

A1	La segmentation et le programme PYRAM L'assemblage du fond physiologique
Rédacteurs :	Loïc Commagnac, Bénédicte Maisonneuve
Contacts :	loic.commagnac@ign.fr ; Benedicte.Maisonneuve@ign.fr

Le programme PYRAM, développé historiquement par l'IGN, permet la réalisation d'une segmentation à partir des dalles d'orthophotos en proche infrarouge de 1 x 1 km d'emprise. Le processus de segmentation s'appuie sur des critères radiométriques et géométriques pour identifier des zones homogènes dans l'image de manière automatique (champs, forêts, bâtiments, etc.). Ce processus permet de produire les différents niveaux de découpage ou « niveaux de coupes » qui sont utilisés pour la production du fond physiologique. Les différents niveaux de coupes produits sont hiérarchiquement imbriqués. Cela signifie qu'il est possible de reconstituer les limites des niveaux de coupes supérieurs à partir de celles des niveaux inférieurs. Pour chaque niveau de coupes choisi, une nouvelle image est produite dans laquelle tous les pixels appartenant à une même zone homogène se voient attribuer une couleur identique. Le résultat de la segmentation est donc une image (donnée en mode raster). Seuls trois niveaux de coupe sont utilisés dans le cadre du programme CarHAB. La figure 1 illustre les trois niveaux de segmentation.

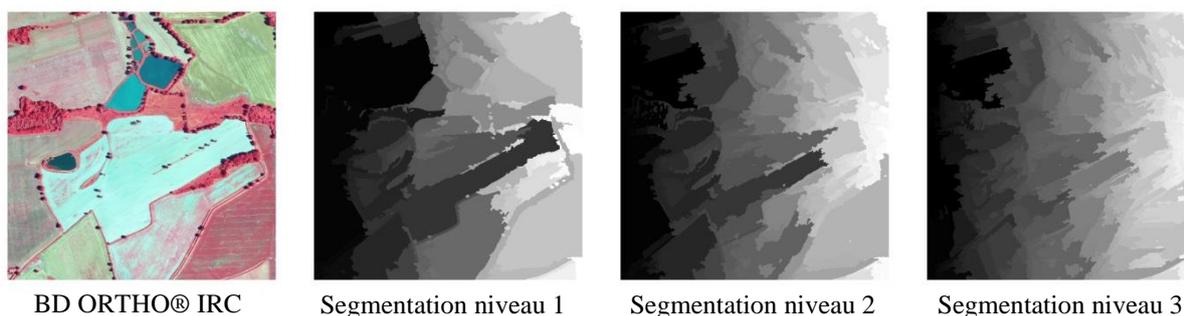


Figure 1 : Exemple de différents niveaux de segmentation raster d'une même dalle de 1 x 1 km de la BD ORTHO® en proche infra-rouge (le niveau de coupe le plus fin à gauche)

Une fois la segmentation réalisée, l'image est vectorisée par un logiciel développé par l'IGN. Les zones homogènes issues de la segmentation sont transformées en objets vectoriels (polygones) dont les contours correspondent aux limites de zone. Cette transformation vectorielle a pour but de faciliter la qualification physiologique des différentes zones issues du découpage. L'attribution de cette information nomenclaturale se fait à travers l'étape de classification. Celle-ci permet d'établir une correspondance entre la signature spectrale et la texture d'un objet (ici une zone homogène), et un type de milieu (culture, prairie, forêt, etc.). La segmentation est réalisée sur une image infrarouge couleur (IRC) plus appropriée pour l'étude de la végétation (voir l'IF numéro 25, en ligne : http://inventaire-forestier.ign.fr/spip/IMG/pdf/IF_25_proche_infrarouge_2.pdf). Dans cette image les couleurs rouge, vert et bleu, représentent respectivement les canaux « proche infrarouge, rouge et vert ». L'intensité de la réflexion de la lumière par le couvert végétal dans le rouge et le proche infrarouge est généralement considérée comme étant liée au degré d'activité chlorophyllienne des plantes (débourrage, état sanitaire, etc.). En fonction de la date de prise de vue, l'intensité de l'activité chlorophyllienne pourra également révéler certaines conditions environnementales ou

pratiques culturelles (fauche, pâture, etc.). Les figures 2a et 2b représentent le tracé, au format vecteur, des limites des trois niveaux de coupe de la segmentation sur la BD ORTHO® IRC de l'IGN.

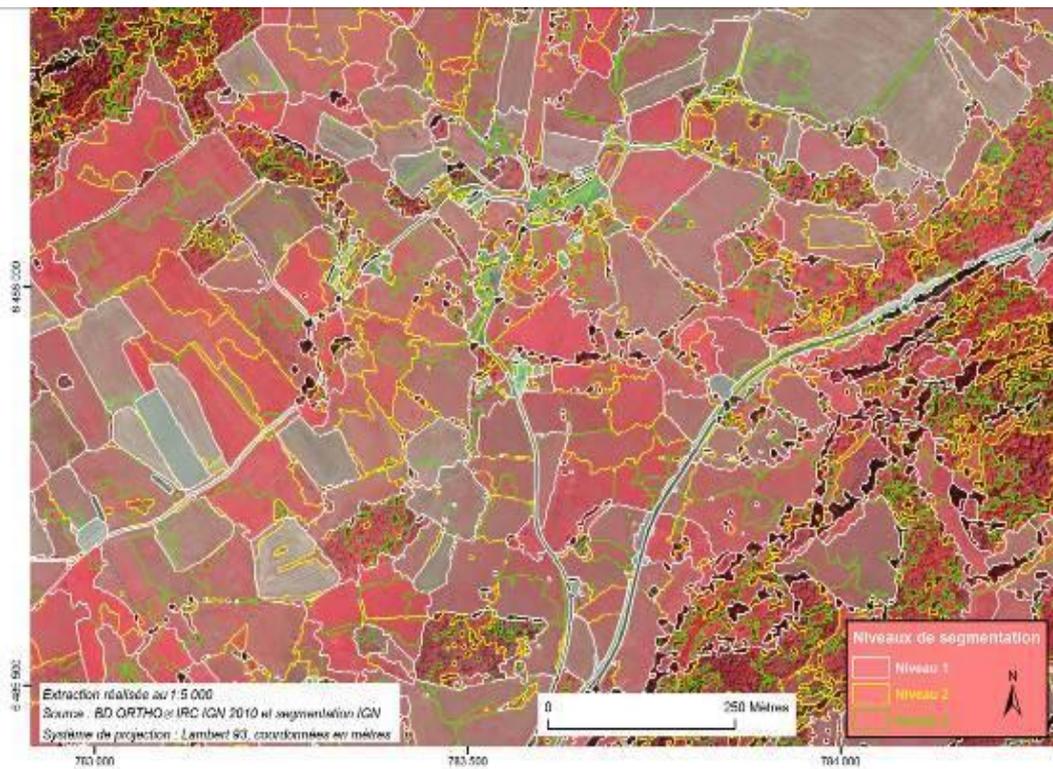


Figure 2a : Illustration des trois niveaux de découpage utilisés dans le cadre de CarHAB. Les niveaux 2 (polygones jaune) et 3 (vert) sont intéressants à conserver pour proposer d'éventuels redécoupages de polygones de niveau 1 (blanc), spécialement au niveau de l'hygrosère qui ressort, selon les secteurs étudiés, dans les différents niveaux de la segmentation.

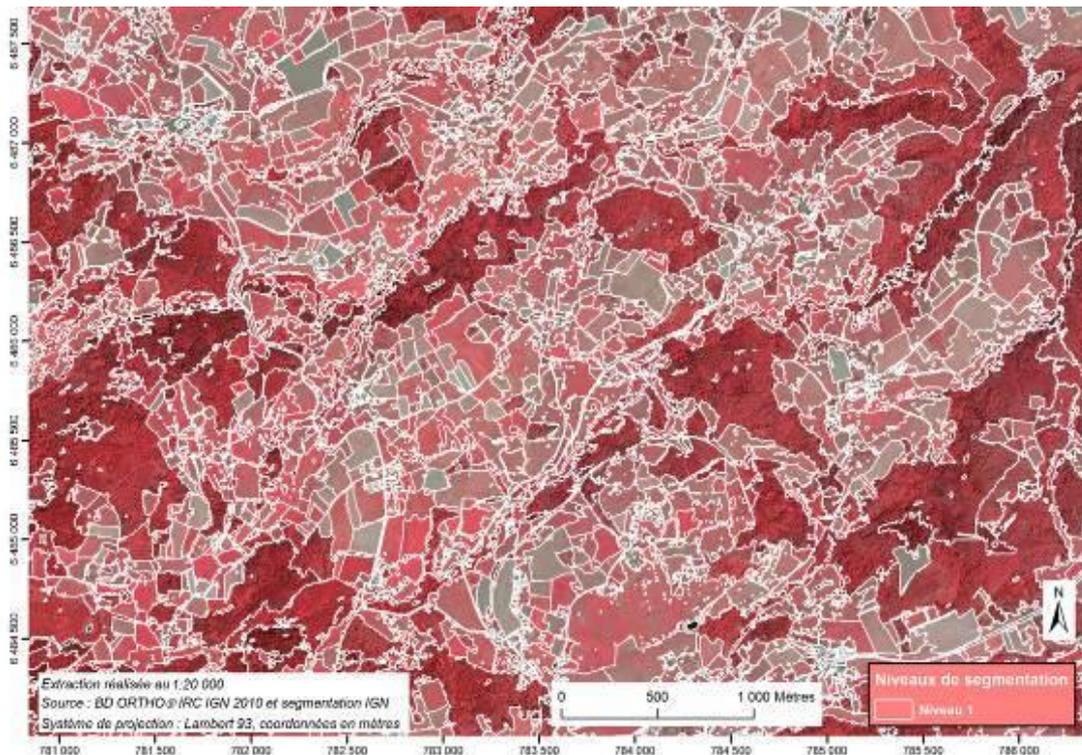


Figure 2b : Illustration du niveau 1 de découpage utilisé dans le cadre de CarHAB. Cette couche correspond à l'information de base utilisée pour la réalisation de la pré-cartographie.

Après vectorisation de la segmentation de niveau 1, un ensemble de masques est utilisé pour simplifier la couche résultante. Des post-traitements sont ensuite appliqués, ils portent *a minima* sur les points suivants :

- corrections topologiques ;
- suppression des polygones de taille inférieure à 2 500 m² (0,25 ha) par fusion avec le polygone voisin avec lequel ils partagent la plus grande frontière ;
- suppression des polygones fins et allongés par fusion avec le polygone voisin avec lequel ils partagent la plus grande frontière ;
- correction de la forme de certains polygones en bord de route.

L'utilisation de la segmentation IGN comme information de base pour la production du fond paysanographique pour les différents milieux garantit une interopérabilité géométrique. Cette dernière facilite également la constitution d'un fond paysanographique assemblé (assemblage de tous les milieux).

1. Réalisation des masques

Dans la suite de ce document, on considère la production des différentes couches d'information géographique à l'échelle d'un département.

L'ensemble des masques produits sont destinés à être soustraits à la segmentation vectorisée afin de faciliter la manipulation de cette dernière pour la classification des milieux ouverts. Des masques sont produits pour les occupations du sol suivantes :

- infrastructures de transport (le masque est réalisé par l'IGN à partir de données issues de la BD TOPO®) ;

- surface en eau (le masque est directement extrait de la BD TOPO®) ;
- bâtis (le masque est réalisé par les équipes du CEREMA Sud-Ouest et EVS-ISTHME sur la base de données issues pour partie de la BD TOPO® et pour partie de la BD MAJIC de la DGFIP) ;
- forêt fermée (le masque est directement extrait du fond forestier CarHAB de l'IGN) ;
- vergers (le masque est issu de la BD-TOPO®) ;
- vignes (le masque est directement issu de la BD-TOPO®).

Après soustraction des masques infrastructures de transport, surfaces d'eaux, bâti et forêt, les surfaces restantes sont théoriquement des milieux ouverts. Afin d'obtenir le fond physiologique assemblé final, on ajoute à ces milieux ouverts, le domaine de la forêt fermée issu du fond forestier réalisé dans le cadre du programme CarHAB.

a) Masque des infrastructures de transport

Le masque des infrastructures de transports (routes et voies ferrées) sera, à terme, issu d'un autre projet de l'IGN : l'occupation du sol à grande échelle ou OCS GE.

Ce projet a pour but de répondre aux lois de 2010 portant engagement pour l'environnement (dites Grenelle 2 et Loi de modernisation de l'agriculture LMAP). Cette couche d'occupation du sol à grande échelle a pour vocation le suivi de la consommation d'espaces, notamment de l'artificialisation des sols et de l'évolution des surfaces, urbaines, agricoles ou forestières, et vise la production d'indicateurs fiables, homogènes et comparables sur l'ensemble du territoire. L'IGN en tant qu'institution nationale doit être garant du continuum national tout en assurant un emboîtement local/régional/national potentiel.

Le projet OCS GE s'inscrit dans le sillage des travaux conduits par le groupe de travail mandaté par le ministère chargé de l'écologie et auquel l'IGN participe, pour la définition d'une nomenclature nationale d'occupation du sol et de préconisations de bonnes pratiques pour la production de données d'occupation du sol (groupe de travail OCS GE du CNIG : http://cnig.gouv.fr/?page_id=8069).

Cette couche OCS GE doit couvrir à terme l'ensemble du territoire métropolitain ainsi que les départements d'outre-mer. Plus d'informations sont disponibles en ligne à l'adresse : <http://professionnels.ign.fr/ocsge>.

La couche des réseaux de transport de l'OCS GE « ossature », est constituée à partir des tronçons qui composent le réseau routier principal (liaisons entre métropoles, entre départements et entre villes, essentiellement via les autoroutes, les routes nationales et les routes départementales) et de ceux qui composent les voies ferrées en service (voir <http://cnig.gouv.fr/wp-content/uploads/2014/12/PNOCSGE-10-d%C3%A9cembre-20141.pdf>). Ces tronçons sont convertis en surfaces par application d'un tampon (buffer) de taille variable en fonction de l'importance de la voie. Les éléments surfaciques contenus dans la BD TOPO® sont ajoutés (surfaces de routes) pour créer l'ossature de l'OCS GE. Un enrichissement est ensuite pratiqué pour les besoins du programme CarHAB, des tronçons de route supplémentaires seront ajoutés en utilisant également les spécifications de l'ossature de l'OCS GE (annexe 1).

Pour les départements qui ne disposent pas d'une ossature OCS GE, une couche spécifique est réalisée avec les mêmes spécifications pour les besoins du programme CarHAB. Toutefois, en raison de contraintes matérielles et temporelles, cette couche ne subit pas les traitements suivants qui sont appliqués à l'ossature de l'OCS GE :

- comblement des espaces vides inférieurs à 10 m de large entre réseaux. L'espace est comblé par de la surface asphaltée (routes). Les voies ferrées ne sont pas élargies sauf pour combler des espaces entre deux tronçons de voies ferrées ;

- les giratoires et tous les terrains situés entre deux tronçons routiers dont la surface est inférieure à 500 m² sont transformés en surface asphaltée.

b) Masque des zones bâties

Le masque des zones bâties, actuellement utilisé pour le programme CarHAB pour la réalisation du fond physiologique et environnemental, est issu des travaux menés par les équipes du CEREMA Sud-Ouest et d'EVS-ISTHME. À terme, c'est le poste « CS1.1 – Surfaces anthropisées » de l'OCS GE qui sera utilisé.

Ce masque des zones bâties est élaboré à partir de deux bases de données complémentaires :

- les bâtiments et les surfaces anthropisées de la BD TOPO® ;
- la base de données cadastrales MAJIC (DGFIP).

Fichiers fonciers (communément appelés fichiers MAJIC)

Il s'agit d'une base de données cadastrales qui se compose du plan et de la documentation littérale. Cette base est issue des données MAJIC (Mise À Jour des Informations Cadastrales), nom de l'application interne à la DGFIP (Direction Générale des Finances publiques) pour gérer et calculer l'impôt foncier. Ces informations sont mises à jour en continu dans tous les CDIF (Centre des Impôts Fonciers) de France. La source de ces fichiers est fiscale et les informations majoritairement déclaratives. Ce sont principalement les services de l'État, les collectivités et les organismes chargés d'une mission de service public qui ont accès à cette base de données, sur demande et sous conditions. Cette base nécessite par ailleurs un lourd pré-traitement avant usage.

Pour l'élaboration du masque urbain, les parcelles sont filtrées pour ne sélectionner que celles qui ont au moins un bâtiment à l'hectare.

Le processus d'élaboration du masque se déroule en plusieurs étapes.

La première étape consiste à croiser la couche BD TOPO® bâtiments et surfaces d'activité avec la couche de segmentation réalisée par l'IGN, considérant qu'un polygone de la segmentation est classé urbain quand il comprend au moins 1 % de sa surface bâtie et quand le centroïde d'un polygone de la segmentation intersecte une surface « anthropisée » de la BD TOPO®.

La deuxième étape a pour objet de croiser la couche de segmentation avec les « parcelles bâties » des fichiers fonciers. Dans ce cas, tout polygone de la segmentation intersectant une parcelle bâtie et dont la surface est occupée par au moins 40% de la parcelle bâtie est considéré comme « Urbain ».

Catégories sélectionnées de la BD TOPO® pour l'élaboration du masque urbain

Couche des bâtiments :

*Bâti_indifférencié
Bâti_industriel
Bâti_remarquable
Réservoir
Construction_surfacique
Construction_légère
Gare
Poste_transformation*

Couche des surfaces « anthropisées » :

*Piste_aérodrome
Terrain_sport
Cimetière
Surface_route (attributs « Péages » et « Parking »)
Aire_triage
Surface_activité*

Point de vigilance :

Les seuils de classement en catégorie urbaine d'un polygone de la segmentation dont la couche du bâti BD TOPO® représente 1 % de sa surface, ou 40 % pour le fichier foncier, sont des seuils plus ou moins arbitraires appliqués de façon empirique et non statistique. Ceux-ci doivent en tout état de cause être choisis après vérification minutieuse de leurs résultantes cartographiques et ne doivent surtout pas être appliqués *in extenso* pour tous les départements.

c) Masque des forêts

Le masque forêt est issu du domaine de la forêt fermée de la BD Forêt V2. En 2015, la BD Forêt V2 couvre près des 2/3 du territoire métropolitain (61 départements réalisés sur 96). L'existence, d'une cartographie des formations forestières d'une telle ampleur, a logiquement conduit à intégrer cette donnée très en amont dans le processus de réalisation de la pré-cartographie CarHAB. La carte forestière est donc utilisée dans un premier temps en tant que masque et permet de simplifier la segmentation de base (suppression des polygones de la segmentation compris dans les polygones de la carte forestière). Cette étape est d'autant plus importante que les forêts présentent une très forte hétérogénéité de surface (succession de houppiers, d'ombres...). Cela engendre un découpage très important de l'orthophoto par le processus de segmentation utilisé dans CarHAB, y compris au niveau le plus grossier (niveau 1).

Les espaces décrits par la BD Forêt V2 sont essentiellement les espaces naturels et semi-naturels : forêts fermées ; forêts ouvertes ; peupleraies ; landes (maquis, garrigues...) ; formations herbacées (pelouses alpines, pelouses pastorales...). Les objets présents dans la base sont définis par une surface supérieure ou égale à 5 000 m² (50 ares), selon les seuils suivants :

- exclusion des surfaces dont l'utilisation du sol est exclusivement agricole ;
- largeur de l'objet d'au moins 20 mètres ;
- taux de couvert de la végétation (arbustive et arborée) supérieur ou égal à 10 %.

Ces seuils proviennent de la définition internationale de la forêt, en vigueur à l'heure actuelle (source FAO 2004, Global forest resources assessment update 2005: Terms and definitions. FRA working paper 83/E, FAO, Rome.).

