs d'occurrence vers d'autres fichiers de forme, un rééchantillonnage du raster en cellules de 5x5m a été réalisé. Attention, la résolution de raster reste inchangée : toutes les cellules de 5x5m issues du même pixel de 25x25m porteront la même valeur de prédiction. Une fois ré échantillonné le raster est transformé en fichier de forme points : chaque point n'est autre que le barycentre de chaque pixel.

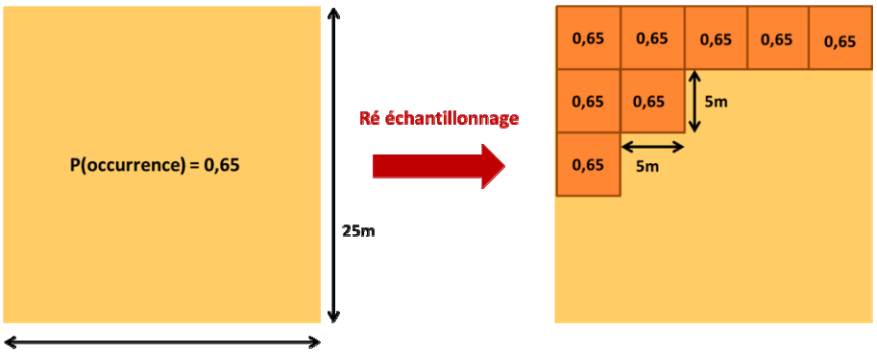
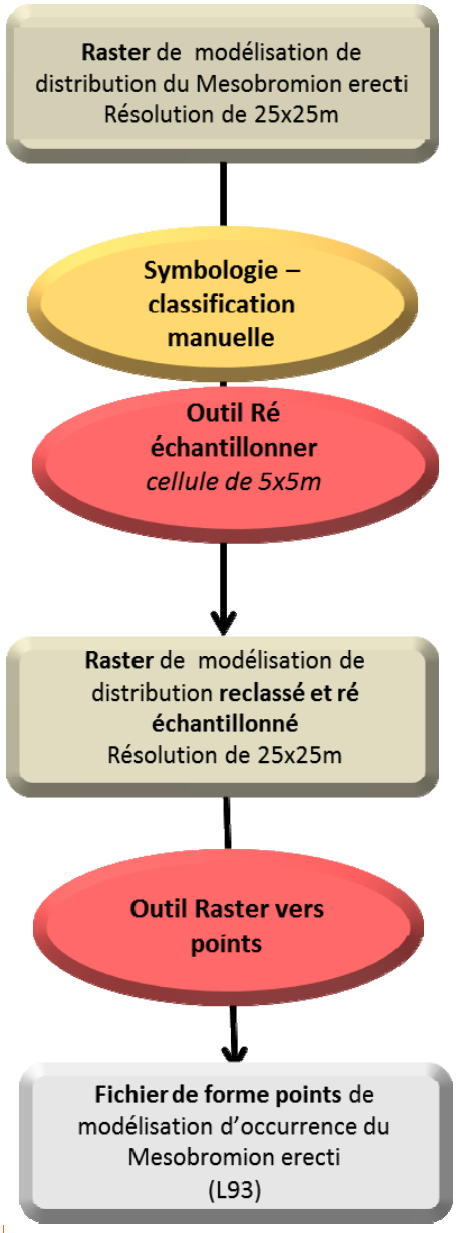


Figure 4 : Schématisation d'un rééchantillonnage du raster de modélisation



Aperçu du résultat

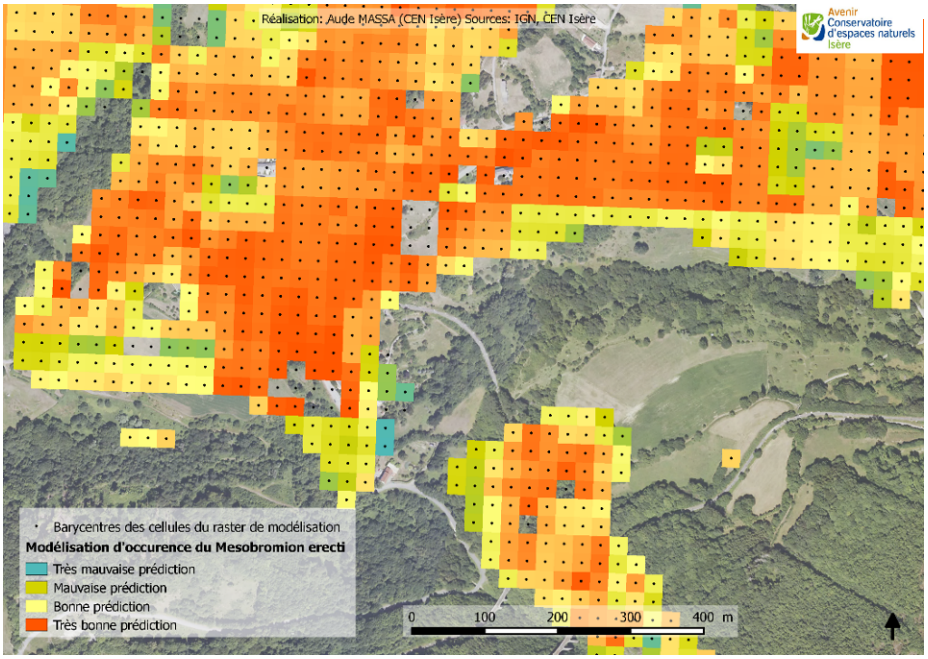


Figure 5: Fichier de forme point représentant le raster

Le modèle de prédiction d'occurrence de l'alliance du Mesobromion erecti a été calibré et testé, sur le district naturel du massif de Belledonne, d'une part par des données issues des inventaires réalisés par les CEN Isère et Savoie ainsi que par le CBNA et d'autre part sur 10 000 points choisis aléatoirement. Ce modèle a été considéré comme bon d'un point de vue statistique avec une capacité de discrimination (estimation de la puissance de classification du modèle entre vraie présence et vraie absence) de 93.2% ± 0.025 et un taux d'omission (probabilité que le modèle prédise une absence pour une alliance donnée, alors qu'en réalité elle est présente) de 72,7 %. Néanmoins, avant d'utiliser ce modèle de distribution spatialisée dans la détermination de zones potentielles de pelouses sèches et dans la hiérarchisation de ces secteurs, ce modèle de prédiction a été testé de façon succincte via l'outil SIG sur l'ensemble des données pelouses sèches du département relevant de l'alliance du Mesobromion erecti . La « validation » du modèle passe donc ici par une proportion suffisante de polygones déjà inventoriés prédits par le modèle. Toutefois, il ne s'agit en aucun cas d'une seconde validation statistique du modèle.