La discrimination des essences présentes en forêt se fait ensuite selon les règles suivantes :

- trois classes de taux de couvert des arbres capables d'atteindre une hauteur supérieure à 5 mètres à maturité *in-situ* : inférieur à 10 % (non forêt), entre 10 et 40 % (forêt ouverte), supérieur ou égal à 40 % (forêt fermée) ;
- un seuil de 75 % de couvert des arbres ayant accès à la lumière pour distinguer un peuplement en composition pure ou en essence pure.

Une description précise des postes de légende de la BD Forêt V2 est disponible dans le « Descriptif de contenu de la BD Forêt V2 » sur le site de l'IGN :

(http://professionnels.ign.fr/sites/default/files/DC_BDFORET_v2.pdf).

Principes de réalisation de la BD Forêt V2 :

La première étape de réalisation de la BD Forêt V2 s'appuie sur l'utilisation de la BD ORTHO® en infrarouge fausses couleurs et est commune à la production du thème végétation de la BD TOPO®. Il s'agit d'une phase semi-automatique qui utilise notamment des outils d'analyse d'images et qui se base sur la segmentation IGN. C'est lors de cette première étape, que sont saisies, à partir des photos aériennes, les limites de la forêt et des landes. De même sont saisis les autres éléments

arborés constitutifs de la couche végétation de la BD TOPO[®] : les bosquets (appelés bois dans la nomenclature BD TOPO[®]), les haies et les vergers. Ces éléments arborés ne sont pas pris en compte dans la suite du processus de réalisation de la BD Forêt V2, qui ne s'intéresse à l'espace forestier qu'au sens de la définition internationale de la forêt. Ils seront néanmoins extraits de la BD TOPO[®], pour une réutilisation dans le cadre de la production cartographique CarHAB (couche « Haies »)

La deuxième étape permet d'affiner et de préciser l'information (re-précision de tracés en conformité avec les définitions, distinction des essences) par photo-interprétation. La création de ces couches d'informations repose donc sur l'interprétation de photographies aériennes infrarouges d'une résolution de 50 centimètres. Les statistiques de l'inventaire forestier ainsi que des vérifications terrain améliorent la fiabilité et la qualité globale de la base de données.

Le produit final est mis en cohérence avec les réseaux routiers, hydrographiques et ferrés de la BD TOPO[®] (limite ajustée à l'axe des réseaux). Cette démarche a fait l'objet d'une attention particulière dans le cadre de CarHAB, notamment en lien avec le programme OCS GE de l'IGN.

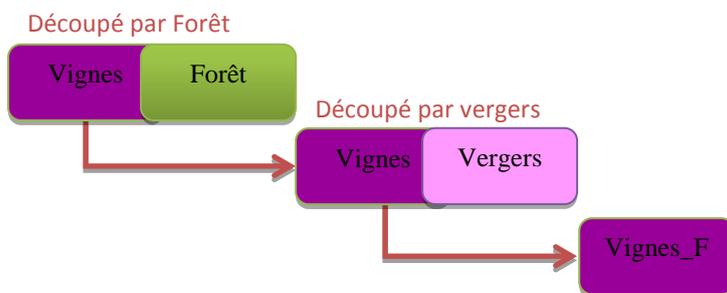
Le descriptif de contenu de la BD Forêt V2 aborde notamment les questions de sémantique, de référentiels cartographiques et d'attribut.

2. Traitements de la segmentation et des masques

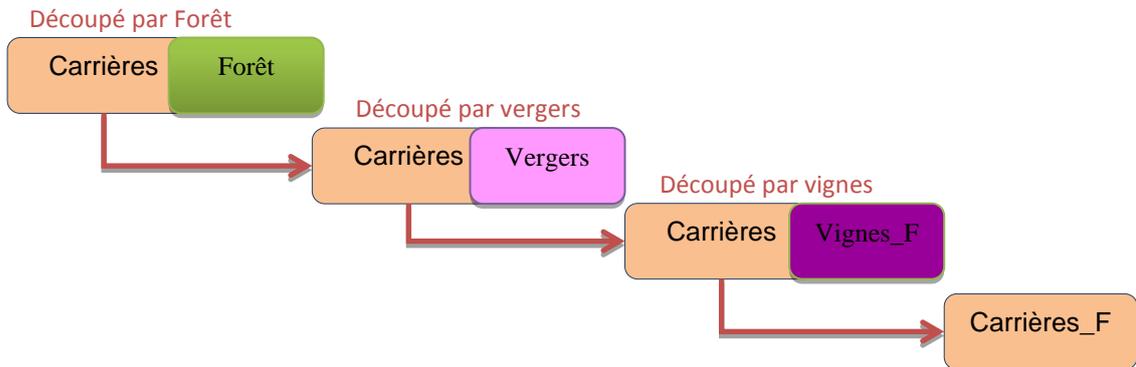
De façon à assurer la cohérence entre les contours de la segmentation et les différents masques ainsi que la cohérence topologique entre les masques, différents traitements sont réalisés.

Ces traitements consistent notamment en un découpage des couches les unes par rapport aux autres. Ainsi, tous les masques (bâti, forêt, vergers et vignes) sont découpés par le masque des infrastructures de transport (routes et voies ferrées) et par les surfaces en eau. Les autres traitements pour chacun des masques se déroulent de la façon suivante :

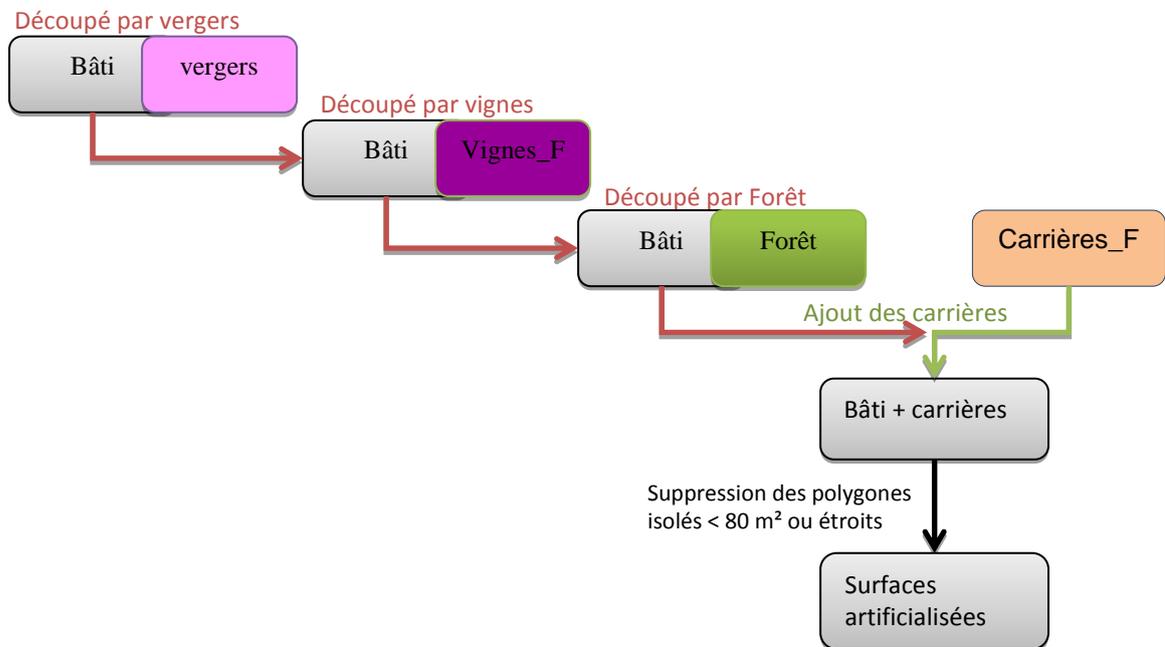
Masque vigne :



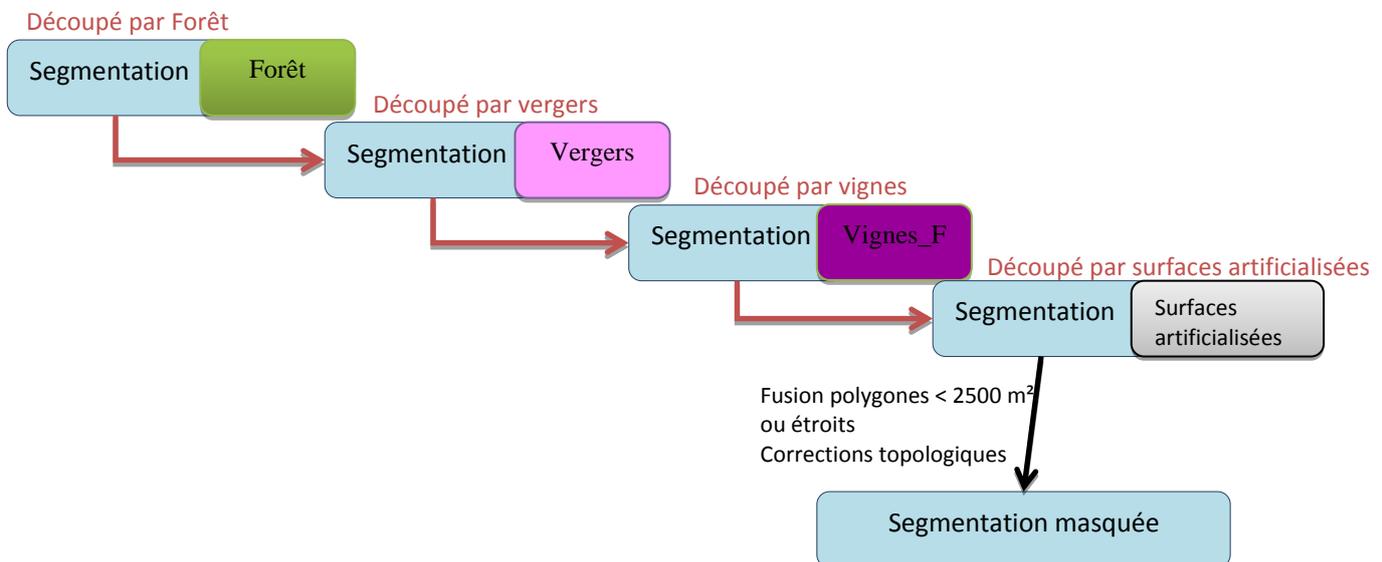
Préparation des carrières :



Masque bâti :



Segmentation :



Le processus de découpage de la segmentation par les masques privilégie les données obtenues par photo-interprétation par rapport aux données issues de traitements automatiques.

Suite à l'ensemble des traitements, la segmentation masquée est envoyée aux organismes assurant la qualification des polygones (segments) par télédétection. Elle sera ensuite assemblée avec la forêt issue du fond forestier et les surfaces en eau pour constituer le fond physiologique.

3. Assemblage du fond physiologique

Après l'étape de télédétection, les milieux ouverts sont assemblés avec les masques des forêts fermées et les surfaces en eau. Quelques post-traitements supplémentaires sont effectués à cette étape :

- Les surfaces d'eau (hors bassin) d'une superficie inférieure à 2 500 m² sont ponctualisées, les polygones sont fusionnés avec le voisin avec lequel ils partagent la plus grande frontière dans le fond physiologique. La couche de ponctuels ainsi créée contient toutes les surfaces en eau hors bassin de moins de 2 500 m². Les informations sémantiques de la couche de ponctuels renseignent le régime des eaux (permanent ou intermittent) et la superficie de la surface d'eau correspondant au polygone d'origine.
- Les surfaces d'eau correspondant à des bassins (bassin de rétention, d'épuration, pisciculture...) sont basculées dans la couche des surfaces artificialisées.
- Les polygones de segmentation classés dans la catégorie « artificialisés » par le processus de la classification automatique des milieux ouverts sont basculés dans la couche surface artificialisée (cela se produit lorsque des bâtiments ne sont pas présents dans la BD Topo).

À noter : les polygones voisins qualifiés de manière identique ne sont pas fusionnés sauf dans le cas de la forêt fermée. Ce choix a été retenu afin d'accélérer le processus de cartographie dans la mesure où il est plus simple de fusionner des polygones existant pour obtenir le contour d'une UVC que de découper un polygone. Ceci est particulièrement vrai lors de la phase de cartographie *in situ*.

Au final, 4 couches d'information sont diffusées sur le portail CarHAB :

- le fond physiologique ou pré-cartographie CarHAB ;
- la couche départementale des surfaces artificialisées ;
- la couche départementale des voies de communication (routes et voies ferrées) ;
- une couche départementale d'information ponctuelle contenant les points des surfaces d'eau de moins de 2 500 m².

Annexe 1 : Spécifications de l'ossature de l'OCS GE

Pour les tronçons routiers, les critères de « buffer » sont les suivants:

Critère	Taille du « buffer » (en mètres)
Largeur de chaussée supérieure à 5 mètres	Largeur/2 + 1
Largeur de chaussée inférieure à 5 mètres et nombre de voies supérieur ou égale à 2	Nombre de voies x 1,75
Largeur de chaussée inférieure à 5 mètres et nombre de voies non renseigné	2,5

Pour les tronçons ferrés, les critères de « buffer » sont les suivants :

Critère	Taille du « buffer » (en mètres)
1 voie	3,5
2 voies	5,5
3 voies	8,5
4 voies	10,5
Nombre de voies non indiqué	2,5

(les critères ont été évalués en fonction des normes RFF d'éloignement des voies)

A2	Le fond physiologique des milieux forestiers
Rédacteur :	Pierre-Marie Le-Hénaff, Loïc Commagnac, Bénédicte Maisonneuve
Contact :	loic.commagnac@ign.fr ; benedicte.maisonneuve@ign.fr ; pierre-marie.lehenaff@cbnmc.fr

La réalisation du fond physiologique des milieux forestiers a pour base la BD Forêt® V2, spécifiquement enrichie pour les besoins du projet. Cet enrichissement est différent en fonction de la zone biogéographique dans laquelle se situe le département considéré. La nomenclature retenue pour la pré-cartographie des milieux forestiers en zone non méditerranéenne est présentée en annexe 1. En zone biogéographique méditerranéenne, cet enrichissement s'applique aux domaines de la forêt fermée et à celui de la forêt ouverte. Les spécifications du fond physiologique des milieux forestiers méditerranéens sont identiques à celles utilisées en zones non méditerranéennes excepté pour la liste des essences recherchées (annexe 2).

La définition de la forêt retenue pour le fond physiologique des milieux forestiers, est celle donnée par la FAO, *“terres occupant une superficie de plus de 0,5 hectares avec des arbres atteignant une hauteur supérieure à 5 mètres et un couvert arboré de plus de 10 %, ou avec des arbres capables d'atteindre ces seuils in situ. La définition exclut les terres à vocation agricole ou urbaine prédominante.”*. Il n'y a donc aucune approche flore et végétation forestière dans cette définition qui est purement physiologique. Par ailleurs d'autres seuils physiologiques sont utilisés pour affiner la typologie : seuil de 40 % de couvert absolu (pour les définitions des couverts, voir <http://inventaire-forestier.ign.fr/spip/spip.php?article593>) des arbres qui sépare la forêt ouverte et la forêt fermée ; le seuil de 75 % de couvert libre relatif des arbres détermine la notion de pureté d'un peuplement selon sa composition ou son essence.

La BD Forêt® V2 est produite en deux étapes. La première vise à séparer dans les espaces forestiers et les milieux semi-naturels la forêt, au sens de la définition FAO ci-dessus, des autres terres boisées (landes, vergers, haies, bosquets, arbres épars). Cette étape est basée sur une segmentation automatique de la BD ORTHO® IRC proche de celle décrite dans la fiche A1. La classification des espaces forestiers et des milieux semi-naturels est réalisée par photo-interprétation. À la suite de cette première étape, un enrichissement est réalisé dans les zones de forêt, ces dernières sont découpées et renseignées en fonction de la composition des peuplements. Cet enrichissement est également réalisé par photo-interprétation.

La production du fond forestier s'appuyant sur la BD Forêt® V2 et ses processus de production, le lecteur pourra utilement se reporter au document « Descriptif de contenu de la BD Forêt® V2 » pour des informations complémentaires, notamment pour les définition des landes et des vergers (ce document est disponible en ligne, à l'adresse suivante : http://professionnels.ign.fr/sites/default/files/DC_BDForet_2-0.pdf). Des informations concernant les haies, les bosquets et les arbres épars peuvent être trouvées dans le document « Descriptif de contenu de la BD TOPO® » (également disponible sur le site de l'IGN à l'adresse : http://professionnels.ign.fr/sites/default/files/DC_BDTopo_2-2.pdf), en effet, ces objets, bien que produits lors de l'étape 1 de la production de la BD Forêt®, alimentent le thème végétation de la BD Topo®.

En ce qui concerne la couverture forestière française, il faut ici rappeler l'importance de la gestion sylvicole des siècles passés sur la physionomie actuelle des peuplements forestiers. Cette classification physionomique des forêts est très éloignée de celle du phytosociologue forestier. « *Il faut insister sur les risques qui existent toujours dans l'interprétation d'une forêt de confondre l'état actuel avec la véritable végétation potentielle ou de rechercher d'hypothétiques relations entre le peuplement actuel et les facteurs stationnels en ignorant totalement la dimension anthropique du milieu. L'analyse phytosociologique doit absolument intégrer ces réalités dynamiques : tout groupement forestier défini est à resituer dans le contexte dynamique et anthropique. Il en va de la crédibilité scientifique du phytosociologue* » (Rameau, 1996). Pour illustrer le propos, soulignons, par exemple, que les chênaies emblématiques de la forêt de Tronçais dans l'Allier devraient être des hêtraies-chênaies s'il n'y avait pas eu intervention de l'Homme. Un autre exemple dans le Massif central, est l'alternance classique sur les versants des sapinières pures utilisées pour la production de bois d'œuvre, et des hêtraies pures utilisées pour la production de bois de chauffage. Alors même que la potentialité de la zone est celle de la hêtraie-sapinière. Ces sylvofaciès, très aisés à distinguer dans le paysage pour qui connaît leur déterminisme, représentent donc de simple faciès artificiel d'une même potentialité forestière, et s'inscrivent ainsi dans la même association végétale et dans la même série de végétation. Il n'est donc pas évident à première vue de faire le lien entre la pré-cartographie des milieux forestiers de l'IGN et une carte écologique basée sur la classification phytosociologique des végétations. Toutefois, il est possible d'établir des correspondances entre les types physionomiques de la pré-cartographie forestière de l'IGN et les associations phytosociologiques (annexe 3).

Annexe 1 : Postes de la légende de la pré-cartographie forestière en zone non méditerranéenne

TFV¹	Libellé	Seuil (ha)
FF0	Jeune peuplement ou coupe rase ou incident	≥ 0,5
FF1G01-01	Chênes décidus purs	≥ 0,5
FF1G06-06	Chênes sempervirents purs	≥ 0,5
FF1-09-09	Hêtre pur	≥ 0,5
FF1-10-10	Châtaignier pur	≥ 0,5
FF1-12-12	Bouleau pur	≥ 0,5
FF1-14-14	Robinier pur	≥ 0,5
FF1-25-25	Saules pur	≥ 0,5
FF1-13-13	Aulnes pur	≥ 0,5
FF1-49-49	Autre feuillu pur	≥ 0,5
FF1G01-09	Mélange chênes prépondérants et hêtre	≥ 0,5
FF1-09G01	Mélange hêtre prépondérant et chênes	≥ 0,5
FF1-00-00	Mélange de feuillus autre que...	≥ 0,5
FF2-00	Conifères purs en îlots	de 0,5 à 2
FF2-51-51	Pin maritime pur	≥ 2
FF2-52-52	Pin sylvestre pur	≥ 2
FF2G53-53	Pin laricio ou pin noir pur	≥ 2
FF2-57-57	Pin d'Alep pur	≥ 2
FF2G58-58	Pin à crochets ou pin cembro pur	≥ 2
FF2-81-81	Autre pin pur	≥ 2
FF2-80-80	Mélange de pins purs	≥ 2
FF2-61-61	Sapin pur	≥ 2
FF2-62-62	épicéa pur	≥ 2
FF2-61-62	Mélange de sapin prépondérant et épicéa	≥ 2
FF2-62-61	Mélange d'épicéa prépondérant et sapin	≥ 2
FF2-63-63	Mélèze pur	≥ 2

FF2-64-64	Douglas pur	≥ 2
FF2-91-91	Autre conifère pur autre que pin, sapin, épicéa, douglas ou mélèze	≥ 2
FF2-90-90	Mélange d'autres conifères autres que pins	≥ 2
FF2-00-00	Mélange de conifères	≥ 2
FF31-00	Feuillu(s) prépondérant(s) en îlot	de 0,5 à 2
FF31-09-61	Mélange de hêtre prépondérant et sapin	≥ 2
FF31-00-00	Mélange de feuillus prépondérants et conifères autre que hêtre et sapin	≥ 2
FF32-00	Conifère(s) prépondérant(s) en îlot	de 0,5 à 2
FF32-61-09	Mélange de sapin prépondérant et hêtre	≥ 2
FF32-00-00	Mélange de conifères prépondérants et feuillus autre que sapin et hêtre	≥ 2
FO0	Forêt ouverte avec coupe rase ou incident	≥ 0,5
FO1	Forêt ouverte de feuillus purs	≥ 0,5
FO2	Forêt ouverte de conifères purs	≥ 0,5
FO3	Forêt ouverte à mélange de conifères et feuillus	≥ 0,5
FP	Peupleraie	≥ 0,5
LA4	Lande ligneuse	≥ 0,5
LA6	Formation herbacée	≥ 0,5

¹ TFV = Type de formation végétale

Pour cette zone biogéographique, l'enrichissement n'est appliqué qu'au domaine de la **forêt fermée**. Les différences de spécifications avec la BD Forêt® V2 sont présentées ci-dessous.

Distinction de nouvelles essences de feuillus et de mélanges spécifiques.

- Saules, aulnes, bouleaux ;
- Distinction du sapin et de l'épicéa (réunis dans un seul poste de légende dans la BD Forêt) ;
- Distinction des mélanges de chênes – hêtre, hêtre – sapin ;
il est rappelé que la détermination du type de peuplement s'apprécie par photo-interprétation. Les peuplements mélangés s'analysent donc à partir des arbres qui ont accès à la lumière (visibles sur l'image). Le peuplement dominé n'entre pas dans l'analyse de la codification. Dans un peuplement de chênaie-hêtraie, seuls les hêtres ayant accès à la lumière entrent dans le calcul du pourcentage de couvert. Pour qu'un peuplement soit qualifié en mélange, il faut que chaque essence présente un taux de couvert libre relatif (pour la définition, voir « couvert libre relatif » à l'adresse <http://inventaire-forestier.ign.fr/spip/spip.php?article593>) de plus de 25 %.

Modification des seuils.

Les peuplements de feuillus purs sont discriminés à partir de 0,5 ha (au lieu de 2 ha dans la BD Forêt), en îlot ou dans les massifs de plus de 2 ha. NB : Dans les massifs, le seuil de distinction des conifères purs ou en mélange reste fixé à 2 ha. Tous les autres seuils restent également inchangés.

Les peuplements de conifères sont codés selon leur naturalité, peuplement d'origine naturelle, d'origine artificielle ou peuplement mixte (donnée ORI = origine du peuplement).

- 1 = naturel : la surface d'origine naturelle est supérieure ou égale à 75 % de la surface de la face
- 2 = artificiel : la surface d'origine artificielle (plantation) est supérieure ou égale à 75 % de la surface de la face
- 3 = mixte : tous les autres cas

Il n'y a pas de création de limite pour l'origine du peuplement. Une face homogène en type de peuplement peut avoir une origine mixte même si une limite est nettement visible entre une partie artificielle et une autre partie naturelle.

Annexe 2 : Postes de la légende de la pré-cartographie forestière en zone méditerranéenne

TFV¹	Libellé	Seuil (ha)
Peuplements de feuillus purs en forêt fermée		
FF0	Jeune peuplement ou coupe rase ou incident	≥ 0,5
FF1G01-01	Chênes décidus purs	≥ 0,5
FF1-06-06	Chêne vert pur	≥ 0,5
FF1-08-08	Chêne liège pur	≥ 0,5
FF1-10-10	Châtaigner pur	≥ 0,5
FF1-09-09	Hêtre pur	≥ 0,5
FF1-14-14	Robinier pur	≥ 0,5
FF1-40-40	Arbousier pur	≥ 0,5
FF1-12-12	Bouleau pur	≥ 0,5
FF1-25-25	Saules pur	≥ 0,5
FF1-37-37	Aulnes pur	≥ 0,5
FF1-49-49	Autre feuillu pur	≥ 0,5
FF1-28-28	Olivier pur	≥ 0,5
FF1-29-29	Mimosa pur	≥ 0,5
FF1-32-32	Charme houblon pur	≥ 0,5
FF1-49T-49T	Tamaris pur	≥ 0,5
FF1-36-36	Eucalyptus pur	≥ 0,5
FF1-06M05	Mélange chêne vert et chêne pubescent	≥ 0,5
FF1-10-00	Mélange châtaigner prépondérant et autres feuillus	≥ 0,5
FF1G01-09	Mélange chênes décidus prépondérants et hêtre	≥ 0,5
FF1-09G01	Mélange hêtre prépondérant et chênes décidus	≥ 0,5
FF1-00-00	Autres Feuillus mélangés	≥ 0,5

Peuplements de conifères purs en forêt fermée		
FF2-00	Forêt de conifères en îlot	de 0,5 à 2
FF2-51-51	Pin maritime pur	≥ 2
FF2-57-57	Pin Alep pur	≥ 2
FF2-52-52	Pin sylvestre pur	≥ 2
FF2G58-58	Pin à crochets pur ou pin cembro pur ou en mélange	≥ 2
FF2G53-53	Pin laricio pur ou pin noir pur ou en mélange	≥ 2
FF2-55-55	Pin pignon pur	≥ 2
FF2-81-81	Autre pin pur	≥ 2
FF2-80-80	Mélange de pins purs	≥ 2
FF2-61-61	Sapin pur	≥ 2
FF2-62-62	Épicéa pur	≥ 2
FF2-61-62	Mélange de sapin prépondérant et épicéa	≥ 2
FF2-62-61	Mélange d'épicéa prépondérant et sapin	≥ 2
FF2-63-63	Mélèze pur	≥ 2
FF2-64-64	Douglas pur	≥ 2
FF2-65-65	Cèdre pur	≥ 2
FF2-91-91	Autre conifère pur	≥ 2
FF2-90-90	Mélange autres conifères	≥ 2
FF2-00-00	Mélange de plusieurs conifères y compris pins	≥ 2
Peuplements mixtes en forêt fermée		
FF31-00	Feuillu(s) prépondérant(s) en îlot	de 0,5 à 2
FF31-06-80	Mélange de chêne vert prépondérant et pins	≥ 2
FF31-08-80	Mélange de chêne liège prépondérant et pins	≥ 2
FF31G01-80	Mélange de chêne décidus prépondérant et pins	≥ 2

FF31-09-80	Mélange de hêtre prépondérant et pins	≥ 2
FF31-09-61	Mélange de hêtre prépondérant et sapin	≥ 2
FF31-00-00	Autres Feuillus prépondérants	≥ 2
FF32-00	Conifère(s) prépondérant(s) en îlot	≥ 2
FF32-57-00	Mélange de pin d'Alep et feuillus	≥ 2
FF32-80-00	Mélange de pins prépondérants et feuillus	≥ 2
FF32-61-09	Mélange de sapin prépondérant et hêtre	≥ 2
FF32-90-00	Mélange d'autres conifères (autres que pins) prépondérants et feuillus autre que sapin et hêtre	≥ 2
FF32-00-00	Mélange conifères prépondérants et feuillus	≥ 2
Peuplements de feuillus purs en forêt ouverte		
FO0	Forêt ouverte suite à incident ou déboisement	≥ 0,5
FO1-00	Feuillu(s) pur(s) en îlot	de 0,5 à 2
FO1G01-01	Chêne decidus pur	≥ 2
FO1-08-08	Chêne-liège pur	≥ 2
FO1-06-06	Chêne vert pur	≥ 2
FO1A06-06	Chênes sempervirents en mélanges	≥ 2
FO1-40-40	Arbousier pur	≥ 2
FO1-49T-49T	Tamaris pur	≥ 2
FO1-10-10	Châtaignier pur	≥ 2
FO1-09-09	Hêtre pur	≥ 2
FO1-28-28	Olivier pur	≥ 2
FO1G23-23	Sorbier et érable sycomore purs ou en mélange	≥ 2
FO1-49-49	Autre feuillu pur	≥ 2
FO1-00-00	Autre mélange de feuillus	≥ 2
Peuplements de conifères purs en forêt ouverte		
FO2-00	Conifère(s) pur(s) en îlot	de 0,5 à 2

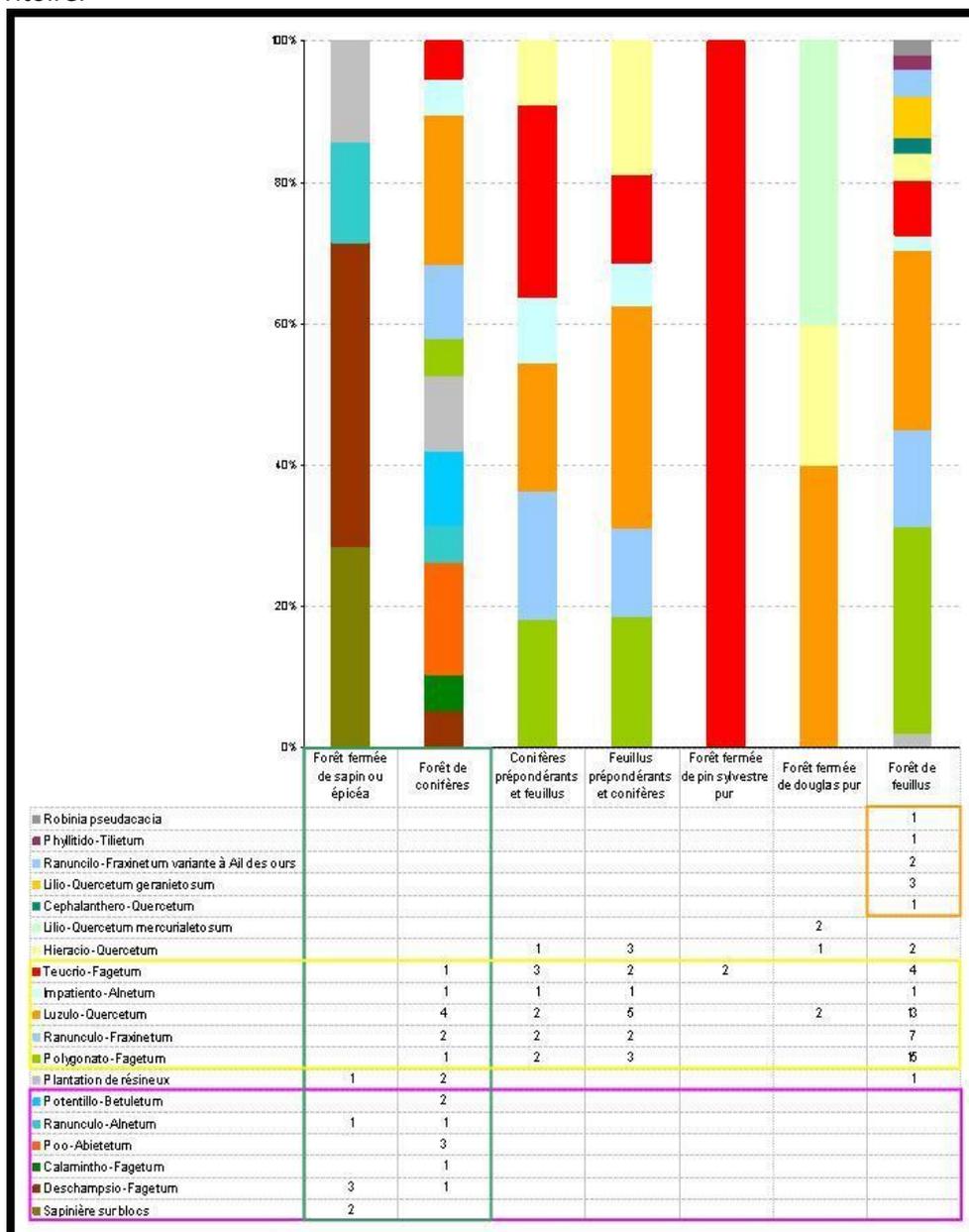
FO2-55-55	Pin pignon (pin parasol) pur	≥ 2
FO2-52-52	Pin sylvestre pur	≥ 2
FO2-81-81	Autre pin pur	≥ 2
FO2-80-80	Mélange de pins purs	≥ 2
FO2-69-69	Junipérais	≥ 2
FO2-53-53	Pin laricio (ou Pin noir)	≥ 2
FO2-51-51	Pin maritime	≥ 2
FO2-91-91	Autre conifère pur	≥ 2
FO2-90-90	Mélange de conifères autres que pins	≥ 2
FO2-00-00	Mélange de plusieurs conifères y compris pins	≥ 2
Peuplements mixtes en forêt ouverte		
FO31-00	Mélange de feuillus et conifères en îlot	de 0,5 à 2
FO31-06-69	Mélange chêne vert prépondérant et genévriers	≥ 2
FO31-00-90	Mélange d'autres feuillus prépondérants et conifères (y compris pins)	≥ 2
FO32-00	Mélange de conifères et feuillus en îlot	de 0,5 à 2
FO32-69-06	Mélange de genévriers prépondérant et chêne vert	≥ 2
FO32-90-00	Mélange d'autres conifères (y compris pins) prépondérants et feuillus	≥ 2
Peupleraie		
FP	Peupleraie	≥ 0,5
Landes et formations herbacées		
LA4	Lande	≥ 0,5
LA6	Formation herbacée	≥ 0,5

¹ TFV = Type de formation végétale

En zone biogéographique méditerranéenne, l'enrichissement est appliqué aux domaines de la forêt fermée et de la forêt ouverte. Les spécifications du fond physiognomique des milieux forestiers méditerranéens sont identiques à celles utilisées en zones non méditerranéennes excepté pour la liste des essences recherchées.

Annexe 3 : Diagramme de la variabilité phytosociologique couverte par chacun des types physiologiques du fond forestier

Afin d'étudier les possibilités d'utilisation du fond forestier dans le cadre de CarHAB, des tests ont été conduits par le CBNMC sur le PNR du Livradois-Forez lors de la cartographie de ce territoire. Le diagramme ci-dessous montre, pour chaque poste typologique de la pré-cartographie forestière présent sur le Massif du Livradois, la part respective des différentes associations végétales présentes sur ce territoire.



Correspondance entre les types physiologiques de la pré-cartographie forestière et les associations phytosociologiques présentes sur les vallons étudiés dans le Massif du Livradois (département du Puy-de-Dôme (63)). Les chiffres représentent les nombres d'occurrence (donnée qualitative). L'histogramme reprend le code couleur utilisé pour chaque association phytosociologique dans la première colonne. Il représente le recouvrement de chaque association dans les polygones étudiés pour chaque type physiologique (donnée quantitative). *in Paradis 2014.*

Si la première lecture de ce diagramme montre bien la variabilité phytosociologique couverte par chacun des types physiologiques de la carte forestière, il ressort néanmoins de ces premiers tests des pistes intéressantes. Si les associations collinéennes (encadré jaune) sortent dans tous les postes nomenclatureaux, on notera que les associations montagnardes (encadré rose) sortent dans seulement 2 postes nomenclatureaux du fond physiologique forestier, qui sont dominés par les conifères, et que les associations du collinéen inférieur (encadré orange) sortent dans un seul poste nomenclatural, dominé par les feuillus. Il est donc important pour chaque hydroécotone (HER) d'essayer de valoriser au maximum ce fond physiologique forestier, notamment à travers le croisement avec le fond écologique. Une bonne connaissance du territoire et du déterminisme écologique des différentes associations forestières présentes, ainsi que l'utilisation du fond écologique, permettent un traitement très pertinent de la carte forestière (renseignement de la série et de la cellule paysagère concernée).

A3	Le fond physiologique des milieux ouverts
Rédacteurs :	Vincent Thierion, Samuel Alleaume
Contacts :	samuel.alleaume@teledetection.fr

Dans le cadre de CarHAB, les milieux ouverts naturels et semi-naturels sont définis en opposition aux milieux forestiers ou artificialisés. Ils sont séparés en deux catégories :

- milieux ouverts de basse altitude ou de plaine (MOBA) ;
- milieux ouverts d'altitude (MOAL).

La séparation de ces deux catégories de milieux est délicate. En effet, un simple seuil altitudinal ne permet pas une distinction précise d'un point de vue écologique. Le contexte topo-climatique local et la position latitudinale du massif montagnard influence fortement cette limite altitudinale théorique et par extension les dynamiques écologiques et anthropiques. Globalement, les milieux ouverts de basse altitude incluent les étages de plaine et collinéen, alors que les milieux ouverts d'altitude correspondent aux étages montagnards, dans sa partie haute, subalpin, alpin et nival. En d'autres termes, la limite supraforestière, ou timberline, peut faire office de ligne de démarcation, bien que son tracé soit bien souvent théorique. Finalement, les caractéristiques du parcellaire cadastral (taille et forme) peuvent permettre cette délimitation. La densité spatiale du parcellaire étant plus importante en milieu collinéen (parcelles de petite taille) que pour les étages supérieurs (parcelles longitudinales traversant l'ensemble des étages d'altitude). Dans le cadre des développements méthodologiques de production du fond physiologique des milieux ouverts, cette séparation a été définie manuellement par photo-interprétation, en prenant en compte les paramètres cités précédemment ainsi que la position géographique de la forêt fermée qui ceinture couramment les massifs montagnards. Finalement, en milieux de plaine, la végétation naturelle et semi-naturelle est dominée par des faciès de prairie. À l'inverse, les pelouses alpines constituent le faciès majoritaire des milieux ouverts d'altitude dont le cycle phénologique est raccourci par des facteurs climatiques plus extrêmes.

1. Nomenclature

La nomenclature utilisée doit rendre compte à la fois du besoin des utilisateurs, en l'occurrence les phytosociologues des Conservatoires botaniques nationaux et des organismes en charge de la cartographie de la végétation, mais aussi des capacités et des limites de l'outil de télédétection. Par conséquent, la construction de la nomenclature s'établit selon un dialogue constant entre les producteurs des fonds et les utilisateurs.

Il s'agit d'une nomenclature purement physiologique dans la mesure où la végétation est décrite en termes de structure et de production chlorophyllienne. Cette nomenclature est suffisamment généraliste pour qu'elle puisse s'adapter à tous les types de formations végétales, quelle que soit la zone phytogéographique étudiée. Il est donc important de décrire la ou les végétation(s) incluse(s) dans chaque type physiologique sous la forme d'une notice fournie avec la carte, une mise en correspondance avec les types de la cartographie finale (phytosociologique) est un plus, bien que complexe et parfois équivoque

Tableau 1 : Typologie du fond physiologique des milieux ouverts

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Eau	Surface en eau (BD Topo® IGN)	
Minéral	Sol nu – Eboulis stérile Herbacé-minéral	Paroi (végétalisée ou non) Eboulis stérile ou végétalisé Chaos de blocs
Herbacée	Herbacée à phytomasse faible Herbacée à phytomasse moyenne Herbacée à phytomasse forte	Prairie permanente et temporaire fauchée et paturée Hydromorphie et Trophie
Ligneux bas <5m	Ligneux bas rocaillieux Ligneux bas mixte Ligneux bas dense Fourré – Fructicée	
Ligneux haut	Forêt lâche	
Culture	Culture	

Cette typologie se décline en trois niveaux (tableau 1). Le niveau 1 correspond aux grands ensembles physiologiques des milieux naturels. Excepté l'eau et les milieux à dominante minérale, il correspond à la stratification verticale de la végétation, de la strate herbacée à la strate arborée. Le type "Herbacée" correspond à une surface enherbée plus ou moins permanente composée principalement de graminées. Ce type est généralement représenté par des prairies ou des pelouses. À la différence de la strate herbacée des écologues, qui n'inclut que des faciès à dominante herbacée, en milieu d'altitude, certains objets peuvent inclure des landes basses à éricacées résiduelles (strate arbustive basse). En altitude, le type "Ligneux bas" concerne majoritairement des landes basses à éricacées dont le recouvrement horizontal est souvent très important dans les milieux à forte déprise anthropique. En plaine, ce type physiologique inclut principalement des végétations correspondant à la strate arbustive haute, plus proche de la physiologie d'un fourré ou d'une fructicée. Globalement, le type physiologique "Ligneux bas" se décline en différents niveaux de densité et différentes compositions, d'un faciès uniforme dense à un couvert ouvert plus ou moins minéralisé. En altitude, le fourré correspond généralement à des fourrés humides composés d'une strate arbustive dense souvent associée à une mégaphorbiaie. Le type "Forêt lâche" du niveau 2 est plus fréquemment rencontré dans les milieux d'altitude et correspond généralement à des pré-bois, des bosquets ou des arbres isolés à dominance résineuse en zone supra-forestière. Finalement, un type "Culture" complète cette typologie sans déclinaison au niveau 2.