Objectif

L'objectif de cette étape est d'être en mesure de connaitre la proportion à l'échelle départementale de polygones inventoriés relevant de l'alliance du Mesobromion erecti ayant été prédits par le modèle de distribution spatialisé de cette alliance. Etant donné que l'ensemble des données cartographiques « pelouses sèches » de l'Isère provient de différentes structures et inventaires, le modèle n'a été testé que sur les données issues d'inventaires ciblés sur les systèmes de pelouses et coteaux sec tels que ceux réalisés par le CEN Isère et l'association Gère Vivante.

Méthodologie

Dans un premier temps, il s'agit d'attribuer une probabilité moyenne d'occurrence de l'alliance à chaque polygone inventorié. Pour cela, une jointure selon l'emplacement des valeurs de probabilité d'occurrence portées par le fichier de forme points de modélisation est réalisée avec les fichiers de forme polygonale des parcelles de Mesobromion erecti. Au moment de la jointure, les valeurs de probabilité sont moyennées par polygones.

La principale difficulté est que les secteurs considérés comme non représentatifs de l'alliance ont été retirés du modèle: le raster de distribution de l'alliance ne couvre donc pas l'ensemble du territoire

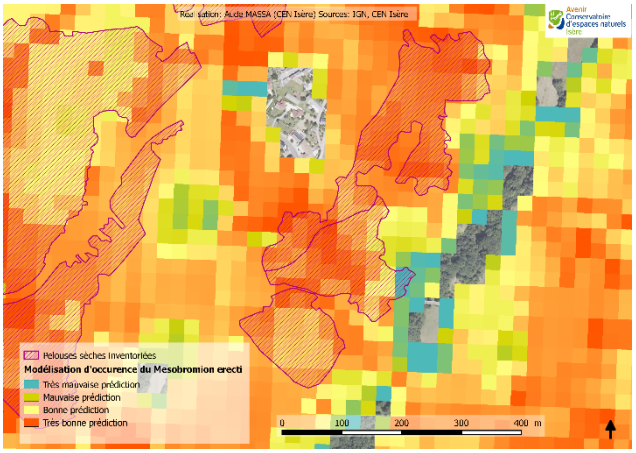


Figure 6: Polygones entièrement compris par le modèle

Ces zones non pixélisées ne sont pas

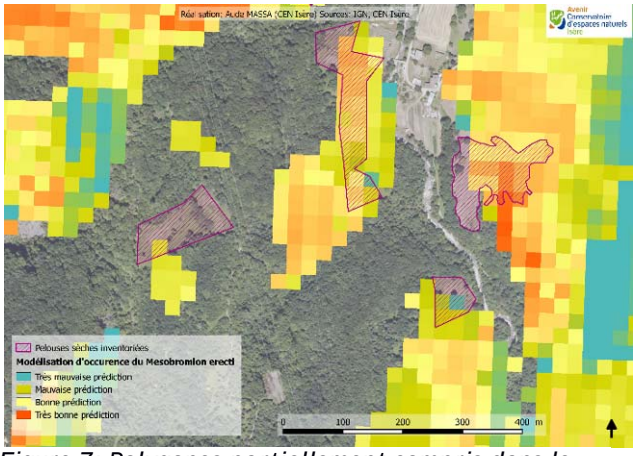


Figure 7: Polygones partiellement compris dans le modèle

transformées en points de valeur 0. Par conséquent, le calcul de la probabilité d'occurrence moyenne des polygones à cheval sur ces « zones vides » et ces « zones renseignées » se retrouve biaisé au regard de la surface couverte par le modèle et la surface du polygone.

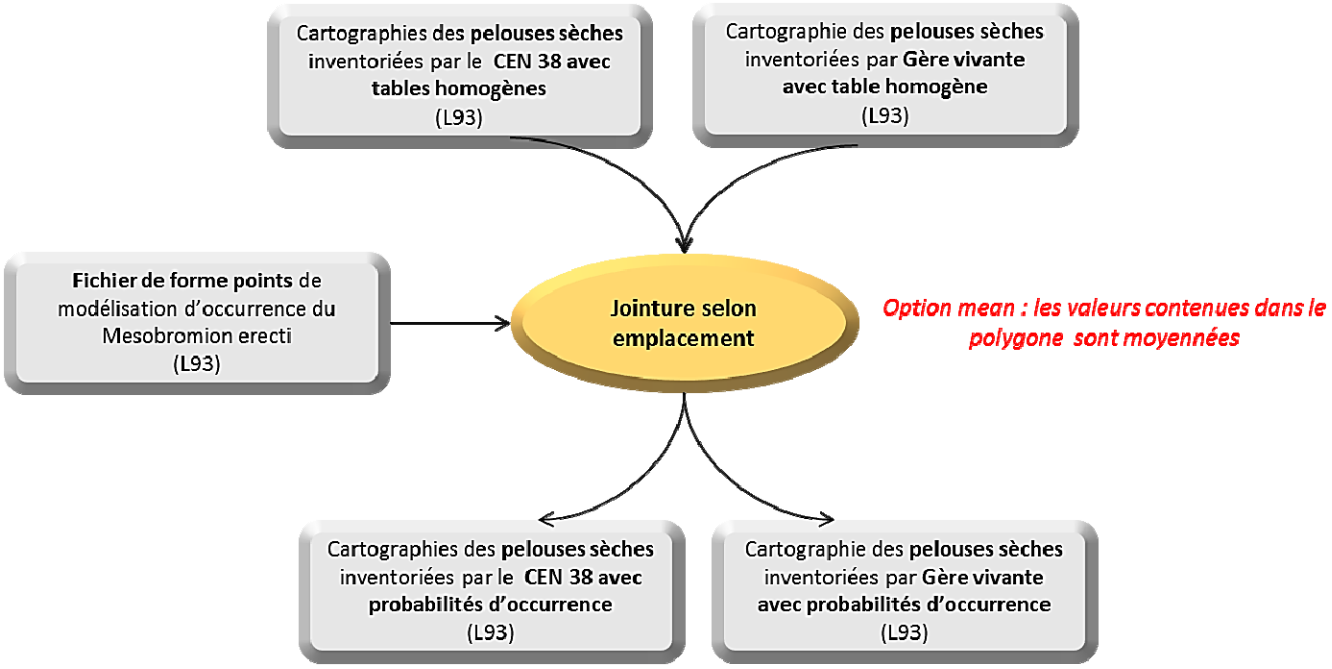


Figure 8: Schématisation d'attribution de probabilités moyennes d'occurrence de l'alliance à chaque polygone inventorié

Une solution est de pondérer ces probabilités par le ratio de la surface pixélisée moyenne dont est issue la probabilité d'occurrence et de la surface du polygone. Un ratio arbitraire minimal de 20% a été fixé : un polygone sera donc considéré comme prédit si le modèle couvre plus de 20% de sa surface totale.