2. La classification semi-automatique d'images satellitaires

À la différence de l'approche manuelle développée par l'IGN pour la cartographie de la physiologie des milieux forestiers, la physiologie de la végétation des milieux ouverts s'appuie sur des méthodes de classification supervisée ou expertisée. En effet, le caractère "mono-strate" de ces milieux garantit une bonne précision de leur détection à la différence des milieux forestiers. Cependant, un des inconvénients de l'approche par télédétection optique concerne la difficulté d'obtenir une vision d'ensemble d'un milieu naturel à une date donnée. En effet, à une date donnée, il est délicat d'appréhender précisément en tout point du paysage la maturité phénologique de la végétation. D'une espèce à l'autre ou d'un habitat à l'autre, cette maturité n'intervient pas au même moment. De la même façon, les pratiques liées aux activités humaines telles que le fauchage, le pâturage ou le labour sont conduites à différents moments de l'année. Ainsi, dans un souci d'exhaustivité et de détection du potentiel végétatif optimal, l'approche de détection doit s'appuyer sur jeu d'images satellitaires couvrant au mieux l'ensemble du cycle végétatif ou cultural. D'autre part, et pour compléter la détection des formations végétales dominantes (à savoir la physiologie),

le recours à une imagerie à Très Haute Résolution Spatiale (THRS) de milieu de saison végétative est apparu indispensable. Il en résulte l'organigramme méthodologique de la figure 1.

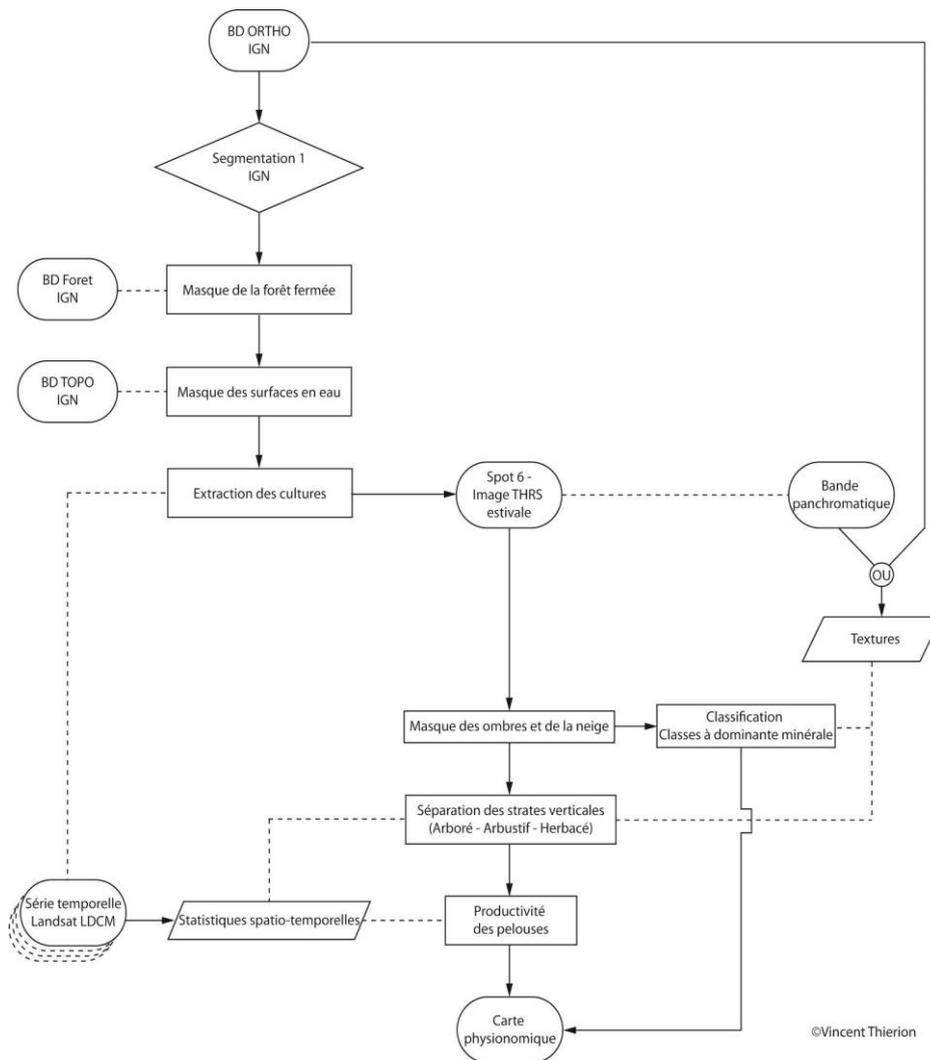


Figure 1 : Organigramme de la méthode de télédétection des milieux ouverts

Les limites géométriques des objets physiologiques sont déterminées grâce à la « Segmentation IGN » basée sur la BD ORTHO® IRC (fiche A1). Les faciès forestiers fermés, les surfaces en eau ainsi que les surfaces artificialisées sont masqués grâce à divers fonds thématiques. Il en résulte l'ensemble paysager des milieux ouverts dont l'ontologie de classification est décrite dans la figure 2.

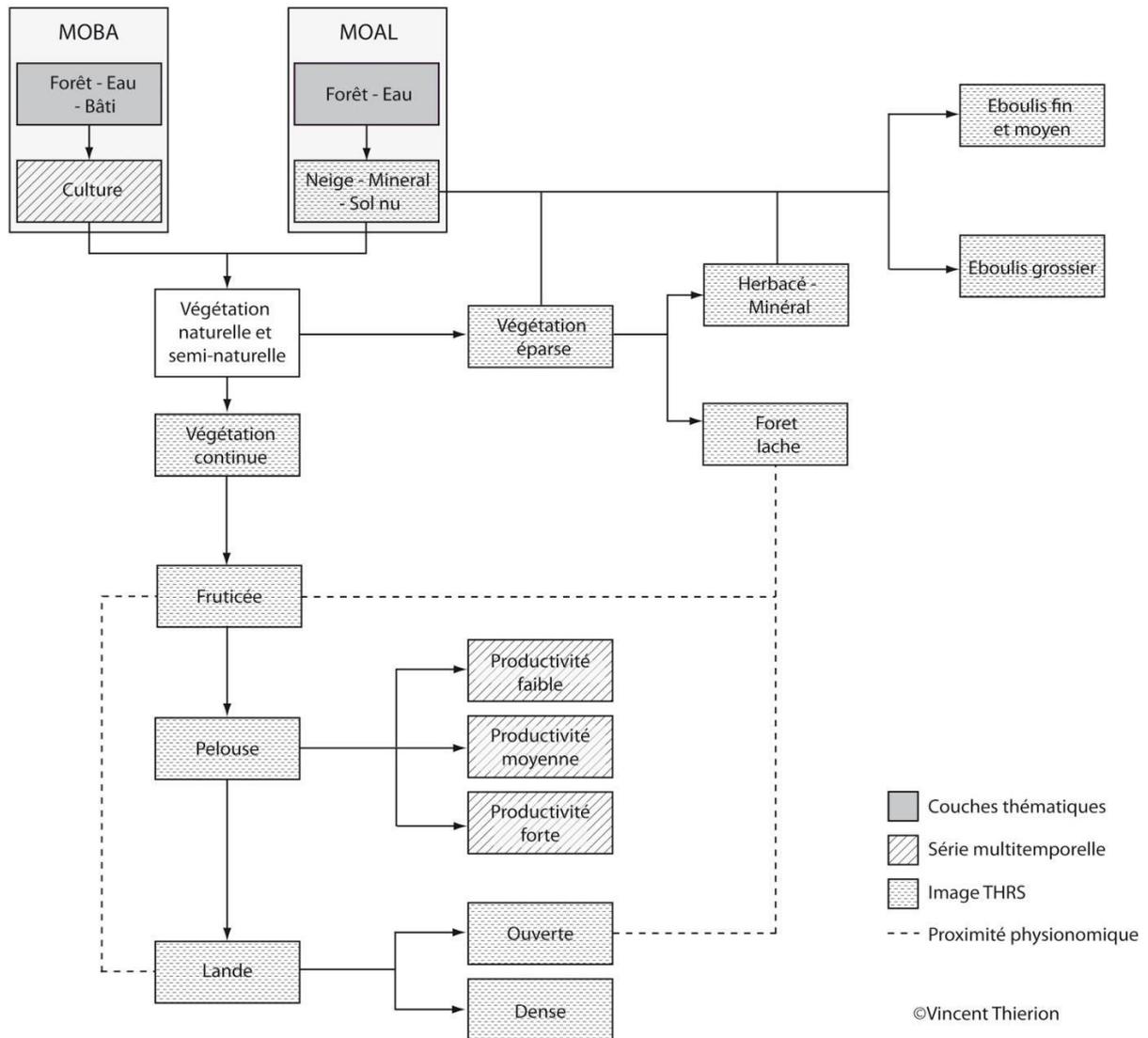


Figure 2 : Ontologie de classification et typologie physiologique des milieux ouverts d'altitude

Le recours à une ontologie de classification répond à un choix méthodologique fort. En effet, l'exigence de reproductibilité de la méthode de classification, afin de produire dans des délais opérationnels le fond physiologique sur l'ensemble des départements métropolitains, a orienté la réflexion (issue du groupe de travail « télédétection ») vers une méthode dite « expertisée ». Classiquement, la classification d'images satellitaires optiques s'appuie sur des méthodes supervisées, calibrées grâce à des profils spectraux d'objets au sol établis par photo-interprétation ou campagnes de terrain. Les algorithmes de classification varient suivant les caractéristiques et la proximité des types à discriminer (Maximum de vraisemblance, plus proche voisin, SVM, arbre de décision, etc.). Cependant, la capacité de réplcation de ces méthodes est faible et nécessite une calibration complète de l'algorithme pour chaque nouvelle zone d'étude.

L'intérêt de la méthode expertisée basée sur une ontologie telle que décrite dans la figure 2 réside dans sa relative adaptabilité à différents milieux naturels, du fait d'une part du caractère universel de la typologie utilisée et d'autre part de l'utilisation de règles binaires ou floues (théorie des ensembles flous) pour séparer ces types. D'un milieu naturel à l'autre, le télédécteur, voire à terme l'écologue, adapte les seuils spectraux proposés dans le modèle général (ontologie) pour cartographier rapidement et fidèlement la physiologie de la végétation. Cette approche est d'autant plus efficace

que le jeu d'images satellitaires utilisé couvre l'ensemble de la période végétative et dispose d'au moins une image à très haute résolution spatiale (inférieure à 2 m).

Dans l'approche méthodologique préconisée, les cultures sont d'abord isolées grâce à une analyse temporelle et un seuillage sur le minimum du NDVI (Indice de végétation par différence normalisé). Les milieux naturels et semi-naturels sont ensuite décomposés en extrayant progressivement les types les plus homogènes, tels que la neige, le minéral pur et l'ombre. Dans un second temps, et en particulier pour les milieux ouverts d'altitude, la végétation est séparée en deux types « abstraits » (au sens d'intermédiaire et n'apparaissant pas dans la typologie finale), la végétation continue et éparse. La notion d'éparse correspond à une hétérogénéité spectrale, et donc paysagère, du segment et à un recouvrement minéral proche de 50 %. Ce type de végétation est ensuite séparé en différents types de minéral tels que les éboulis, les chaos de blocs et les parois stériles ou végétalisées. La classe « forêt lâche » provient en partie de cette classe abstraite dans le cas où la sous-strate est à dominance minérale. En ce qui concerne la végétation continue, une mesure texturale permet de discriminer les faciès à dominante ligneuse des faciès herbacés. Finalement, une analyse temporelle de l'indice NDVI sur une saison végétative complète basée sur de l'imagerie à forte répétitivité (à l'heure actuelle Landsat 8, et par la suite la constellation Sentinelle 2, répond le mieux à cette exigence) permet de qualifier la productivité chlorophyllienne des milieux herbacés. Le seuillage spectral des profils de NDVI s'appuie principalement sur une approche empirique basée sur la connaissance *a priori* du milieu étudié. Si les productivités maximales correspondent généralement bien à des faciès à forte biomasse, tels que les ourlets, les mégaphorbiaies ou les prairies de fauche, et les productivités faibles à des pelouses rases moyennement ou faiblement recouvrantes (roche ou terre nue affleurante), les pelouses de productivité intermédiaire englobent un large éventail de pelouses ou de prairies limitant l'interprétation *ex-situ* du fond physiologique.

3. Échantillonnage physiologique spécifique aux besoins en télédétection : remobilisation de cartes existantes ou nouveaux relevés terrain.

La télédétection constitue une approche incontournable lorsqu'il s'agit de cartographier les végétations naturelles sur de vastes territoires. Les techniques de classification automatisées d'images nécessitent cependant d'avoir recours à des échantillons représentatifs des classes à cartographier. Ce besoin s'exprime à deux étapes de la classification d'image : en amont durant la phase de calibration et en aval pour la validation.

Le passage d'une observation de terrain vers une donnée exploitable en termes de classification d'image n'est pas toujours évident. L'expérience acquise par les producteurs du fond physiologique durant la phase test du programme CarHAB (2011-2014) a permis d'identifier plusieurs types de difficultés rencontrées face aux données de terrain :

- difficultés spatiales : données ponctuelles non compatibles avec les surfaces à cartographier, incohérences d'échelles entre les documents fournis et les exigences du programme CarHAB (1/25 000) ;
- difficultés temporelles : les cartographies fournies ne sont pas nécessairement récentes ou en cohérence avec les données satellites ;
- difficultés de nomenclature : les cartes ont été faites dans une typologie qui est difficile à retraduire dans la nomenclature physiologique.

Il est proposé de retenir une méthode d'harmonisation des acquisitions de terrain (annexe 1) afin qu'elles soient compatibles avec les méthodes de télédétection.

Annexe 1 : Méthode d'harmonisation des acquisitions de terrain en vue de la télédétection

Le protocole nécessite de bonnes compétences en géomatique (SIG), une bonne connaissance des données mobilisées et une expertise sur les nomenclatures utilisées pour les cartographies de la végétation. Il implique la contribution de deux acteurs différents dont les compétences sont complémentaires. À cette étape, la spécialisation en télédétection n'est pas requise. Les démarches spécifiques à suivre lorsqu'il s'agit de valoriser une carte de végétation préexistante ou de créer de nouveaux échantillons sont décrites ci-dessous sachant que le produit final attendu doit se présenter sous la même forme.

Les polygones de la carte du site échantillon doivent avoir les caractéristiques suivantes :

- être suffisamment homogènes : pour ce faire, ils se basent sur la segmentation de référence de l'IGN ;
- respecter une nomenclature préétablie ; c'est la nomenclature physiologique des niveaux 2 et 3 qui doit être utilisée ;
- être suffisamment représentatifs statistiquement pour permettre un bon apprentissage des algorithmes de classification, et idéalement au moins 20 échantillons par types nomenclaturaux existants doivent être générés ;
- être bien répartis dans l'espace de la zone d'étude pour représenter la variabilité spatiale de la zone, les polygones strictement voisins sont à éviter ;
- respecter l'échelle d'étude : les polygones devront avoir une surface supérieure à 0,5 hectares.

Les données nécessaires à la production du fond physiologique doivent se présenter sous la forme suivante :

Format couche SIG	shapefile (.shp)
Projection utilisée	Lambert 93
Nom du fichier	echant_physio_MOBA_AAMMJJ_zone. AAMMJJ : date de production, AA : Année, MM Mois, JJ Jour. Ex 130415 pour le 15 avril 2013 zone : site test ou numéro du département
Couche polygonale	issue du fichier segmentation renseigné dans une table attributaire structurée avec les « CHAMPS » suivants : dont : « ID_SEGMENT » identifiant unique numérique du segment « PHYSIO_NIVEAU1 » : qui prend les valeurs suivantes : eau ; minéral ; herbacée ; ligneux bas ; ligneux hauts « PHYSIO_NIVEAU2 » qui prend les valeurs suivantes : · éboulis ; sol nu ; roche, herbacé - minéral · la productivité des herbacées : herbacée à phytomasse faible ; herbacée à phytomasse moyenne ; herbacée à phytomasse forte · ligneux bas mixte ; ligneux bas dense ; ligneux bas rocailleux ; fourré – fructifiée « PRATIQUE », spécifique aux milieux ouverts de basse altitude qui se décline en deux valeurs : fauchée ; pâturée « HYDROMORPHIE » se décline en : hydromorphe ; mésomorphe ; xéromorphe

A. Remobilisation de cartes de végétation existantes

La valorisation des cartes de végétation préexistantes concerne uniquement les cartes déjà intégrées dans un SIG sous un format vectoriel. Cette méthode semble *a priori* plus rapide puisqu'il s'agit de mobiliser une carte de végétation déjà existante pour créer des sites d'entraînement compatibles avec l'étude en cours. Cependant, cette méthode nécessite plus de technicité en termes d'opérations géomatiques et de capacités d'expertise sur les nomenclatures utilisées en cartographies végétales.

De plus, cette méthode nécessite une phase de vérification car le document peut être désuet ou non approprié. La carte doit présenter les compatibilités suivantes :

- typologique : mettre en adéquation la typologie des objets avec la typologie physiologique définie en amont (traduire des codes Corine Biotopes en physiologie) ;
- échelle : le document cartographique exploité doit être d'un niveau d'échelle supérieure ou égale au 1/25 000ème (par ex. : 1/5 000ème ; 1/10 000ème ; 1/20 000ème ...) ;
- géométrique : la donnée doit être polygonale, et non ponctuelle ou linéaire. La carte doit être facilement transférable dans le système de projection de la carte de segmentation ;
- temporelle : la carte doit être en cohérence temporelle avec l'imagerie satellitaire supportant la classification au risque de se retrouver avec des changements d'occupation du sol ;

Après avoir contrôlé ces différentes compatibilités, l'opérateur doit suivre la démarche suivante :

- 1) Nettoyage de la carte d'origine. Pour ce faire, il faut préalablement sélectionner les habitats considérés comme non-complexes et de taille supérieure à 0,5 ha.
- 2) Transformation de la nomenclature d'origine vers la nouvelle nomenclature physiologique, éventuellement à l'aide d'une table de correspondance. Cette étape est primordiale et nécessite une bonne connaissance des nomenclatures utilisées par le fond physiologique.
- 3) Transformation géométrique éventuelle. Les objets voisins appartenant à une même classe de la nouvelle nomenclature sont fusionnés. De plus, la carte de végétation d'origine, peut subir une reprojexion dans le système de coordonnées planes utilisé par la segmentation IGN, c'est-à-dire en Lambert 93.
- 4) Transfert vers la segmentation de référence. Les descriptions retraduites des polygones de la carte d'origine doivent être retranscrites sur les polygones de la segmentation IGN. Cette opération consiste à réaliser une jointure spatiale dans un SIG.
- 5) Contrôle visuel du transfert. Le transfert vers la segmentation doit être absolument contrôlé *a posteriori*. Il s'agit d'une part de contrôler le passage d'une géométrie et de s'assurer que les types physiologiques sont encore d'actualité. Pour cette dernière étape, une validation par photo-interprétation doit être réalisée en utilisant les fonds orthophotographiques de l'IGN qui ont été utilisés pour la segmentation.
- 6) Contrôle de terrain. Une campagne de terrain peut être envisagée si nécessaire afin de compléter l'information notamment sur la phytomasse des herbacés, les pratiques anthropiques (pâturage, fauche) ou l'hydromorphie.

B. Création de nouveaux échantillons

Un échantillonnage bien conçu spécifiquement dans le but de créer des sites d'entraînement pour la télédétection est certainement plus efficace que toute récupération de description de terrain qui n'était pas destinée à cet objectif. Cette méthode est plus simple à mettre en place techniquement.

- 1) Visualisation dans un SIG. La segmentation vectorielle, comportant les polygones qui vont être sélectionnés, est superposée à l'orthophotographie de l'IGN. La couche de segmentation doit comporter une table attributive.
- 2) Choix de sites d'entraînement sur la base d'une photo-interprétation. Au moins 20 polygones par classe nomenclaturale sont sélectionnés et renseignés *a priori* dans la table attributive.
- 3) Contrôle de terrain. Une campagne de terrain doit être associée à la création des sites d'entraînement notamment afin de renseigner sur la productivité des herbacés, les pratiques anthropiques (pâturage, fauche) et l'hydromorphie.

Le couplage de cette méthode avec l'utilisation de cartes existantes est également une solution pour créer de nouveaux sites échantillons.

B1	Le fond environnemental
Rédacteurs :	Céline Sacca, Aurélien Fournier, Bernard Etlicher
Contacts :	celine.sacca@univ-st-etienne.fr

1. Les paramètres du fond environnemental

Le tableau ci-dessous récapitule l'ensemble des paramètres utilisés à ce jour pour la réalisation des fonds environnementaux déjà produits. Il se verra complété au fur et mesure de l'avancement de la production des fonds.

Les paramètres sont regroupés en 4 catégories selon leur nature topographique, climatique, édaphique et spécifique. Leur présentation est organisée selon la trame ci-dessous pour une plus grande lisibilité :

- Définition et description du paramètre ;
- Source et origine de la donnée ;
- Méthode de production s'il y a lieu ;
- Post-traitements s'il y a lieu par exemple seuillage, reclassement...

Paramètres topographiques	
Modèle Numérique de Terrain (MNT)	<ul style="list-style-type: none"> - Le Modèle Numérique de Terrain est une représentation de la topographie créée à partir des données d'altitude (courbes de niveau et points cotés d'altitude). À partir de ces données linéaires et ponctuelles, le MNT est généré par interpolation. - Le MNT utilisé ici est celui fourni par l'IGN à savoir la BD Alti à 25 m. Localement, pour plus de précision, il a parfois été fait appel au RGE (Référentiel Grande Échelle) de l'IGN à 5 m. Dans ce cas, un ré-échantillonnage à 10 m a permis de supprimer certains artefacts (digues, routes...) tout en offrant une précision supérieure à celle de la BD Alti. - Le MNT constitue ainsi une donnée fondamentale à partir de laquelle va être dérivé l'ensemble des paramètres topographiques.
Pentes	<ul style="list-style-type: none"> - La pente topographique correspond à l'inclinaison d'une surface par rapport à l'horizon. - Elle est calculée à partir du MNT à l'aide du logiciel ArcGIS. Le calcul se base sur la valeur d'altitude de chaque pixel et utilise les valeurs des huit pixels voisins pour définir la pente d'un pixel donné (Burrough & McDonell 1998). - Les valeurs de pentes peuvent être appréhendées comme une donnée continue ou discrète. Dans ce dernier cas, la discrétisation est faite en partenariat avec les CBN concernés. Exemple de discrétisation des valeurs de pentes (CBN Massif central) <ul style="list-style-type: none"> ● de 0 à 5 degrés ; ● de 5 à 10 degrés ;

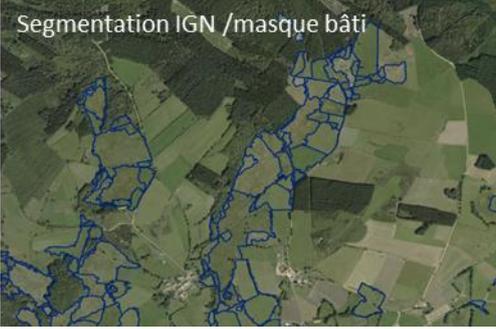
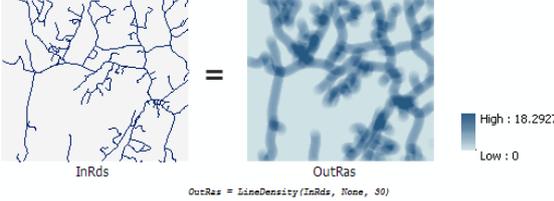
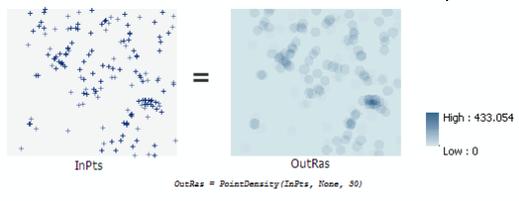
	<ul style="list-style-type: none"> ● de 10 à 40 degrés ; ● > 40 degrés.
Insolation	<ul style="list-style-type: none"> - L'insolation mesure le rayonnement potentiellement reçu par une surface en fonction de l'angle et de la durée d'exposition de la surface aux rayons solaires. Elle prend en compte le relief (pente, orientation, effet d'ombre par les reliefs environnants) la latitude, mais fait abstraction des paramètres météorologiques, notamment la nébulosité. - Elle est calculée à partir du MNT grâce à un module du logiciel SAGA GIS. Des options sont proposées telles que la possibilité de choisir la période de calcul. Dans notre cas, le calcul a été effectué sur une année complète ainsi que sur la période végétative définie du 21 mars au 21 octobre. L'intérêt du calcul sur l'année complète peut permettre, en milieu montagnard notamment, d'appréhender le potentiel de germination ce qui n'est pas le cas avec un calcul sur la seule période végétative.
Expositions	<ul style="list-style-type: none"> - Les expositions sont obtenues à partir du calcul de l'azimut de la pente sous le logiciel ArcGIS. - Les valeurs sont ensuite reclassées comme suit : <ul style="list-style-type: none"> ● Nord : 337.5° - 22.5° ● Nord-Est : 22.5° - 67.5° ● Est : 67.5° - 112.5° ● Sud-Est : 112.5° - 157.5° ● Sud : 157.5° - 202.5° ● Sud-Ouest : 202.5° - 247.5° ● Ouest : 247.5° - 292.5° ● Nord-Ouest : 292.5° - 360°
Indice d'humidité	<ul style="list-style-type: none"> - L'indice d'humidité utilisé ici, le SWI (Boehner <i>et al.</i> 2002), s'inspire largement de l'indice bien connu de Beven-Kirkby qui repose sur le concept des aires contributives variables selon lequel, les différentes zones d'un bassin versant ne contribuent pas de la même manière aux flux d'eau (Beven & Kirkby 1979, Moore <i>et al.</i> 1991, Boehner & Selige 2006). Tout comme l'indice de Beven-Kirkby, le SWI prend en considération la pente ainsi que la surface drainée en amont mais il lui a été préféré car il permet une amélioration des résultats notamment dans le fond des vallées pour les zones légèrement surélevées au-dessus des talwegs en leur attribuant une humidité du sol plus réaliste. La prise en compte du caractère non linéaire de l'humidité de sol permet d'éviter que dans de grandes vallées aux conditions oro-hydrologiques relativement homogènes (Moore <i>et al.</i> 1993) de petites différences d'altitude causent de grandes différences dans le calcul de la surface drainée en amont et conduisent à une forte variabilité artificielle de l'indice. - Cet indice se calcule dans SAGA GIS à partir du MNT, selon la formule suivante : $I_{\text{humidité}} = \ln(\alpha_i / \beta_i)$ où α_i est la surface drainée en amont du point i et β_i la pente qui lui est associée. - Les valeurs obtenues sont continues et le potentiel de saturation augmente avec elles.
Topographic Position Index (T.P.I.)	<ul style="list-style-type: none"> - L'Indice de Position Topographique (TPI) évalue la position de chaque pixel par rapport aux pixels voisins. La valeur du TPI est ainsi révélatrice de la position (verticale) de chaque cellule par rapport aux cellules voisines (dans un voisinage prédéfini). Pour exemple, une valeur positive forte d'un pixel signifie que celui-ci présente une situation plus élevée (en moyenne) que

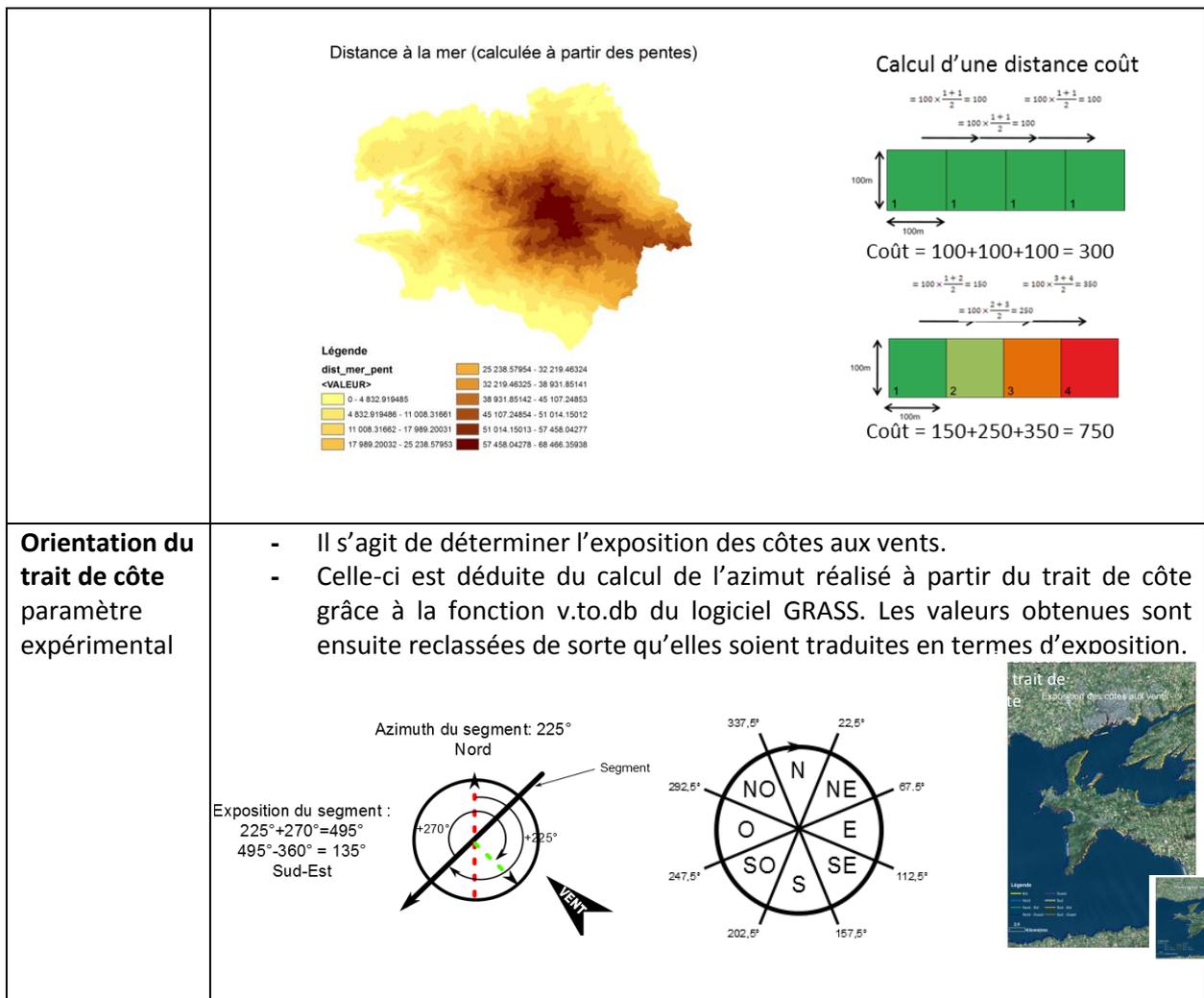
	<p>ses voisins : il se trouve donc sur un « point haut ».</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cet indice est calculé dans SAGA GIS à partir du MNT. Le voisinage à l'intérieur duquel se fait l'analyse est déterminé par un cercle dont le rayon est paramétré par l'utilisateur.
<p>Formes de terrain</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Les formes de terrain constituent le prolongement de l'indice précédent. Elles cherchent, en effet, à caractériser le relief d'une zone donnée en proposant une autre lecture du relief que celle offerte par les valeurs brutes du TPI. Elles indiquent par exemple les secteurs de plateaux, de sommets de plaines, de vallées... - Les formes de terrain sont construites automatiquement à partir du reclassement des valeurs du TPI selon la typologie prédéfinie ci-dessous (Weiss, 2000): <ol style="list-style-type: none"> 1 Canyons, vallées fortement encaissées 2 Pententes moyennes, vallées peu profondes 3 Sources, plateaux drainés 4 Vallées en forme de U 5 Plaines 6 Pententes ouvertes 7 Plateaux, pententes sommitales 8 Crêtes locales, buttes dans les vallées 9 Crêtes à mi-pente, petites collines en plaine 10 Sommets, crêtes - La possibilité pour l'utilisateur de paramétrer les rayons d'analyse du TPI permet le couplage d'une petite et d'une grande échelle, et la prise en compte de l'emboîtement des formes.
<p>Hauteur au-dessus du cours d'eau</p>	<ul style="list-style-type: none"> - La hauteur au-dessus du cours d'eau (Vertical Distance) correspond à la différence en mètres entre le MNT et la surface interpolée du réseau hydrographique comme illustré ci-dessous (sourceforge.net). <div data-bbox="571 1243 1268 1556" data-label="Figure"> <p>Le graphique illustre la 'Vertical Distance' (hauteur au-dessus du cours d'eau) en mètres. L'axe vertical (Altitude (m)) est gradué de 250 à 350. L'axe horizontal (Distance (m)) est gradué de 0 à 8000. Une ligne pointillée, désignée 'Channel network base level', représente le niveau de base du réseau hydrographique, qui fluctue entre environ 250 et 300 mètres. Une ligne pleine, désignée 'actual surface of DEM', représente la surface réelle du terrain. La différence entre ces deux lignes, l'altitude au-dessus du réseau hydrographique, est indiquée par une échelle interne de 0 à 100 mètres. On observe plusieurs pics de terrain atteignant jusqu'à 350 mètres d'altitude au-dessus du réseau hydrographique.</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> - Elle est calculée à partir des cours d'eau de la BD hydro de l'IGN et du MNT de la BD Alti, à l'aide du module Vertical Distance du logiciel SAGA GIS. Cette distance s'est avérée très utile dans la délimitation des fonds de vallée notamment.
<p>Paramètres climatiques</p>	
<p>Précipitations</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Les données pluviométriques utilisées ici sont les normales annuelles et mensuelles sur la période s'étalant de 1971 à 2000. - Elles sont issues de la base AURELHY (Analyse Utilisant le RELief pour l'HYdrométéorologie) de MétéoFrance (Bénichou & Lebreton 1987) et sont fournies à la maille kilométrique. - En raison de la grande sensibilité de ces données aux conditions locales et

	des fortes variations que peut connaître le relief au pas kilométrique, les précipitations ont été recalées sur la grille altimétrique plus précise que constitue la BD Alti à 25 m.
Températures	<ul style="list-style-type: none"> - Comme pour les précipitations, ce sont les normales thermiques annuelles et mensuelles de 1971-2000 qui ont été choisies. La maille kilométrique étant, là encore, beaucoup trop grossière pour apprécier les températures notamment en milieu montagnard, il a été proposé une méthode de rectification des températures AURELHY. - Celle-ci s'appuie sur la corrélation négative qu'il existe entre l'altitude et la température. À partir de la droite de régression obtenue de type $y = ax+b$ où a est le gradient thermique et b, la température moyenne ramenée au niveau de la mer, il est possible de rectifier les températures par l'altitude en utilisant un MNT plus précis, la BD Alti à 25 m.
La combinaison des paramètres pluviométriques et thermiques calculés précédemment a permis l'obtention d'indices synthétiques appelés aussi indices bioclimatiques. Ces derniers permettent de mettre en évidence des situations climatiques particulières et notamment les périodes de sécheresse et d'aridité ce qui pour les végétations, est une donnée fondamentale.	
Indices bioclimatiques	<ul style="list-style-type: none"> - L'indice de Gaussen : Couramment utilisé et plus particulièrement en milieu méditerranéen, cet indice permet d'apprécier la sécheresse estivale en durée et en intensité (Gaussen & Bagnouls 1953). Un mois est considéré sec lorsque le rapport suivant est vérifié : $p < 2t$ (où p = précipitations mensuelles en mm et t = températures mensuelles en °C) - Cet indice est calculé d'après la formule décrite plus haut à partir de la calculatrice raster d'ArcGIS. - Au sens de cet indice un mois sec est un mois où les pertes en eau (causées par une température forte) sont supérieures aux apports (précipitations).
	<ul style="list-style-type: none"> - L'indice d'aridité de De Martonne : De Martonne (1942) a défini l'aridité du climat à l'échelle annuelle par le quotient : $I = P/T + 10$ (où P = précipitations annuelles en mm et T = températures annuelles en °C). - Le calcul de cet indice est réalisé de la même façon que le précédent. - L'aridité étant d'autant plus forte que la valeur de l'indice diminue. La cartographie de cet indice à l'échelle de la France continentale met bien en évidence les zones les plus « arides » (Lebourgeois & Piedallu 2005). Il existe une version mensuelle de cet indice mais sans grands résultats dans notre cas, elle a été écartée.
	<ul style="list-style-type: none"> - Le quotient pluviothermique d'Emberger : Cet indice (Emberger 1955) combine les précipitations annuelles (P) et l'amplitude thermique, facteur important de répartition des végétaux selon la formule suivante $Q = (100 \cdot P) / (M^2 - m^2)$ (où M = moyenne des maxima du mois le plus chaud et m = moyenne des minima du mois le plus froid), - Le calcul de cet indice est réalisé de la même façon que le précédent. - À température moyenne égale, l'évaporation est d'autant plus forte que l'amplitude thermique est élevée. Aussi, de faibles valeurs de cet indice indiquent un climat sec.
	<ul style="list-style-type: none"> - L'indice ombrothermique annuel de Rivas-Martínez (1983) : Ce dernier se base sur les mois où la température moyenne est supérieure à 0°C. Il se calcule à partir de la formule ci-après : $Io = (Pp/Tp) \cdot 10$ où Pp = somme des précipitations mensuelles des mois où la température mensuelle est supérieure à 0°C et Tp = somme des températures mensuelles des mois où la température mensuelle est supérieure à 0°C. - Le calcul de cet indice est réalisé selon les mêmes modalités que le