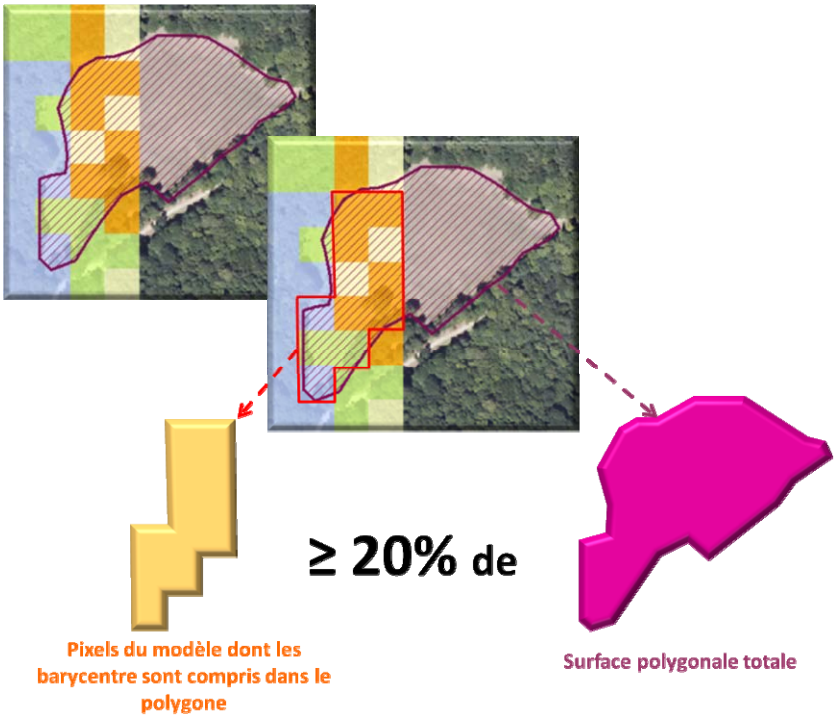


Figure 9: Correction des valeurs de probabilités extraites du modèle pour chaque polygone inventorié

FICHE 3 | Choix de l'aire de prospection pour la campagne d'inventaire 2014

A l'inverse des années précédentes, la campagne d'inventaire 2014 se devait d'être un complément des inventaires antérieurs réalisés par le CEN. Néanmoins, l'acquisition de données cartographiques sur cette thématique « pelouses sèches » pour la réalisation du fichier de forme de synthèse à l'échelle départementale a mis en évidence de nombreuses zones orphelines.

Objectif

L'objectif est d'identifier les secteurs pas ou peu prospectés en termes de cartographie d'habitats et d'en choisir les secteurs à prioriser suivant leur potentialité à posséder des habitats pelouses sèches.

Méthodologie

Etant donné qu'environ plus de 65% des polygones inventoriés relevant de l'alliance du Mesobromion erecti ont été prédits par le modèle, celui-ci a donc bien été utilisé dans le choix des secteurs à inventorier. L'identification des secteurs n'a pas nécessité de traitement spatial. En effet, une simple superposition de la couche de synthèse « pelouses sèches » et le raster de prédiction d'occurrence de l'alliance ainsi que les limites des districts naturels et communaux , a permis de mettre en évidence la sous prospection de certains districts entiers.

La hiérarchisation à proprement parler a été, elle, choisie en fonction de la proportion estimée de surfaces présentant une probabilité d'occurrence de l'alliance du Mesobromion erecti et par confirmation par les dires d'experts.

Aperçu du résultat

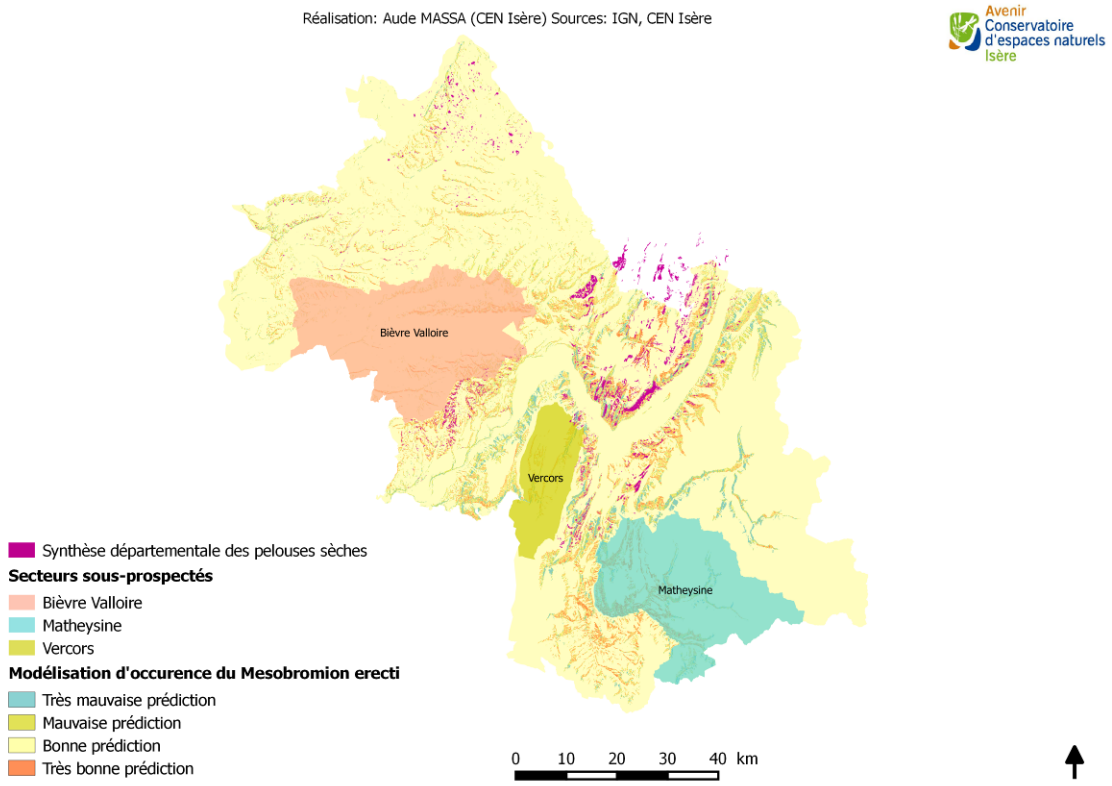


Figure 1: Mise en évidence des secteurs sous prospectés

Le travail de pré-cartographie a pour but de permettre de sélectionner à l'échelle communale les parcelles de milieu relativement ouvert mais non cultivées présentant des caractéristiques écologiques propices au système de pelouses sèches. Il s'agit d'optimiser l'effort de prospection tout en améliorant l'exhaustivité des inventaires.

Objectif

Devant l'étendue des secteurs à pré-cartographier, il était indispensable de systématiser et de standardiser au maximum cette étape. L'objectif ici est donc de sélectionner de façon systématique les parcelles de milieu relativement ouvert non cultivées à une échelle suffisamment précise autrement dit proche du 1/5000 ème.

Méthodologie

L'étendue des secteurs à inventorier ne permettait pas une numérisation manuelle des parcelles potentielles à partir d'une photo-interprétation et du modèle spatialisé d'occurrence. De plus, l'identification de parcelles de milieu ouvert non cultivées nécessite des données d'occupation du sol précises et récentes, informations non extrapolables à partir d'une seule orthophotographie datant de 2009.

Les cartes d'occupation du sol de type CORINE land cover de 2006 se sont trouvées malheureusement insuffisantes tant par leur précisons d'échelle que par leur ancienneté, un autre moyen d'identifier les principales parcelles de milieu ouvert a donc été d'utiliser le **registre parcellaire graphique** (RPG) de 2013 qui recense les parcelles agricoles des îlots PAC.

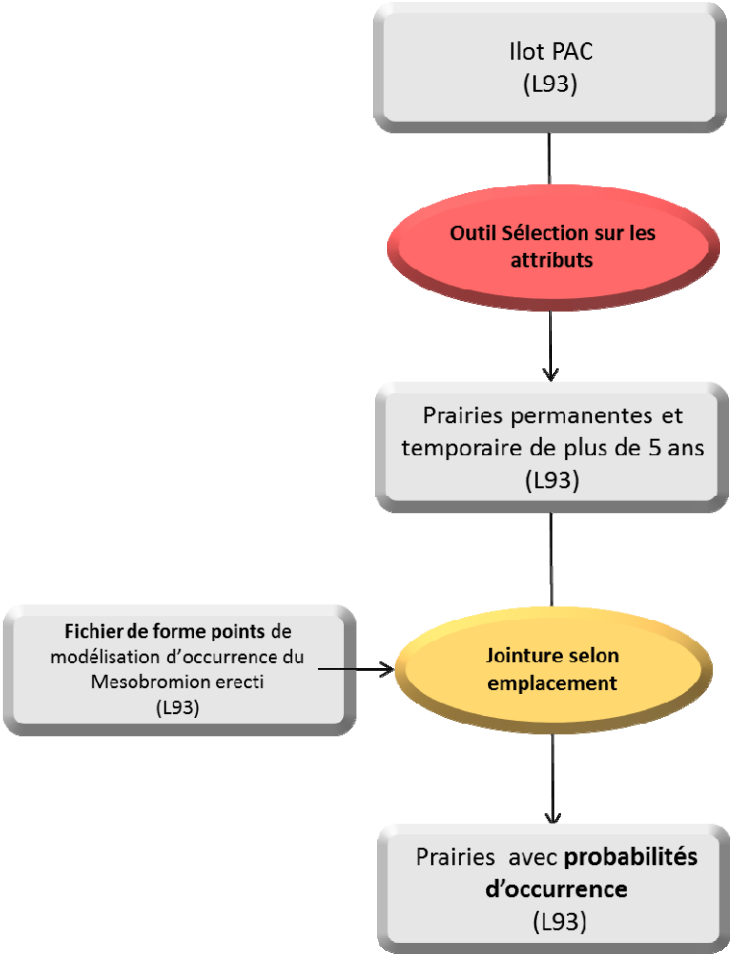


Figure 1: Schématisation de la sélection de prairies permanentes avec une probabilité d'occurrence de l'alliance du Mesobromion erecti forte à très forte

Un îlot correspond à un ensemble contigu de parcelles culturales exploitées par un même agriculteur. Le dessin des îlots est mis à jour chaque année par les agriculteurs sur la base de l'orthophotographie de l'Institut Géographique National (BD ORTHO® de l'IGN). La précision de numérisation correspond généralement à l'échelle du 1:5000 et sauf exception, il n'y a pas de recouvrements entre les îlots déclarés une même année. Par ailleurs, par le biais des déclarations, chaque îlot est associé à un ensemble de données alphanumériques liées à l'occupation du sol (nature de la culture et surface) (Agence des Services et des Paiements). Il existe environ 200 codes de cultures.

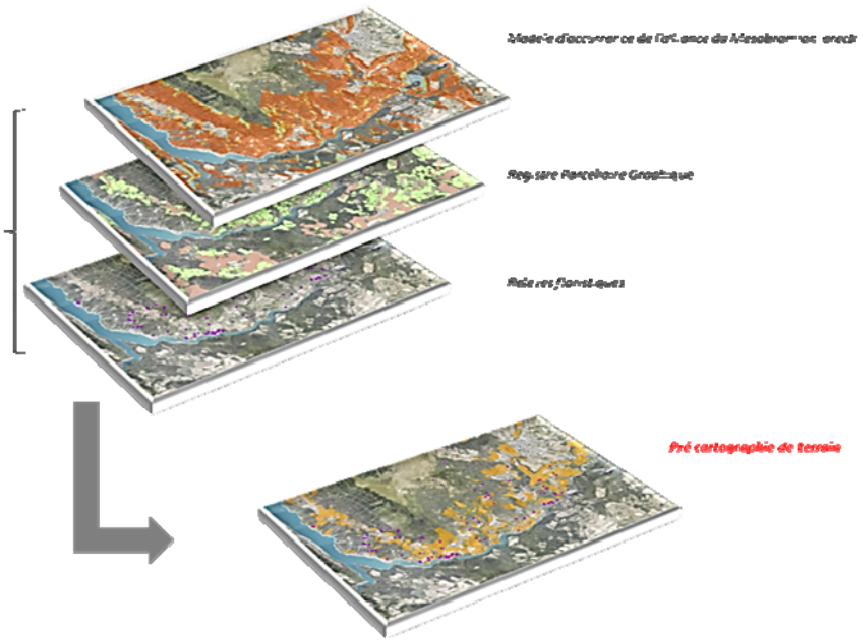


Figure 2 : Elaboration d'une pré-cartographie des pelouses et coteaux secs

Parmi, cette classification, seules les prairies enregistrées sous le qualificatif de « permanentes » ou de « temporaires de plus de 5 ans » ont été conservées. En effet, conformément à la réglementation communautaire de 2005, une prairie permanente (ou temporaire de plus de 5 ans) est une surface consacrée à la production d'herbe ou autres plantes fourragères herbacées en place depuis plus de 5 ans. En sélectionnant, ce type de prairies, il s'agissait ici de conserver uniquement les prairies de fauche ou pâturées encore exploitées.

Une fois ces ilots parcellaires sélectionnés, une attribution de probabilité d'occurrence de l'alliance du Mesobromion erecti forte à été réalisée sur la même méthodologie que celle utilisée dans la partie 2, étape 2.

A la fin de cette première étape, ne sont donc conservées que les parcelles de type prairie de fauche ou pâturées de plus de 5 ans avec une probabilité d'occurrence de l'alliance du Mesobromion erecti forte à très forte.