	<p>précédent.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les valeurs obtenues peuvent être reclassées et permettre la définition d'ombrotypes (Rivas-Martínez 2005) : - Ombrotypes Valeur de I_o <ul style="list-style-type: none"> Hyper-aride -> 0.2 à 0.4 Aride -> 0.4 à 1 Semi-aride -> 1 à 2 Sec -> 2 à 3.6 Subhumide -> 3.6 à 6 Humide -> 6 à 12 Hyperhumide -> 12 à 24
Paramètres édaphiques	
Géologie	<ul style="list-style-type: none"> - Les données géologiques sont celles relatives à la lithosphère et aux roches mères. - Elles sont issues des données du BRGM. Les deux échelles sollicitées sont le 1/250 000 et le 1/50 000 lorsqu'il est disponible. - La donnée géologique initiale a été simplifiée en regroupant les substrats ramenant ainsi le nombre d'items à une vingtaine selon les secteurs. Cette simplification s'est faite au prisme de 4 caractères déterminants pour les végétations que sont la perméabilité des roches, la teneur en calcaire pour distinguer l'acide de l'alcalin, la richesse en silice et en ferro-magnésien pour les roches plutoniques et enfin leur caractère meuble ou solide. À titre d'exemple, les alluvions Fy, Fz et Fy-z ont été regroupées et codées de la même façon.
Pédologie	<ul style="list-style-type: none"> - La donnée pédologique renvoie aux différents types de sols. - Elle provient du Référentiel Régional Pédologique (RRP) à l'échelle du 1/250 000. Celui-ci est basé sur une division de l'espace en unités cartographiques des sols (UCS) plateaux, plaines, fonds de vallées..., elles-mêmes divisées en unités typologiques de sols (UTS) selon leur nature. - Comme pour la géologie, une simplification s'est avérée nécessaire. Les 47 items que comporte la base initiale ont alors été regroupés en 21 classes selon les critères suivants : l'hydromorphie, la salinité (thalassosols), la richesse (+/- lessivé) et la nature (alluviale, dune...). - Il faut toutefois souligner que les RRP ne sont ni harmonisés ni disponibles sur l'ensemble du territoire ce qui en contraint grandement l'utilisation. À ce jour, nous avons utilisé cette donnée seulement pour les départements du Nord, du Pas-de-Calais (Poncet 2014) et de la Loire.
Paramètres spécifiques	
Étages de végétation*	<ul style="list-style-type: none"> - La typologie des étages retenue ici, s'appuie sur le concept de climax tel que développé par Gaussen (1938) et Ozenda (1975). Si le concept climacique est critiquable (Rameau 1993), l'expérience acquise lors de travaux antérieurs sur le Massif central a montré qu'il était possible d'appréhender la question de l'étagement grâce à une approche biogéographique pour peu que l'on dispose des cartes CNRS de la végétation au 1/200 000 (IPAMAC 2011). C'est cette piste qui a été à nouveau suivie en adaptant la méthodologie initiale afin d'obtenir une généralisation sur l'ensemble de la France. - Les étages modélisés sont ceux classiquement décrits sur les cartes de la végétation (Mazagol <i>et al.</i> 2013). La méthode consiste à modéliser le plan théorique des limites de chaque étage. Ce plan est ensuite "corrigé" en

	<p>introduisant de part et d'autre, une zone de transition selon le caractère plus ou moins favorable des conditions locales à la « descente » de l'étage supérieur ou à la « montée » de l'étage inférieur. Parmi les facteurs susceptibles d'influencer cette zone de transition, nous en avons retenu 4 : l'altitude, l'insolation, l'effet du vent et l'indice d'humidité tel que présenté précédemment.</p>
<p>Zones potentiellement inondables (ZPI)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Les zones potentiellement inondables sont celles à l'intérieur desquelles la nappe connaît, au cours de l'année, des battements c'est-à-dire des fluctuations pouvant affecter les végétations de surface. - Ce paramètre résulte du croisement de 3 données distinctes : <ol style="list-style-type: none"> 1. les données du BRGM relatives aux remontées de nappe et téléchargeables sur le site www.inondationsnappes.fr. 2. L'indice d'humidité tel que présenté précédemment 3. La hauteur au-dessus du cours d'eau calculée par l'intermédiaire du module vertical distance de SAGA GIS. <p>L'utilisation du module multicritère MCE du logiciel Idrisi permet de faire ressortir les zones les plus favorables aux fluctuations de la nappe. Ainsi une zone sensible aux remontées avec un indice d'humidité élevé et une faible hauteur au-dessus du cours d'eau sera considérée comme une Zone Potentiellement Inondable (ZPI).</p>
<p>Zones potentiellement humides (ZPH)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Les Zones Potentiellement Humides (ZPH) correspondent à des enveloppes à l'intérieur desquelles la probabilité de trouver des zones humides est forte. - La construction de cette cartographie potentielle repose sur le principe que la présence de zones humides résulte d'une combinaison de facteurs. La démarche est présentée dans le schéma ci-dessous et s'appuie sur une méthode multicritère (module MCE d'Idrisi) : <div data-bbox="574 1142 1324 1579" style="text-align: center;"> <pre> graph TD A[ZH= combinaison de facteurs] --> B[Pentes] A --> C[Indice d'humidité] A --> D[Hauteur au dessus du cours d'eau] A --> E[Indice topographique] A --> F[Sources] B --> G[Croisement de ces critères] C --> G D --> G E --> G F --> G G --> H[Cartographie de la potentialité humide] H --> I[Les 2 classes les plus humides sont conservées] I --> J[Croisement avec la segmentation IGN sans le bâti] J --> K[CARTOGRAPHIE DES ZONES HUMIDES POTENTIELLES] </pre> </div>

	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Secteur à l'est de Saint-Priest-la-Prugne (42) Lieu dit: Les sagnes/Les Fayans</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Segmentation IGN /masque bâti</p>  </div> </div> <p>Les retours terrains de cette couche sont très satisfaisants notamment sur les départements qui présente du relief (Loire (42), Puy-de-Dôme (63)). Des pistes d'amélioration ont été envisagées pour les secteurs au relief peu marqué tel que le Nord (59).</p>
<p>Densité de lignes et de points</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Afin de compléter l'identification des zones humides potentielles et notamment de celles présentes dans des secteurs où le relief est peu marqué (marais de plaine par exemple), il a été calculé un indice de densité d'éléments hydrologiques (canaux, mares, étangs...). - Le calcul de densité est réalisé dans le logiciel ArcGIS grâce aux fonctions éponymes « Densité de lignes » pour les canaux et « Densité de Points » pour les éléments ponctuels (mares, étangs...). Dans le premier cas, la densité est calculée à partir du réseau hydrographique de la BD topo de l'IGN. Dans le second cas, la densité est calculée à partir des centroïdes des polygones de surface en eau. <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;"> <p>Densité de lignes</p>  <p><small>OutRas = LineDensity(ZnRds, None, 30)</small></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Densité de points</p>  <p><small>OutRas = PointDensity(ZnPts, None, 30)</small></p> </div> </div>
<p>Fonds de vallées</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Comme son nom l'indique, ce paramètre cherche à représenter l'ensemble des talwegs qu'il s'agisse de vallées alluviales ou de petits vallons en tête de bassin-versants. - Pour réaliser cette couche, il est fait appel au module Vertical distance dans le logiciel SAGA GIS (Conrad 2002). Les valeurs brutes sont seuillées à 2 m pour obtenir la couche finale.
<p>Distance à la mer paramètre expérimental</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Avec la distance à la mer, on tente d'appréhender l'influence de la proximité du littoral sur les végétations (apport d'embruns salés, vent, régulation thermique de l'océan...). De façon indirecte, c'est le rôle du vent que l'on essaie d'approcher à défaut de disposer de données sur le vent. - Le calcul de la distance à la mer (trait de côte) n'est pas appréhendé sous la forme d'une distance euclidienne (en m ou km) mais sous la forme d'une distance coût c'est-à-dire que l'on intègre une contrainte dans le calcul de la distance. L'influence maritime ne sera en effet pas la même selon le relief de la côte. On peut supposer qu'un relief raide voire abrupt limitera l'influence alors qu'une pente douce et/ou régulière favorisera les entrées maritimes.



*On distingue deux grandes régions florales présentes en France à savoir la région holarctique et la région méditerranéenne (Gausson 1938). On identifie :

- **Un étage planitiaire** qui correspond à l'étage des forêts caducifoliées mélangées. Il occupe les basses altitudes jusqu'à 300 m environ de la région holarctique.
- Un **étage collinéen** occupé par la chênaie caducifoliée et notamment la chênaie sessile et ou pubescente. Sa limite altitudinale supérieure est variable, elle oscille entre 800 et 1000 m.
- Un **étage montagnard** avec une déclinaison oroméditerranéenne pour la zone méditerranéenne. Il s'agit d'un étage forestier composé de hêtraies et de formations mixtes de type hêtraie-sapinière. En son sein, les facteurs de contrôle sont les conditions d'humidité atmosphérique et la température qui conditionnent la distribution des espèces. Là encore, la limite supérieure est variable selon les massifs, elle varie de 1100 à 1200 m pour les massifs vosgien, jurassien et central et peut aller jusqu'à 1600 m environ dans les Alpes méridionales et les Pyrénées orientales.
- **Un étage subalpin.** Il correspond à la limite supérieure de la hêtraie (Ozenda, 1985). Il se compose dans la partie inférieure de forêts de conifères (Epicea, Mélèze, Pins à crochet ou pins Cembro) passant progressivement à l'approche de la limite supérieure de l'arbre à des forêts claires, des landes boisées et des landines. Celle-ci a été fixée selon les secteurs à 2200 m - 2400 m.
- Un **étage alpin** caractérisé donc par l'absence d'arbres mais la présence de pelouses continues dans sa partie inférieure puis discontinue dans sa limite supérieure fixée vers 2800-3000 m.
- Enfin, un **étage nival** essentiellement minéral et rocheux.

En ce qui concerne la région méditerranéenne caractérisée par une sécheresse estivale marquée d'une durée au moins égale à 2 mois, trois étages ont été distingués :

- Premièrement, l'étage **thermoméditerranéen** qui n'est représenté en France que par une bande étroite et discontinue le long de la côte méditerranéenne plus prononcée dans la région de Nice et à la périphérie corse. Il s'agit du domaine du Caroubier dont la limite supérieure a été fixée à 200 m environ.

- Ensuite, vient l'étage **mésoméditerranéen**, c'est le pays du Chêne vert, *Quercus ilex L.* et du Chêne kermès, *Quercus coccifera L.*, par excellence, et plus généralement le pays des garrigues. Il part du niveau de la mer jusque vers 600 – 700 m selon les conditions d'exposition ou de topographie (600 m dans la partie orientale des Pyrénées d'après Dupias et Rey 1985). Ce dernier représente l'essentiel de la région méditerranéenne.
- Enfin, l'étage **supraméditerranéen** qui correspond à un étage de transition situé entre le climat méditerranéen et les climats montagnard ou atlantique. Il est dominé par des chênes caducifoliés (Chêne blanc, *Quercus pubescens Willd.*, Chêne sessile, *Q. petraea (Matt.) Liebl.*) mais aussi par le châtaignier, *Castanea sativa Mill.*, espèce abondamment plantée par l'Homme à la place des forêts originelles de chênes caducifoliés

2. La méthode de clusterisation

Rappelons au préalable que l'objectif du fond environnemental est de délimiter des clusters à l'intérieur desquelles les conditions abiotiques sont relativement homogènes et différentes des clusters adjacents. Pour ce faire, il a été fait appel à une méthode de partitionnement des données. Développée sous R, la méthode repose sur le calcul des distances entre individus après quoi elle regroupe les pixels selon leur ressemblance à partir d'une classification ascendante hiérarchique (CAH). La définition du nombre de clusters se fait *a posteriori* en s'appuyant sur le pourcentage d'inertie expliquée (fig. 1). Logiquement, plus on augmente le nombre de clusters et plus le pourcentage d'inertie expliquée est élevé mais il faut aussi veiller à ce que le découpage des clusters fasse sens sur le terrain. Ainsi les tests réalisés montrent qu'un grand nombre de clusters n'apportent pas forcément plus de précisions transposables en termes de séries de végétation et qu'il y a plutôt une tendance à la diffusion de l'information. À l'inverse, un faible nombre de clusters n'est pas synonyme d'une vision synthétique du territoire. À ce jour, le choix de 10 clusters s'est avéré le plus pertinent, sur les différents départements traités sachant qu'il est évidemment possible de regrouper des clusters après la confrontation au terrain.

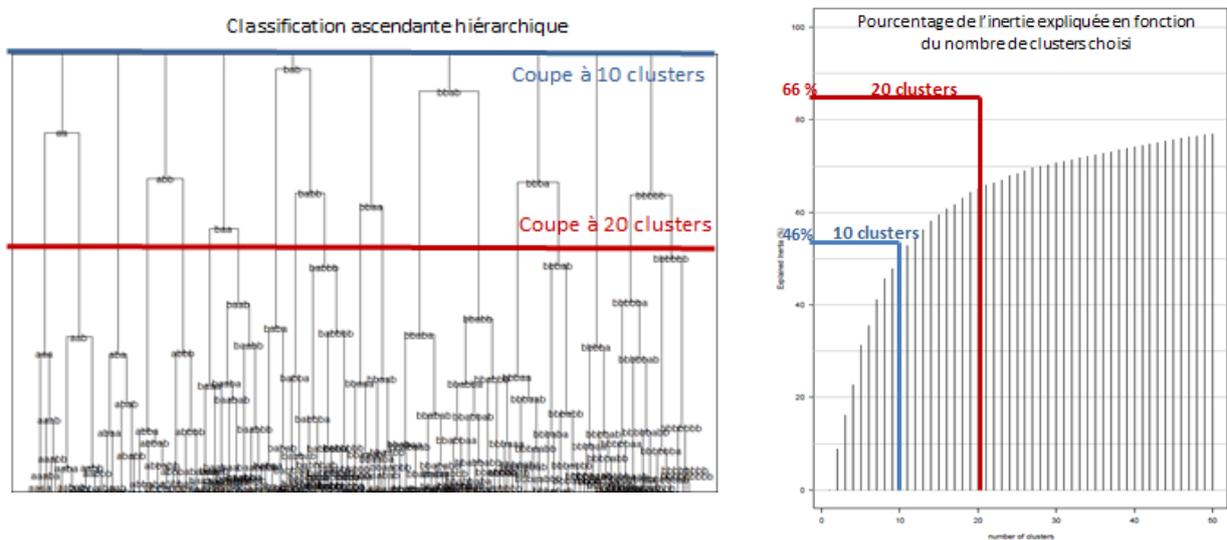


Figure 1 : Sélection du nombre de clusters du fond environnemental

BIBLIOGRAPHIE

Benichou P. & Le Breton O., 1987 - Prise en compte de la topographie pour la cartographie de champs pluviométriques statistiques : la méthode AURELHY. *La Météorologie*, **19** : 23-34.

Beven K. & Kirkby M.J., 1979 - A physically-based variable contributing area model of basin hydrology, *Hydrol. Science Bull.*, **24** : 43-69.

Boehner J., Koethe R. Conrad O., Gross J., Ringeler A. & Selige T., 2002 - *Soil Regionalisation by Means of Terrain Analysis and Process Parameterisation*. In Micheli E., Nachtergaele F., Montanarella L. (Eds) Soil Classification 2001, European Soil Bureau, Research Report No. 7, EUR 20398 EN, Luxembourg, 213-222.

Boehner J. & Selige T., 2006 - *Spatial Prediction of Soil Attributes Using Terrain Analysis and Climate Regionalisation*. In Boehner J., McCloy K.R., Strobl J. (eds) SAGA – Analysis and Modelling Applications, Goettinger Geographische Abhandlungen, 115, 13-27.

Burrough P.A. & McDonell R.A., 1998 - *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press, New York. 190 p.

Conrad O., 2002 - *ChannelNetwork_Altitude.cpp*. <http://sourceforge.net/saga-gis>: 24.05.2008.

De Martonne E., 1942 - Nouvelle carte mondiale de l'indice d'aridité. *Annales geogr.* **288** : 241-250

Dupias G. & Rey P., 1985 - *Document pour un zonage des régions phyto-écologiques*. Centre d'Ecologie des Ressources Renouvelables, Toulouse, 39 p.

Emberger L., 1955 - Une classification géobotanique des climats. *Rec. Trav. Labo. bot. geol. zool. fac. Sci. Montpellier*, série bot, **7**.

Bagnoulds F. & Gaussen H., 1953 - Saison sèche et indice xérothermique. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, **88** : 193-240

Gaussen H., 1938 - *Étages et zones de végétation de la France (commentaire des cartes 26, 2-3-4 de l'atlas de France)*. *Ann. Géogr. (Paris)*, 47e année, 463 p.

IPAMAC (Association des parcs naturels du Massif central), 2011 - *Trame écologique du Massif central. Identification d'une trame écologique du Massif central avec extension vers les Pyrénées*. Rapport de synthèse, 55 p.

Lebourgeois F. & Piedallu C., 2005 - Appréhender le niveau de sécheresse dans le cadre des études stationnelles et de la gestion forestière. Notions d'indices bioclimatiques. *Revue Forestière Française*, **57** (3) : 331-356.

Mazagol P.-O., Sacca C., Fayeaux F. & Etlicher B. (Dir.), 2013 - *Recherches concernant la cartographie nationale des Habitats naturels et semi-naturels. La construction du fond écologique*. Rapport d'étape du Projet CarHAB, Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, 76 p.

Moore I.D., Grayson R.B. & Ladson A.R., 1991 - Digital terrain modelling : a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes*, **5** (1) : 3-30.

Moore I.D., Gessler P.E., Nielsen G.A. & Peterson G.A., 1993 - Soil Attribute Prediction Using Terrain Analysis. *Soil sci. Soc. Am. J.*, **57** : 443-452.

Ozenda P. & Wagner H., 1975 - Les séries de végétation de la chaîne alpine et leurs équivalences dans les autres systèmes phytogéographiques. *Documents de Cartographie Écologique*, **16** : 49-74.

Poncet R., 2014 - *Approche méthodologique de la constitution du fond blanc physiologique et environnemental du Nord-Pas-de-Calais*. Mémoire de Master 2 Écologie-Éthologie, Université de Saint-Etienne, 65 p.

Rivas-Martínez S., 1983 - Pisos bioclimáticos de España. *Lazaroa*, **5** : 33-43

Rivas-Martínez S., 2005 - Mapa de series, geoserias y geopermaseries de vegetacion de Espana. Memoria del mapa de vegetacion potencial de Espagna, Parte 1. *Itinera geobotanica*, **17** : 5-436.

Wasson J.G., Chandesris A., Pella H. & Blanc L., 2002 - *Les hydro-écorégions de France métropolitaine. Approche régionale de la typologie des eaux courantes et éléments pour la définition des peuplements de référence d'invertébrés*. Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Cemagref BEA/LHQ. 190 p.

Weiss, A.D., 2000 - *Topographic Position and Landforms Analysis*. Poster URL : http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc_18x22.pdf

B2	L'intégration physionomico-environnementale
Rédacteurs :	Bernard Etlicher
Contacts :	Bernard.Etlicher@univ-st-etienne.fr

Les données issues du programme CarHAB sont organisées comme une base de données spatialisées avec les mêmes systèmes de référencement. L'utilisation combinée des données physionomiques et environnementales, issues des fonds de pré-cartographie, est nécessaire pour la cartographie et notamment pour la compréhension de la répartition des séries.

Les modalités prises par les variables des deux fonds étant nombreuses, la superposition graphique des deux fonds, bien que toujours possible grâce aux fonctions de superposition des outils SIG, (superposition, intersection dans Arc Gis, découper dans QGis) reste difficile à interpréter sauf sur de petites étendues de territoire, compte tenu du nombre de combinaisons possibles. Elle ne peut en aucun cas être représentée de manière lisible sur des territoires tant soit peu étendus.

En revanche, l'utilisation des croisements présente un grand intérêt à trois étapes de la démarche :

- en amont lors de la réalisation du fond physionomique
- lors de la réalisation de croisements thématiques (ex : plaines alluviales)
- lors de l'analyse de la répartition de telle ou telle série.

Ces croisements sont possibles à toutes les échelles d'analyse.

a) Les croisements pour la réalisation du fond physionomique.

Des croisements en amont de la cartographie sont réalisés par les équipes qui sont en charge de la conception du fond physionomique et du fond environnemental. Le résultat de ces croisements est disponible pour les cartographes.