Aperçu du résultat

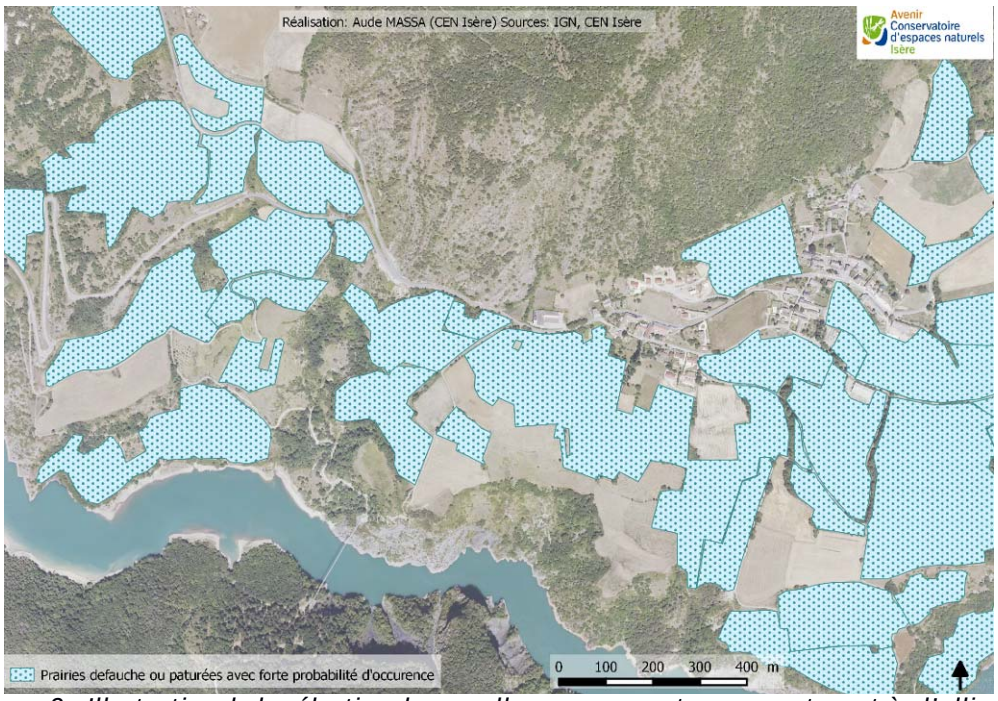


Figure 3 : Illustration de la sélection de parcelles « permanentes » appartenant à l'alliance du Mesobromion erecti

FICHE 4 | Travail pré-cartographique: identification des parcelles potentielles de pelouses sèches

ETAPE 2 : Complément d'information par photo interprétation et relevés d'espèces

Objectif

Cette étape consiste en une correction de la présélection réalisée en étape 1. En effet, celle-ci comporte plusieurs biais. Premièrement, les déclarations PAC ne sont pas obligatoires, par conséquent, la totalité des prairies de fauche et de pâtures ne sont pas nécessairement recensées numériquement. Dans un second temps, les systèmes pelouses sèches sont généralement caractéristiques d'une gestion agricole extensive, une exploitation intensive de ces prairies fait généralement disparaitre ces milieux au profit de milieux plus nitrophiles, or le mode de gestion n'est pas renseigné. Enfin le caractère permanent tel qu'il est défini par la réglementation communautaire est à considérer avec précaution, en effet une prairie qui est labourée et ressemée dans l'année, conserve son caractère permanent : il y a certes, continuité du parterre herbacé mais d'un point de vue de la cartographie d'habitats, le cortège floristique ne sera pas celui attendu.

Méthodologie

Pour parer au premier biais et pour prendre en compte les parcelles d'ores et déjà dans un cas de figure d'abandon agricole, un complément de cette sélection a été réalisé par photo-interprétation. Les zones partiellement embroussaillées ou celles d'affleurements rocheux, par exemple, ont ainsi été rajoutées à la liste des zones à prospecter sous conditions qu'elles se trouvent sur des zones à forte probabilité d'occurrence de l'alliance indiquées par le raster de modélisation.

Dans un second temps, un complément d'information concernant les relevés floristiques disponibles sur ces secteurs a été apporté. Ces relevés sont certes ponctuels (fichier de forme points) mais permettent de confirmer la présence ou non de l'alliance à proximité des zonages pré-cartographiés. Ces relevés ont été fournis par l'association botanique Gentiana et le conservatoire botanique Alpin.

Aperçu du résultat

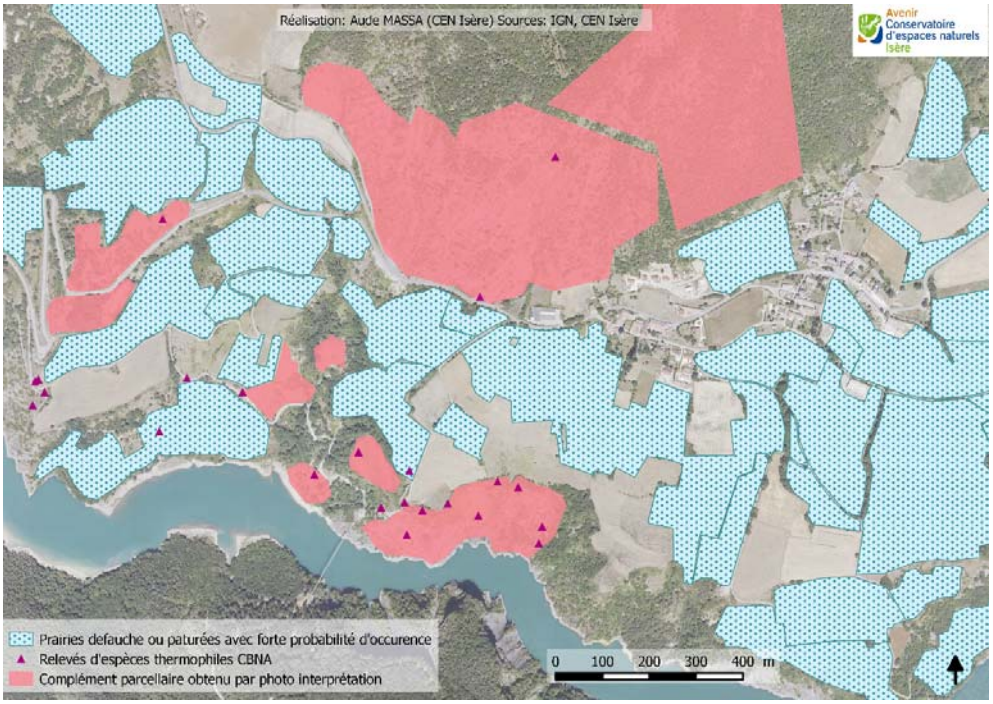


Figure 4 : Illustration de la pré-cartographie de pelouses sèches avec des relevés espèces (ici source CBNA)

Le travail de pré cartographie de parcelles de pelouses sèches est ensuite systématiquement vérifier par une prospection de terrain afin d'infirmer ou de confirmer la présence de ces systèmes, d'en caractériser les habitats suivant des typologies pré définies et d'en relever les espèces ayant une valeur patrimoniale.

1. Caractérisation des habitats et de leur état de conservation

Cet inventaire nécessite des prospections de terrain, pour la caractérisation, la cartographie et l'évaluation de la typicité floristique des habitats d'intérêt communautaire. La pré-cartographie seule étant insuffisante, l'ensemble de la zone d'étude devra être parcouru. En fonction des superficies à prospecter, l'inventaire des parcelles et la caractérisation de leurs habitats peut se faire en un seul ou en plusieurs passages.

Echelle de cartographie

Le choix de l'échelle est déterminant dans le degré de précision de la description des habitats et dépend donc de l'objectif visé lors de l'inventaire. L'échelle appliquée ici est principalement de 1/5000ème. En effet, cette échelle permet de restituer une typologie précise avec une localisation de la plupart des habitats en un temps de terrain acceptable et constitue donc le meilleur rapport temps/précision en accord avec les objectifs d'aire de prospection fixés. Néanmoins, cette cartographie n'a pas vocation à se substituer à un inventaire cartographique parcellaire indispensable dans le cadre de mise en place de mesures de gestion. C'est pourquoi, l'échelle de restitution est nécessairement plus petite (moins précise) que l'échelle de cartographie de terrain pour permettre une vue plus globale des habitats. Elle varie souvent de 1/10 000ème à 1/25 000ème suivant les sites.

Choix de la typologie

La caractérisation des habitats passe par une description phytosociologique, et l'alliance (voire la sous alliance) est systématiquement définie. La typologie Corine biotope de chaque habitat élémentaire est ensuite renseignée au rang le plus élevée qu'il soit possible de déterminer.

Protocole de terrain

Lors de la réalisation de la cartographie sur le terrain, les parcelles de pelouses sèches (ou suspectées de l'être) devront être systématiquement traversées en diagonale afin de caractériser le ou les habitats élémentaire (s) de la manière la plus exhaustive possible. La surface minimale à cartographier doit être au minimum de 100 m² et au maximum de quelques hectares à l'exception de grands ensembles prairiaux homogènes. Idéalement, ces polygones de parcelles devront ne pas être à cheval sur plusieurs communes.

Dans l'absolu, il est préférable d'individualiser chaque type d'habitat élémentaire par un polygone distinct, mais dans la pratique, il est plus réaliste et judicieux de recourir aux mosaïques d'habitats. Dans cet inventaire, jusqu'à 4 habitats différents peuvent être inclus dans un même polygone, en précisant pour chacun son importance relative au sein du polygone, via le pourcentage de la surface qu'il occupe. Pour ce type d'inventaire, la création de complexes d'habitats est parfois plus souhaitable qu'un fractionnement exagéré des parcelles existantes et bornées visuellement (clôture, etc.). Deux grands types de mosaïques sont fréquemment rencontrées :

- Les mosaïques temporelles qui sont composées d'habitats issus d'une même dynamique de végétation
- Les mosaïques spatiales qui sont composées d'habitats issus de variation édaphiques et topographiques (et non d'une même dynamique de végétation)

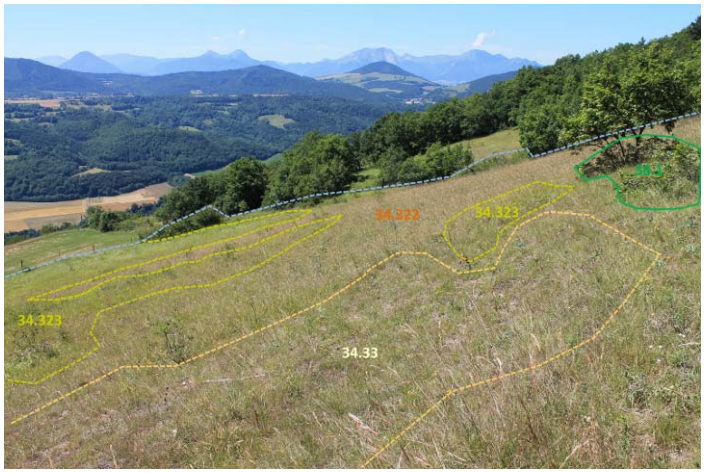


Figure 1 : Exemple de mosaïque temporelle, ici série du chêne pubescent (en bleu la limite parcellaire)

Figure 2 : Exemple de mosaïque spatiale

En cas d'inaccessibilité, une observation et une caractérisation des parcelles à la jumelle est possible, à condition de **le spécifier en remarque**.

Une description générale de la parcelle précisant le type de formation végétale (tonsure, pelouse écorchée, pelouse dense, prairie, ourlet, etc.), la situation (pente, exposition, type de substrat, géomorphologie, etc.), les espèces dominantes (faciès) et la présence d'espèces remarquables est systématiquement réalisée.

Exemple de remarques accompagnant la caractérisation des habitats:

Parcelle xxx 16 : Prairie xérophile en pente (exposition Sud-Est) à Bromus erectus avec affleurements rocheux à Sedum sediforme agg et Teucrium chamaedrys. Cortège pauvre en dicotylédones. Station d'Orchis anthropophora (≈1000 pieds).

Associées à la caractérisation des habitats, des informations complémentaires sont relevées:

- Les pratiques agricoles identifiables au sein du polygone (pâturage : bovin, équin, ovin, caprin ou asin ; fauche ; abandon, etc.).

- Une synthèse du taux d'embroussaillement de la parcelle (en trois classes de pourcentages : 1: 5 à 30 % |2: 31 % à 60 % |3: ≥60 %)

- Le recouvrement végétal total (en quatre classes de pourcentages : 1: 100 % de sol herbacé |2: 90 % de sol herbacé et 10 % de sol nu |3: 80 % de sol herbacé et 20 % de sol nu | 4: ≥20 % de sol nu)

Etat de conservation

L'état de conservation est apprécié de manière pragmatique à partir de la typicité floristique de la communauté végétale par comparaison avec son état optimal (défini dans la littérature phytosociologique notamment au travers de tableaux ou de relevés phytosociologiques), de son état général, à son état dynamique (évolution vers d'autres groupements) et à l'intensité de sa dégradation (apport en nitrates, écorchement, labourage etc.). L'état de conservation des systèmes de pelouses sèches dépend, par exemple, de la dynamique de fermeture des milieux ouverts et des processus de nitrification des sols par amendement ou pâturage intensif. La définition de cet état est essentiellement basée sur une appréciation des opérateurs de terrain.