Les croisements avec les données du fond environnemental sont nécessaires pour l'interprétation des valeurs de NDVI de l'imagerie satellitale utilisée. Ce travail est réalisé lors de la conception du fond physionomique et il est donc intégré dans la chaîne de traitement utile à la réalisation de ce fond. A titre d'exemple, l'utilisation du fond géologique peut être pertinente pour discriminer les classes de végétation à faible couverture végétale : sur substrat calcaire, il peut s'agir de pelouses sèches, alors que pour des valeurs de NDVI comparables, en bas de versant ou en milieu humide, il s'agit plus probablement de l'impact d'activité agricole (fauche ou pâturage intensif). Seul le premier cas mérite d'être classé dans les formations faiblement productives selon la nomenclature retenue.

b) Les croisements pour la réalisation de modélisations thématiques.

La nécessité de modélisations spécifiques pour certains milieux est apparue souhaitable dès le début de la démarche. A ce jour, plusieurs milieux font l'objet d'une modélisation systématique comme les vallées alluviales, les milieux de polders, les milieux xériques, mais d'autres peuvent être envisagés à l'avenir à la demande des opérateurs de terrain (ex : milieux de congères ou de couloirs d'avalanche, etc.)

Ces croisements font ou feront l'objet d'une cartographie spécifique et donc d'une couche complémentaire réalisée soit systématiquement (vallées humides,) soit en fonction du besoin.

A titre d'exemple, la réalisation de la couche « prairies humides » se réalise suivant un organigramme donné (fig. 14).

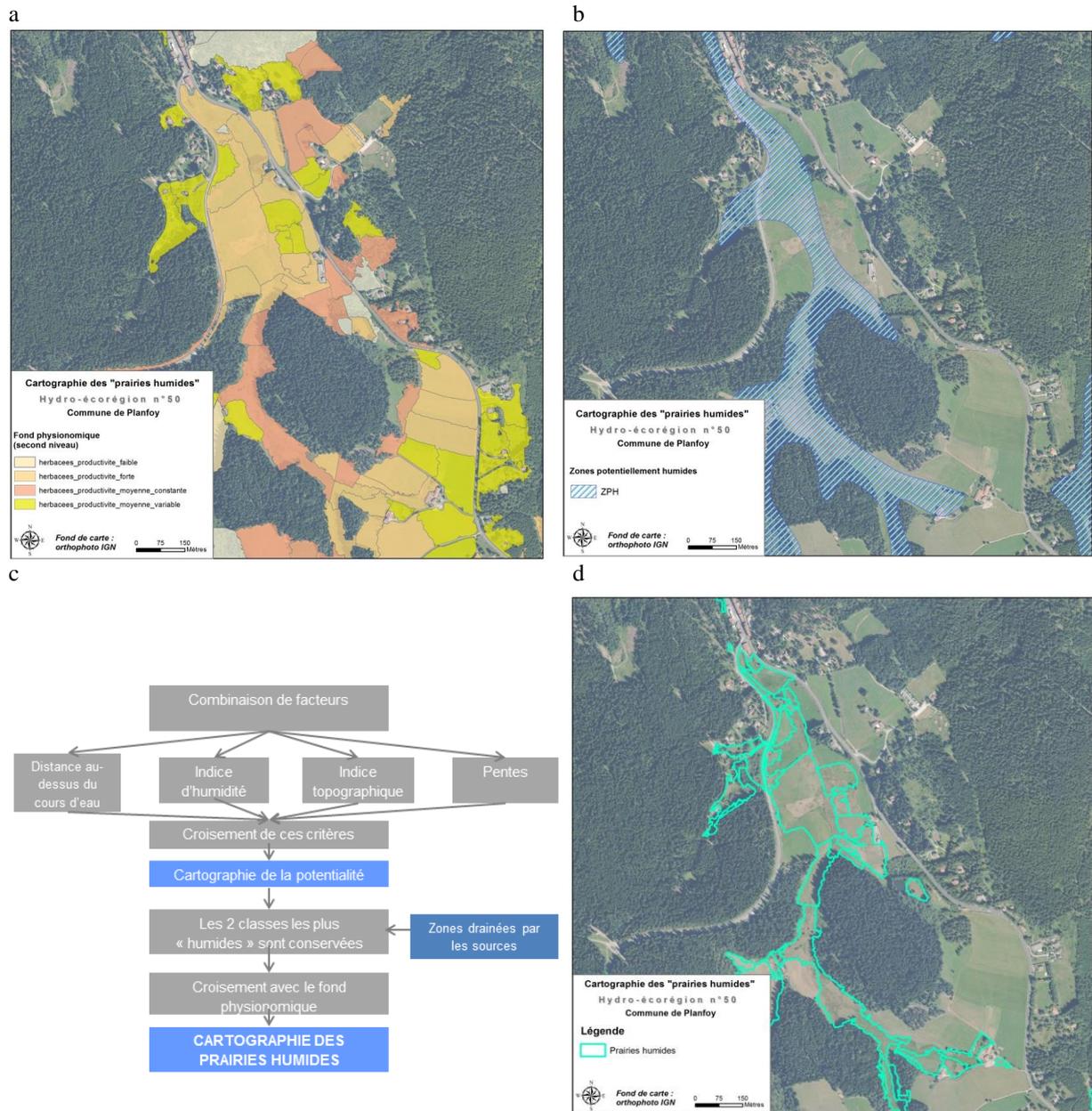


Figure 14 : Le fond physiologique (a), le fond environnemental (b), l'organigramme (c) et le résultat du croisement (d): identification des prairies humides à Planfoy (42)

c) Les croisements lors de l'analyse de la répartition de telle ou telle série.

Lors de la phase exploratoire de la cartographie, il peut apparaître utile de représenter l'aire d'extension possible pour telle ou telle espèce, ou telle ou telle série.

A partir des premières observations de terrain, une cartographie de l'aire potentielle occupée par la série peut être réalisée en croisant les données des deux fonds. Une formation arbustive de type lande, inféodée aux talus d'éboulis, une série se développant le long de la ligne de source au pied d'une corniche calcaire sont des exemples de situations où le croisement des données des deux fonds est particulièrement utile pour faire progresser le travail de terrain et affiner la description des exigences écologiques de la série correspondante.

Ces modélisations sont réalisées à la suite des échanges avec les cartographes et peuvent mobiliser l'ensemble de la base de données environnementale constituée à l'occasion de la réalisation du fond environnemental. Elles pourront intégrer des paramètres qui ne sont pas nécessairement intégrés dans la confection du fond environnemental de la région, apportant sur une partie du territoire une information plus précise et détaillée mais qui n'a pas d'intérêt sur l'ensemble de la HER considérée.

A titre d'exemple, dans le département du Cher, une tentative de modélisation de l'aire d'extension de *Rubio peregrinae Quercus pubescentis sigmetum* a été tentée à partir de la cartographie partielle de la zone prospectée et des conditions supposées favorables au développement de la série. L'information écologique est décrite de la manière suivante dans le catalogue: « Série édaphoxérophile des plateaux, hauts de versants, versants, de l'étage planitiaire, de climat ligérien à subatlantique, avec précipitations en général < 700 mm, sur sols calcaires superficiels à sécheresse édaphique prolongée, thermophile, mésoxérophile, oligotrophile à mésotrophile, de la chânaie à Chêne pubescent et Garance voyageuse » (CBNBP).

La traduction de ces exigences en paramètres cartographiables a permis de construire l'organigramme et la carte ci-dessous (fig. 15) où, sous réserve que les paramètres indiqués soient corrects, l'ensemble des parcelles observées est inclus dans l'aire potentielle.

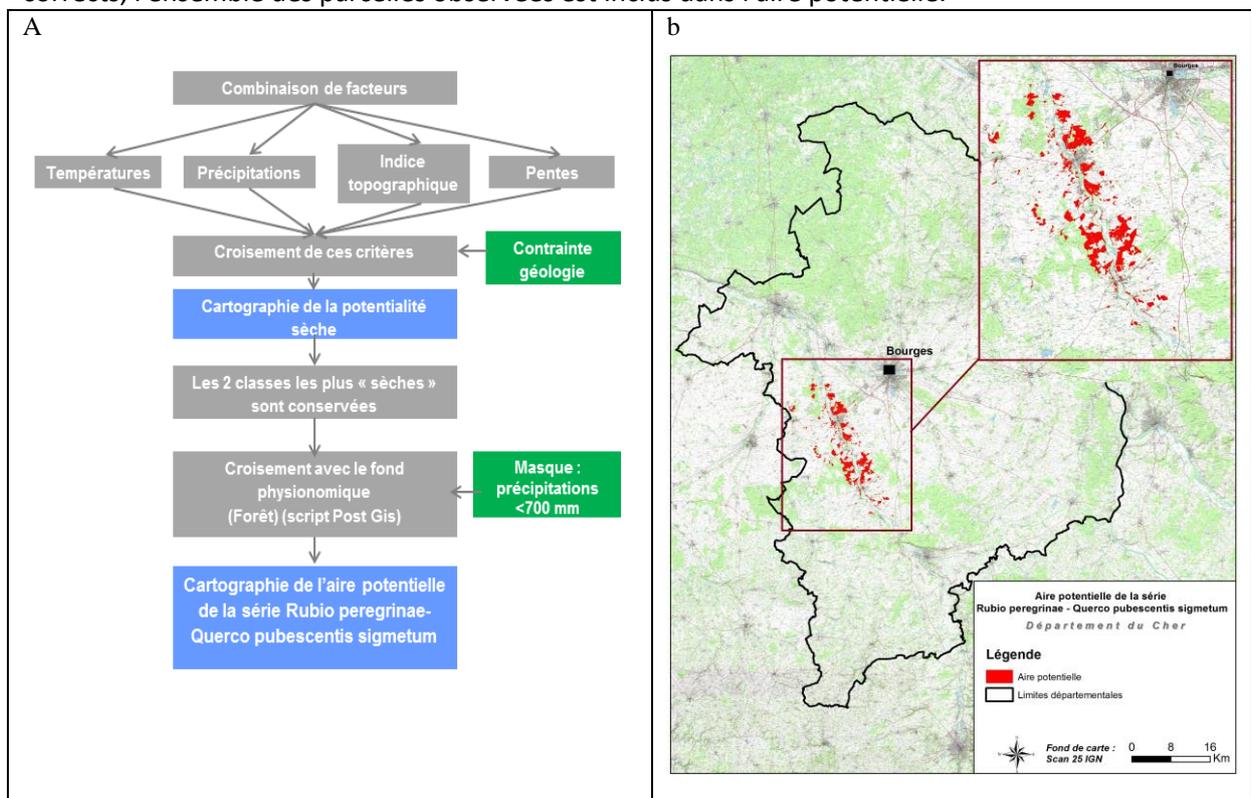


Figure 15 : Modélisation de l'extension potentielle de *Rubio peregrinae Quercus pubescentis sigmetum* dans le département du Cher (b) à partir de l'organigramme de traitement des données (a)
 NB : Bien qu'il s'agisse d'un faciès de recolonisation, le masque culture a été appliqué pour plus de lisibilité.)

Ces croisements et modélisations constituent des outils décisifs pour faire progresser notre connaissance des exigences écologiques des séries. Ce travail nécessitant une analyse comparée des connaissances de terrain et des paramètres écologiques de la base de données environnementale constituée pour la réalisation du fond environnemental, suppose une collaboration étroite entre les équipes de phytosociologues et de géographes qui ont construit la base de données environnementale. Non évoqués ici, les croisements s'enrichiront également de données socio-économiques qui sont rassemblées en complément.

C1	Le catalogue des groupements végétaux
Rédacteurs :	Anaïs Just, Jérôme Millet, Gaël Causse
Contacts :	anaïs.just@fcbn.fr , jerome.millet@fcbn.fr , gcausse@mnhn.fr

L'objectif du catalogue est d'établir, sur un territoire donné (départemental), une description la plus complète possible des associations, groupements basaux et fragmentaire, en s'appuyant sur les concepts de la phytosociologie sigmatiste (Braun-Blanquet, 1928 ; Guinochet, 1973 ; Delpech, 1996 ; Géhu & Rivas-Martinez, 1981 ; Foucault, 1986 ; Lahondère, 1997).

La constitution des catalogues nécessite une phase de synthèse bibliographique et une phase d'étude sur le terrain. La synthèse bibliographique vise à rechercher et à compiler l'ensemble des groupements végétaux décrits ou connus pour le territoire donné. Cette synthèse est complétée par une phase de terrain qui va permettre de vérifier que les unités décrites sont toujours existantes et de procéder à de nouveaux relevés pour des unités de végétation non décrites. La description des groupements végétaux peut être complétée par l'élaboration de clés de détermination qui vont faciliter leur reconnaissance par les phytosociologues cartographes.

De façon générale, les catalogues établissent les liens entre les différentes typologies usuelles d'habitats et de végétation qui permettent d'asseoir les différents produits et utilisation du programme CarHAB. Enfin, les catalogues des groupements végétaux sont liés aux catalogues des séries et géoséries puisque l'appartenance sériale et géosériale de chaque type de végétation est indiquée. Réciproquement, les catalogues des séries et géoséries sont liés aux catalogues des groupements végétaux par l'indication des syntaxons constitutifs de la (géo)série.

1. Échelle géographique de réalisation

La conception du catalogue est initiée à l'échelle des petites régions naturelles. Les petites régions naturelles correspondent à des entités géographiques au sein desquelles les conditions géologiques, géomorphologiques, climatiques et pédologiques sont relativement homogènes. Elles comprennent donc un nombre restreint d'unités de végétation que le phytosociologue va décrire en recherchant autant que possible l'exhaustivité des connaissances.

Afin de produire des catalogues qui soient facilement utilisables pour le programme CarHAB qui se déploie à l'échelle départementale, les catalogues finaux sont produits à cette même échelle départementale. Par conséquent, les informations recueillies à l'échelle des petites régions naturelles sont réutilisées pour produire des catalogues départementaux. La mise en cohérence des catalogues départementaux, prise en charge par les comités phytosociologiques pilotés par les CBN, est évaluée à l'échelle des sylvo-écorégions.

2. Étapes de réalisation

Le catalogue décrit les groupements végétaux et les associations. La démarche s'articule autour de plusieurs étapes qui doivent en théorie précéder la phase de cartographie afin de disposer d'une typologie homogène.

La première étape permet de compiler les informations relatives aux unités de végétation déjà décrites pour le territoire considéré. Il s'agit d'exploiter les publications scientifiques et les rapports d'étude qui décrivent les zones d'étude et les types de végétation. Les zones sous-inventoriées peuvent ainsi être mises en évidence et permettre d'asseoir l'établissement du plan d'échantillonnage.

Sur la base de l'échantillonnage, la seconde étape portant sur des prospections de terrain est engagée. Elle consiste à effectuer des relevés phytosociologiques qui visent à caractériser les associations végétales (fiche D1).

À l'issue de l'analyse des relevés phytosociologiques recueillis (issus de la bibliographie et des prospections spécifiques), un plan d'échantillonnage complémentaire peut éventuellement être envisagé afin de combler les ultimes lacunes de connaissance.

La succession des étapes et le calendrier sont présentés dans le tableau 1 ci-dessous. Les liens avec l'élaboration des fonds pré-cartographiques sont précisés dans la dernière colonne du tableau.

Tableau 1 : Étapes et calendrier type pour la production du catalogue

CATALOGUE	Hiver 1	Été 1	Hiver 2	Été 2	Hiver 3	PRÉ-CARTOGRAPHIE
Mobilisation des données nécessaires et préparation du plan d'échantillonnage						Production segmentation physiologique
Prospections terrain						Production vérités terrain pour la pré-cartographie
Analyses et pré-typologie						Validation et transmission données terrain, échanges
Identification des lacunes et compléments typologiques						
Préparation d'un nouveau plan d'échantillonnage centré sur les lacunes						Production des fonds physiologique et environnemental
Prospections terrain complémentaires						
Typologie finale						Intégration des fonds pour la pré-cartographie finale

3. Cadre typologique

La réalisation du catalogue des groupements végétaux est déterminante puisqu'elle conditionne ensuite l'élaboration du catalogue des séries et géoséries.

La volonté affichée est la réalisation de catalogues s'appuyant sur la typologie du Prodrome des Végétations de France (PVF2 ; Bioret & Royer, 2009). Le PVF2 est élaboré et publié classe par classe de végétation, sur la base d'une synthèse bibliographique, et des actualisations sont ensuite possibles sous la forme d'addenda. Dans le cadre du programme CarHAB, le prodrome fait office de référentiel pour l'élaboration des catalogues départementaux des groupements.

Dans le PVF, chaque syntaxon est accompagné de sa synonymie usuelle en France (lorsqu'elle existe) et d'une courte diagnose physiologique, écologique et chorologique ainsi que de la combinaison caractéristique d'espèces. Ainsi, pour tout syntaxon connu et présent sur un territoire, ces informations seront reprises, standardisées et complétées à l'occasion de l'élaboration du catalogue. Pour tout syntaxon nouveau ou non décrit, la dénomination d'un groupement végétal sera temporairement proposée associée à une description physiologique et écologique. Dès lors que le syntaxon sera publié dans le PVF2, le catalogue pourra être complété en conséquence (rattachement au syntaxon retenu, description ajustée).

L'ajout d'un syntaxon dans un catalogue doit être fait sur des bases scientifiques solides. Plusieurs cas de figure sont rencontrés. Le syntaxon peut avoir fait l'objet d'une publication scientifique qui atteste de sa présence en un lieu donné et à une date donnée. La présence du syntaxon peut être déclarée comme effective, douteuse ou bien le syntaxon est considéré disparu. En dehors de ce procédé, un syntaxon peut être ajouté à l'issue d'une étude de terrain. La présence du syntaxon peut être simplement constatée par le phytosociologue qui possède une connaissance fine de l'expression du syntaxon sur le terrain ou bien après réalisation d'un relevé de végétation pour garantir son identification ultérieure après analyse statistique.

4. Stratégie d'échantillonnage

L'objectif à atteindre vise à recueillir les données de végétation nécessaires à l'élaboration de catalogues typologiques exhaustifs.

La stratégie d'échantillonnage et le plan de prospections propres à la typologie des groupements végétaux ne sont pas décrits ici : il s'agit en effet d'une phase souvent traitée en amont du programme CarHAB, notamment par les Conservatoires botaniques nationaux dans le cadre de leur mission de connaissance des habitats et des végétations de leur territoire d'agrément. Des typologies régionales des groupements sont ainsi souvent déjà disponibles, sous forme de catalogues, de synopsis régionaux, parfois de guides. Il existe malgré tout encore une forte hétérogénéité du niveau de connaissances selon les territoires, et des compléments typologiques de plus ou moins grande ampleur peuvent être nécessaires. La stratégie d'échantillonnage à appliquer dépendant très fortement de l'état initial des connaissances, il sera donc nécessaire de l'adapter à chaque territoire dans le but d'échantillonner les secteurs géographiques les moins connus et les groupements peu documentés voire méconnus.

Le travail sur les séries de végétations pourra être mis à profit très utilement pour identifier certaines lacunes dans la typologie des groupements végétaux. En effet, l'approche déductive sur les séries permet de déceler quels sont les stades dynamiques qui ne semblent correspondre à aucun

groupement végétal décrit. Cette approche constitue un excellent marqueur d'unités méconnues ou incertaines, sur lesquelles l'échantillonnage devra se concentrer.

5. Format du catalogue

Les informations relatives aux associations végétales sont rendues disponibles dans une base de données. Le format de la base de données comprend plusieurs modules qui s'inscrivent au sein de trois grandes catégories (métadonnées, synsystème et descriptif). Les modules sont décrits dans le tableau 2.