Tableau 1: Exemple de fiche terrain

Date : Auteur : Commune :

Pratiques : Fauche, Pâturage, Broyage, Abandon
Embroussaillement : 1 = 5 à 30% | 2 =30 à 60%| 3= >60%
Recouvrement : 1= 100% herbacé|2= 90% herbacé ; 10 % sol nu|3=80% herbacé ; 20% sol nu |4= >20% sol nu

Lieu-dit	N° Poly	Hab 1	%H1	Hab2	%H2	Hab 3	%H3	Hab 4	%H4	Pratiques	Embrou	Recouv	N°GPS	Remarques

2. Relevés floristiques

Lors de cet inventaire, la réalisation de relevés floristiques systématiques a été requise pour les parcelles présentant des milieux et/ou espèces remarquables ou protégés sur le plan national ou régional. Ces relevés sont accompagnés d'un coefficient d'abondance-dominance. Les polygones présentant une population d'orchidées comprenant plus de 3 espèces, ou une espèce présentant une population d'au moins 50 pieds, ou encore une espèce considérée comme peu commune ou rare sur le territoire régional, ont fait l'objet d'un inventaire systématique et quantifié. Un pointage GPS est associé à chaque relevé et des pointages supplémentaires sont effectués lorsqu'il y a présence d'espèces protégées. Le système de projection adopté est le système classique UTM WGS 84. Néanmoins, si le matériel le permet, une saisie en Lambert 93 est préférable.

Si une parcelle remarquable présente une surface importante, il est vivement recommandé de réaliser autant de relevés que d'habitats élémentaires caractérisés, quitte à agréger dans un second temps les informations qu'ils contiennent.

Tableau 2 : Exemple de fiche de relevés d'espèces

Observateurs:	
Date:	**Commune:**

NB: La liste d'espèces doit être précédée du numéro du Way point GPS et repères de terrain

	Point GPS	**Nom orchidées et nbre**

3. Saisie informatique des données

Afin d'obtenir le plus de précision dans la cartographie, l'échelle de saisie correspond au minimum à la moitié de l'échelle de travail de terrain. L'échelle de saisie doit aussi être plus grande, donc plus précise, que l'échelle de restitution. Une numérisation des polygones des pelouses et coteaux secs cartographiés a donc été réalisée à une échelle de 1/2000ème à l'aide du logiciel QGIS 2.2 en Lambert 93. La table attributaire de ce fichier de forme polygonal est identique au modèle choisi dans la Fiche 1 | Etape 1. Les polygones présentant des habitats ayant un caractère remarquable, communautaire ou prioritaire ont été mis en évidence.

En effet, l'évaluation patrimoniale des pelouses sèches a été faite sur la base de l'annexe I de la directive européenne «Habitats naturels» définissant les habitats dits d'«intérêt communautaire». Certains habitats communautaires renseignés sous l'intitulé «pelouses sèches semi-naturelles» de code 6210 sont considérés comme prioritaires à condition de présenter un «site d'orchidées remarquable». L'aspect remarquable du site correspond à la présence d'au moins un des critères suivants:

- Un important cortège d'espèces d'orchidées ;
- Une population importante d'au moins une espèce d'orchidée considérée comme peu commune sur le territoire national ;
- Une ou plusieurs espèces d'orchidées considérées comme rares, très rares ou exceptionnelles sur le territoire national.

La traduction de cette définition au niveau de l'Isère est faite avec les seuils suivants :

- Le site doit abriter au moins 3 espèces d'orchidées déterminantes ZNIEFF, et/ou
- Une population d'au moins 50 pieds d'orchidées caractéristiques des prairies sèches (tableau ci-contre) et/ou
- Une espèce d'orchidée protégée au niveau national.

Tableau 3: Liste des orchidées caractéristiques des habitats de pelouses sèches

Nom commun	Nom scientifique	Liste Rouge National	Liste Rouge Régional
Orchis bouffon	*Anacamptis morio*	LC	LC
Orchis punaise	*Anacamptis coriophora*	VU	EN
Orchis pyramidal	*Anacamptis pyramidalis*	LC	NE
Orchis sureau	*Dactylorhiza sambucina*	LC	LC
Orchis moucheron	*Gymnadenia conopsea*	LC	LC
Orchis bouc	*Himantoglossum hircinum*	LC	LC
Orchis géant	*Himantoglossum robertianum*	LC	LC
Orchis tridenté	*Neotinea tridentata*	VU	VU
Orchis brûlé	*Neotinea ustulata*	LC	LC
Homme-pendu	*Orchis anthropophora*	LC	LC
Ophrys abeille	*Ophrys apifera*	LC	LC
Ophrys petite araignée	*Ophrys araneola*	LC	LC
Ophrys frelon	*Ophrys fuciflora*	LC	LC
Ophrys mouche	*Ophrys insectifera*	LC	LC
Ophrys occidental	*Ophrys occidentalis*	LC	LC
Ophrys araignée	*Ophrys aranifera*	LC	DD
Orchis militaire	*Orchis militaris*	LC	LC
Orchis pourpre	*Orchis purpurea*	LC	LC
Orchis singe	*Orchis simia*	LC	LC
Platanthère à deux feuilles	*Platanthera bifolia*	LC	LC
Platanthère verdâtre	*Platanthera chlorantha*	LC	LC
Sérapias langue	*Serapias lingua*	LC	LC
Sérapias à long labelle	*Serapias vomeracea*	LC	LC
Spiranthe d'automne	*Spiranthes spiralis*	NT	NT
Orchis mâle	*Orchis mascula*	LC	LC

Une notation supplémentaire sous l'intitulé d' « habitats remarquables » a été créée pour les sites présentant des systèmes de pelouses sèches dont les habitats appartiennent à la liste rouge des habitats du département de l'Isère ou possédant des espèces rares ou menacées visées par les listes rouges régionales ou départementales.

En ce qui concerne les relevés floristiques, ceux-ci sont saisis sous Excel puis intégrés, avec leurs coordonnées gps, à la base de données SERENA, logiciel de gestion de bases de données naturalistes développé par le réseau des Réserves naturelles.

4. Représentation cartographique

La plupart des parcelles inventoriées se trouve être sous forme de mosaïque d'habitats. Afin de faciliter la compréhension de l'information portée par ces parcelles tout en transcrivant le plus fidèlement la réalité de terrain, un champ de table attributaire synthétique a été créé. Celui-ci reprend les différents types d'habitats élémentaires de systèmes pelouses en les déclinants en fonction de leurs stades de colonisation arbustive (0 à 5 % | 5 à 30 % | 30 à 60 % | plus de 60 %). Cette légende permet également une sélection SQL plus aisée sous logiciel SIG pour les calculs de statistiques basiques.

Tableau 4 : Exemple d'élaboration de la légende synthétique de table attributaire

Code CORINE	Intitulé de l'habitat élémentaire	Stade de colonisation arbustive	Légende de table
34.33	Pelouse aride sur sol superficiel	0 à 5 % => /	Pelouse aride sur sol superficiel (34.33)
		5 % à 30 % => en cours de colonisation arbustive	Pelouse aride sur sol superficiel (34.33) en cours de colonisation arbustive
		30 % à 60 % => en cours de colonisation arbustive	Pelouse aride sur sol superficiel (34.33) en cours de colonisation arbustive
		Plus de 60% => Mosaïque d'habitats et de milieu boisé	Mosaïque d'habitats de pelouse aride et de milieu boisé

Outre ce champ synthétique, une légende simplifiée a été élaborée afin de clarifier la représentation cartographique. Etant donné que les pelouses et prairies sèches sont au cœur de l'enjeu de cet inventaire, seuls les habitats ouverts contenus en majorité par la parcelle sont représentés par des figurés pleins. Les boisements et des fourrés des différent stades dynamiques de ces milieux est retranscrits par des figurés hachurés propres aux 3 classes d'embroussaillement vues ci-dessus.

Tableau 5: Illustration des deux types de légende intégrés dans la table attributaire

Code CORINE	Intitulé de l'habitat élémentaire	Légende de table	Légende cartographique
34.33	Pelouse aride sur sol superficiel	Pelouse aride sur sol superficiel (34.33)	Pelouse aride sur sol superficiel
		Pelouse aride sur sol superficiel (34.33) en cours de colonisation arbustive	
		Pelouse aride sur sol superficiel (34.33) en cours de colonisation arbustive	
		Mosaïque d'habitats de pelouse aride et de milieu boisé	

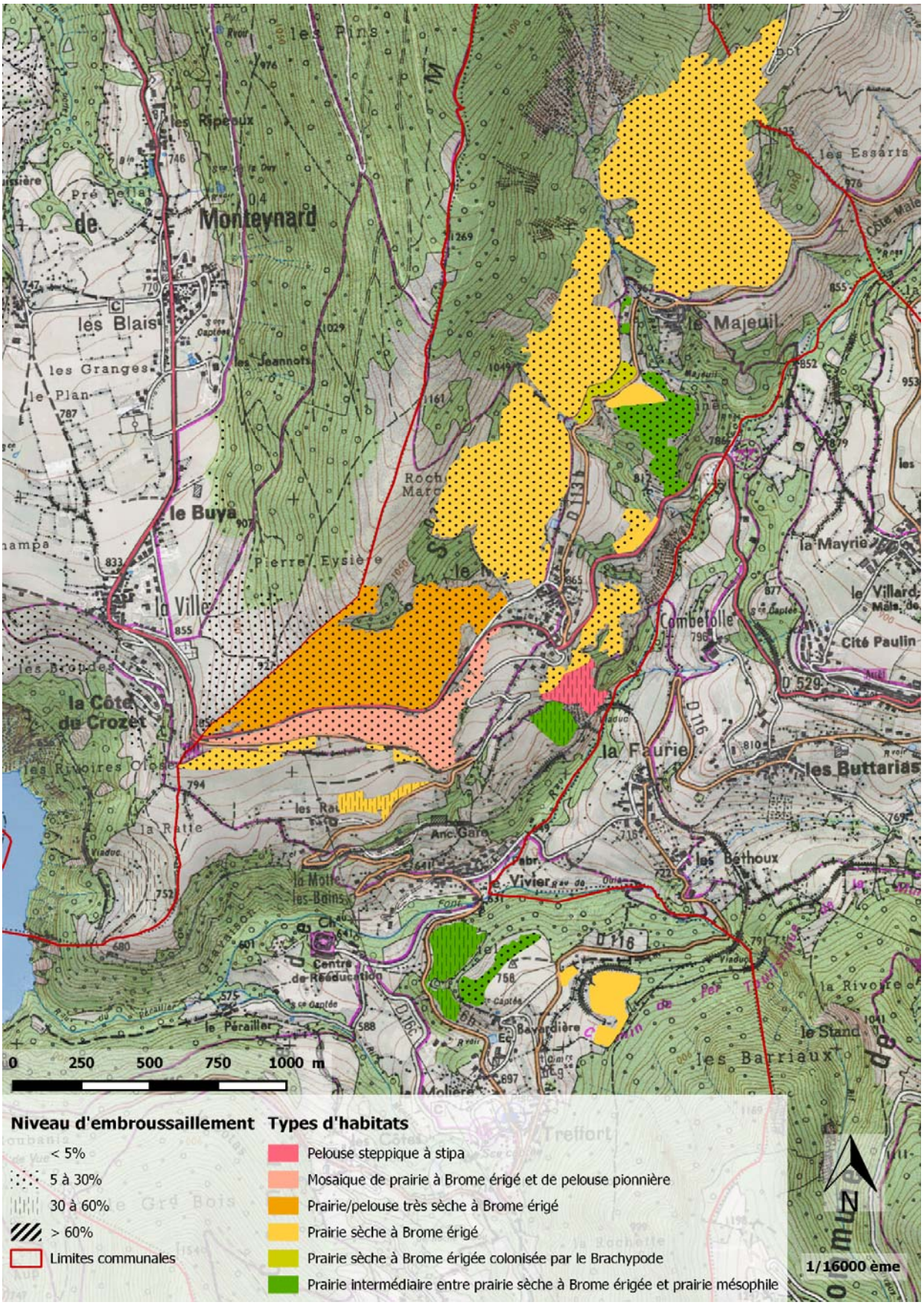


Figure 3: Exemple de représentation cartographique d'inventaire de pelouses et coteaux secs d'une commune (ici La Motte-Saint-Martin)

BIBLIOGRAPHIE

BARDAT J. BIORET F., BOTINEAU M., BOULLET V., DELPECH R., GEHU J.-M.,HAURY J., LACOSTE A., RAMEAU J.-C., ROYER J.-M., ROUX G. et TOUFFET J., 2004. Prodrome des végétations de France. Muséum National d'Histoire Naturelle Paris, 171 p.

BISSARDON M. et GUIBAL L., 1997. Nomenclature Corine biotopes - types d'habitats français. E.N.G.R.E.F., Nancy, 217 p.

CONSERVATOIRE BOTANIQUE NATIONAL DU BASSIN PARISIEN, 2010. Cartographies des habitats naturels et des espèces remarquables des ZNIEFF de la région centre.

COQUILLARD H., PIERRON V., 2012. Stratégie régionale pour les pelouses sèches de Rhônes-Alpes. Prem. Rencontres Pour Conserv. Pelouses Coteaux Secs Rhône-Alpes 1, 57.

DREAL Bourgogne, 2010. Cahier des charges - cartographie des habitats naturels des sites Natura 2000 de bourgogne

FEDERATION DES CONSERVATOIRES BOTANIQUES NATIONAUX, MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE, 2006. Cartographie des habitats naturels et des espèces végétales appliquée aux sites terrestres du réseau Natura 2000. Guide méthodologique et cahier des charges. Version 1.2, 66 p.

GUINOCHET M., 1973. Phytosociologie. Masson, Paris, 227 p.

GUISAN A., ZIMMERMANN N.E., 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. Ecol. Model. 147–186.

LALANNE A., 2012. CarHab – cartographie des végétations naturelles et semi-naturelles du territoire métropolitain.