Tableau 2 : modules du catalogue des groupements végétaux

Métadonnées	
Catalogue	indique l'identifiant unique et le libellé du catalogue, sa version, sa date de création et de dernière mise à jour, le type et le nom du territoire concerné et potentiellement l'emprise géographique du territoire
Source	mentionne les références bibliographiques, la date de création et l'auteur de la ligne renseignée
Synsystème	
Syntaxon	porte les noms (d'origine et retenu) du syntaxon et leur identifiant unique, la synonymie, le nom français harmonisé et une diagnose courte
Correspondances	établissent le lien avec le code de l'Habitat EUNIS et le code générique de l'habitat d'intérêt communautaire selon le Manuel EUR 28
Descriptif	
Cortège floristique	liste les taxons en lien avec le référentiel TAXREF (version à préciser).
Chorologie	comprend le statut de présence du syntaxon
Phénologie	précise le début et la fin de la période optimale d'observation de la végétation
Physionomie	spécifie le type biologique dominant des taxons composant la végétation, le type physionomique de la formation végétale la stratification du groupement
Écologie	indique si possible la codification de l'étage de végétation, de l'étage bioclimatique, du substrat affleurant, du caractère hygrophile du syntaxon et du pH sur le territoire (appartenance principale et secondaire), de la trophie, du caractère thermique, de la luminosité, de la couverture neigeuse
Dynamique	précise le (géo)sigmafaciès ou cellule paysagère d'appartenance, le code de la série et celui de la géosérie à laquelle peut appartenir le syntaxon sur le territoire

Pour accéder aux informations contenues dans le catalogue, il convient de se rapprocher du CBN compétent sur le territoire d'étude.

BIBLIOGRAPHIE

Bioret F. & Royer J.-M., 2009 – Présentation du projet de déclinaison du Prodrome des végétations de France. *Journal de la Société Botanique de France*, **48** : 47-48.

Braun-Blanquet J., 1928. – *Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde*. Julius Springer Verlag., Berlin, 330 p.

Delpéch R., 1996. - *Vocabulaire de phytosociologie et de synécologie végétale*, 38 p. (La banque des mots, n° 51, Cons. Internat. Langue Française)

Foucault B., de, 1986. - Petit manuel d'initiation à la phytosociologie sigmatiste, 49 p. (Sté linnéenne du Nord de la France, Amiens)

Géhu J.-M. & Rivas-Martínez S., 1981. – Notions fondamentales de phytosociologie. *Berichte der Internationalen Symposien der Internationalen Vereinigung für Vegetationskunde* : 5-33. Syntaxonomie, J. Cramer, Berlin.

Guinochet M., 1973. – *Phytosociologie*. Ed. Masson, Paris, 227 p.

Lahondère C., 1997. - *Initiation à la phytosociologie sigmatiste*. 47 p. Ed. S.B.C.O., St-Sulpice-de-Royan.

C2	Le catalogue des séries et géoséries de végétation
Rédacteurs :	Anaïs Just, Jérôme Millet, Guillaume Choisnet
Contacts :	anaïs.just@fcbn.fr ; jerome.millet@fcbn.fr ; guillaume.choisnet@cbnmc.fr

Le catalogue des séries et géoséries s’attache à la description des complexes de végétations (les associations d’associations) en suivant l’approche dictée par la phytosociologie paysagère intégrée (symphytosociologie et géosymphytosociologie). L’intégration phytosociologique s’appuie sur deux niveaux typologiques bien distincts :

- le premier niveau d’intégration typologique étudie les assemblages de communautés et leurs liens dynamiques au sein d’un même compartiment écologique, permettant de caractériser les séries de végétation (symphytosociologie, phytosociologie dynamique ou sériale) ;
- le deuxième niveau d’intégration typologique étudie les assemblages de séries et de communautés au sein d’unités géomorphologiques homogènes hébergeant plusieurs compartiments écologiques ; il correspond aux géoséries de végétation (géosymphytosociologie, phytosociologie caténale).

Compte tenu de la taille spatialement variable des unités typologiques issues de l’intégration phytosociologique, les unités typologiques retenues ont dû être mise en adéquation avec les échelles de représentation cartographique du programme. Cinq niveaux de représentation spatiale sont prévus sachant que les catalogues et la cartographie s’appuient sur les unités typologiques de niveau 2 et 3 (tableau 1), c’est-à-dire les cellules paysagères – UTV de niveau 2 – et les unités de paysage (séries et petites géoséries) – UTV de niveau 3. Les niveaux supérieurs de représentation (4 et 5) seront déduits des niveaux inférieurs selon une méthode qui reste à préciser. Les catalogues des séries et géoséries ne concernent donc que les unités typologiques de niveau 2 et 3. De dimension départementale, s’appuyant sur une approche par petites régions naturelles (fiche C1), ils sont constitués de fiches descriptives des séries et des petites géoséries. Pour chacune d’elle les cellules paysagères sont précisées (fig. 1).

Tableau 1 : Niveaux de représentation cartographique et unités typologiques en découlant.

Niveaux	Unité typologique de végétation (UTV)
1	Association
2	Cellule paysagère sigmafaciès, géosigmafaciès de niveau microrelief
3	Unité de paysage Série, petite géosérie de niveau microrelief
4	Grande unité de paysage Géosérie de niveau mésorelief
5	Très grande unité de paysage Géosérie de niveau macrorelief

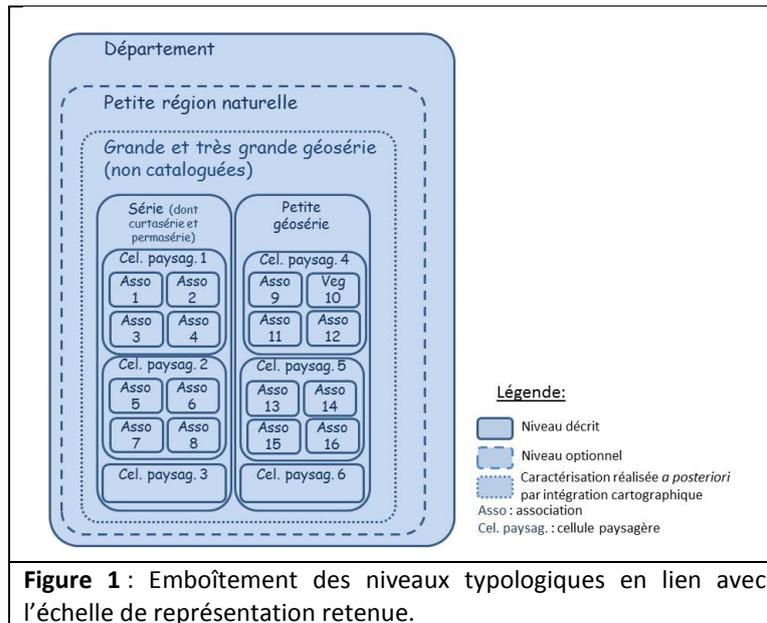


Figure 1 : Emboîtement des niveaux typologiques en lien avec l'échelle de représentation retenue.

Du fait que, sur le territoire métropolitain, aucun référentiel national, ni régional, de ces unités typologiques n'est disponible, et que relativement peu de littérature scientifique n'étaye ce sujet, la majorité des séries et géoséries doit être décrite *de novo*. Le programme CarHAB a donc pour objectif ambitieux de constituer un tel référentiel et de le rendre disponible aux utilisateurs.

1. Caractérisation et nomination des (géo)séries

La méthodologie pour la caractérisation des séries, petites géoséries (UTV de niveau 3) et cellules paysagères (UTV de niveau 2), suit les principes généraux de la phytosociologie intégrée (Béguin *et al.* 1979, Géhu 1986, 1991 & 2004, Géhu & Rivas-Martínez 1981, Lazare 2009, Mériaux & Géhu 1977, Rivas-Martínez 1976, 1987 & 2005, Theurillat 1992a & 1992b). Une avancée importante pour la définition d'un cadre méthodologique global et l'uniformisation des concepts a été réalisée dans un travail de synthèse, initié dans le cadre du programme CarHAB (Chalumeau & Bioret 2013), qui sera prochainement arrêté par la publication d'un article de synthèse (BIORET *et al.* à paraître).

De manière optimale, les séries, petites géoséries et cellules paysagères peuvent être définies selon une démarche inductive (fiche D3), c'est-à-dire au travers de l'analyse d'un corpus de relevés de végétation (sigmarelevés et géosigmatorelevés). Toutefois, il est envisageable de recourir à une méthodologie mixte, de type inductif-déductif, pour la caractérisation des (géo)séries. La phase déductive consiste à proposer un modèle théorique descriptif des complexes de groupements en s'appuyant sur les connaissances synécologiques et phytodynamiques : la (géo)série est caractérisée par les associations d'écologie analogue (étage de végétation, paramètres édaphiques et géologiques), connues sur le territoire, dont l'étude dynamique permet de restituer les trajectoires dynamiques. La phase inductive permet au travers de la réalisation de quelques relevés de végétation de confirmer la réalité de l'unité typologique pressentie.

La méthode de réalisation des relevés symphytosociologiques et géosymphytosociologiques est précisée dans les fiches D2 à D5. Au travers de l'analyse de plusieurs cas concrets (fiches D6 à D9 et F3), des propositions pour la caractérisation des unités typologiques sont faites.

La synthèse des (géo)sigmarelevés, obtenus suite à la mise en œuvre d'un plan d'échantillonnage, permet la caractérisation des séries, des géoséries et des cellules paysagères, en se basant sur leur composition syntaxonomique et leur trajectoire dynamique (liens dynamiques unissant les différents syntaxons).

Les **aspects nomenclaturaux**, retenus dans le cadre de CarHAB pour la dénomination latine des unités typologiques sont ceux suivis par la plupart des symphytosociologues (Chalumeau & Bioret 2013).

- **Série de végétation** : nom de l'association tête de série +(-o) *sigmetum*.

Ex. association tête de série

Scutellario columnae-Ostryeto carpinifoliae sigmetum Biondi 2002

Ex. sous-association tête de série

Geranio phaei-Fraxino excelsioris hesperido matronalis sigmetum Roux & Thébaud 2013 *prov.*

- **Permasérie** : nom de l'association permanente +(-o) *permasigmetum*.

Ex. : *Armerio maritimae-Festuco pruinosaes permasigmetum* Demartini & Bioret 2013 *prov.*

- **Curtasérie** : nom de l'association tête de curtasérie +(-o) *curtosigmetum*.

Ex. : *Ulici maritimi-Erico cinereaes curtosisgmetum* Demartini & Bioret 2013 *prov.*

- **Géosérie de végétation** : nom de l'association tête de la série dominante +(-o) *geosigmetum*.

Ex. : *Hyperico androsaemi-Alno glutinosaes geosisgmetum* Loidi, Biurrun, Campos, GarcíaCMijangos & Herrera 2011

- **Géopermasérie** : nom de l'association permasérie dominante +(-o) *geopermasigmetum*.

Ex. : *Armerio maritimae-Festuco pruinosaes geopermasigmetum* Demartini & Bioret 2013 *prov.*

- **Géocurtasérie** : nom de l'association tête de curtasérie dominante +(-o) *geocurtosisgmetum*.

Ex. : *Ulici maritimi-Pruno spinosaes geocurtosisgmetum* Demartini & Bioret 2013 *prov.*

Quelques cas particuliers dépendant du niveau de connaissance des unités typologiques sont précisés ci-dessous :

- attribution du suffixe '**prov.**' lorsque le sigmataxon n'a pas été publié ou lorsque l'association tête de série reste à décrire ;

Ex. : *Holco mollis-Querco streimerii sigmetum prov.*

- emploi d'une terminologie francisée lorsque la tête de série est méconnue mais hypothétique c'est-à-dire que la végétation potentielle peut-être qualifiée écologiquement et physiologiquement mais pas phytosociologiquement ;

Ex. : Série de la chênaie pubescente acidiphile des piémonts rhodaniens

- lorsque là où les têtes de séries ne sont pas connues, il est proposé de parler de « (géo)série associée à » (l'association de pelouse, lande, prairie...) ;

Ex. : Géosérie associée au *Scorzonero humilis-Serapietum linguae* Billy 2000

Les standards d'écriture retenus pour :

- l'**appellation française** des (géo)séries : Série de « nom français de l'association tête de série » ;

Ex. : Série de la Hêtraie-sapinière à Canche flexueuse

- la **diagnose courte descriptive** : type de série / bioclimat / chorologie / lithomorphologie / écologie / étage / nom français standardisé.

Ex. : Série édaphoxérophile du Massif central subatlantique/subcontinental, des sols d'origine métamorphiques acidiphiles, saxiphile, de l'étage collinéen de la Pinède à Genêt purgatif et Pin sylvestre.

Il est proposé que toute série, géosérie considérée comme nouvelle fasse l'objet d'une dénomination provisoire, d'une diagnose courte et d'une description physionomique (cellules paysagères) et écologique. La dénomination provisoire et la diagnose courte sont partagées au niveau national pour initier un référentiel commun dans le cadre de HABREF. Par ailleurs, les sigmarelevés alimentent le SINP, en lien avec le programme VegFrance. Un groupe d'experts en charge de l'analyse des données et de l'élaboration du référentiel national devra être constitué. À l'issue de l'analyse des données et sur la base des descriptions proposées provisoirement, des publications scientifiques sont produites en vue d'une évaluation par un comité de lecture. Dès lors que la publication est validée, les séries et géoséries intègrent le référentiel national et leurs noms sont utilisés de manière définitive dans les catalogues.

2. Stratification de l'échantillonnage

L'objectif principal vise à :

- inventier de manière équilibrée tous les types de séries et petites géoséries du territoire et, au sein de chacune d'elles, tous les types de cellules paysagères rencontrés ;
- produire des données d'apprentissage nécessaires à la réalisation du fond environnemental.

Il s'agit de partitionner le territoire en sous-ensembles les plus homogènes possibles en terme de :

- potentialités sériales (dans l'objectif de minimiser la variance intrastrate). Idéalement, il faut identifier et pré-cartographier tous les types de compartiments écologiques, chaque type de compartiment constituant une strate d'échantillonnage différente ;
- expression paysagère des potentialités sériales (les types de cellules paysagères en tant que sous-strate de la 'strate compartiment écologique').

Pour cela il est envisageable de s'appuyer sur les fonds pré-cartographiques : le fond environnemental vise à guider l'échantillonnage les tessellas ou groupes de tessellas proches et le fond physionomique, celui de la sous-strate 'cellule paysagère'. Cependant, si la pré-cartographie n'est pas disponible au démarrage de la phase typologique¹ il convient de se baser, au mieux sur un fond provisoire, sinon directement sur i) les paramètres environnementaux cartographiés pris isolément, avec croisement manuel pour identifier la strate écologique, ii) la segmentation PYRAM brute de l'IGN pour la sous-strate 'cellule paysagère'.

Un échantillonnage stratifié à trois niveaux est mis en place :

- niveau 1 : échelle des petites régions naturelles (ou strate équivalente) et des paramètres environnementaux globaux : secteurs bioclimatiques, étages de végétation ;
- niveau 2 : échelle des paramètres environnementaux locaux : substrats, indices d'humidité, insolation, formes de terrain, etc. (fiche B1) ;
- niveau 3 : échelle de la physionomie de la végétation (segmentation physionomique).

¹ Les expériences dans les départements tests ont montré que la production du fond écologique était un processus complexe qui nécessite une connaissance approfondie des facteurs écologiques déterminant les patrons de répartition des séries et géoséries. Cette connaissance est recueillie lors de la phase typologique d'élaboration des catalogues et le fond écologique définitif ne sera donc disponible qu'à l'issue de cette phase.

3. Pression et allocation d'échantillonnage

Pour la phase typologique, aucun seuil minimal de pression globale n'est fixé (pourcentage de la surface totale). On veille par contre à bien respecter les principes suivants :

- tous les types de situations possibles, c'est-à-dire, toutes les strates d'échantillonnage mises en évidence doivent être visitées ;
- allocation optimale : répartition des observations proportionnelle à la variabilité des strates, ce qui revient à une équi-répartition lorsque la variance interne de chaque strate est identique. Cependant, et les expériences sur les départements tests l'ont bien démontré, certaines situations sont bien plus complexes que d'autres et renferment potentiellement un nombre important d'unités de végétation différentes. En effet, les variables environnementales spatialisées ne sont pas systématiquement disponibles ou suffisamment précises pour réduire le champ des possibilités. Certaines de ces situations peuvent être repérées en amont. Il s'agit en particulier :
 - des zones humides dans lesquelles les potentialités sériales sont multiples et fonction du gradient d'humidité édaphique. Or cette humidité édaphique est généralement liée à des variations microtopographiques qui ne sont pas décelables avec les MNT actuels. Par ailleurs, la potentialité héritée de la situation topographique a pu être déviée par l'Homme : drainage et autres opérations d'assainissement, également non cartographiés. La strate correspondant aux zones humides devra être sur-échantillonnée par rapport à d'autres strates moins variables ;
 - des complexes de végétation prairiale, où les pressions anthropiques (pratiques agricoles) peuvent être très variables, et déterminantes sur la composition des cellules paysagères : fauché / pâturé ; gras (eutrophile) / maigre (mésotrophile). En particulier, les niveaux trophiques seront très difficilement modélisables puisqu'en très grande partie issus des pratiques d'amendements et de fertilisation, type d'information qui ne peut être obtenu à grande échelle dans le cadre de CarHAB.

Ainsi, toutes les strates jugées *a priori* hétérogènes sur le territoire devront être identifiées en amont de la phase de terrain, afin de répartir l'effort de prospections au prorata de leur variabilité interne supposée.

4. Choix des unités échantillon

Plusieurs facteurs additionnels sont à prendre en considération afin d'orienter efficacement le choix des enveloppes à prospector :

- favoriser les secteurs présentant un maximum de diversité au niveau de l'expression paysagère des séries (forte variabilité des types physiologiques), en évitant néanmoins les situations de trop forte fragmentation paysagère (risque accru de groupements fragmentaires ou basaux) ;
- favoriser des secteurs à forte variabilité tessellaire (optimisation du temps de prospection, compréhension des liens entre séries) ;
- minimiser le nombre de secteurs échantillons en privilégiant un vaste secteur d'un seul tenant présentant l'ensemble de la variabilité plutôt que plusieurs petits secteurs déconnectés. Cela pour deux raisons : i) favoriser la compréhension de l'ensemble du paysage végétal et du lien entre les unités typologiques, ii) permettre de fournir des enveloppes suffisamment étendues pour être valorisées dans l'élaboration du fond environnemental. À ce sujet, la surface minimale préconisée par les producteurs du fond

environnemental pour un calibrage efficace de la méthode est de 20 000 ha d'un seul tenant, ce qui pourra entrer en conflit, sur certains territoires, avec la nécessité de prospecter toutes les régions naturelles du territoire ;

- autres informations importantes à mobiliser pour orienter l'échantillonnage : données existantes attestant la présence de végétations à faible amplitude écologique (permet de cibler les meilleures expressions des séries dans le but de réaliser les sigmarelevés les plus saturés possibles), zonage ZNIEFF, cartes d'État-major et de Cassini pour localiser des secteurs de forêts anciennes (optimise en partie les chances d'échantillonner des groupements forestiers matures)...
- Les unités « échantillon » pourront être regroupées au sein d'enveloppes dans les régions naturelles. En fonction de la configuration et de la complexité de la région naturelle, un ou deux secteurs par région naturelle seront délimités afin de contacter l'ensemble des strates identifiées (strates environnementales et sous-strates physiologiques). Des unités supplémentaires moins étendues seront également sélectionnées sur les strates les plus hétérogènes, en dehors des grands secteurs cartographiés, afin d'augmenter leur effectif.

5. Types d'observation sur les unités « échantillon »

La caractérisation des cellules paysagères, séries et petites géoséries s'appuie sur la réalisation de (géo)sigmaterelevés (fiches D6 à D9 et F3). Une attention particulière sera portée au recueil d'informations écologiques, dans le but i) de définir précisément l'enveloppe écologique des tesselas et petites catenas, ii) d'obtenir des informations indisponibles *ex-situ* sur les degrés d'anthropisation (déviances due à l'eutrophisation, à l'assèchement, etc.).

Dans l'optique de valider les fonds pré-cartographiques, certains des secteurs délimités feront l'objet d'une cartographie surfacique : il s'agit de cartographier l'ensemble des tesselas (support des séries) ou petites catenas (support des petites géoséries) du secteur, et de délimiter dans chacune d'elles les différentes cellules paysagères observées.

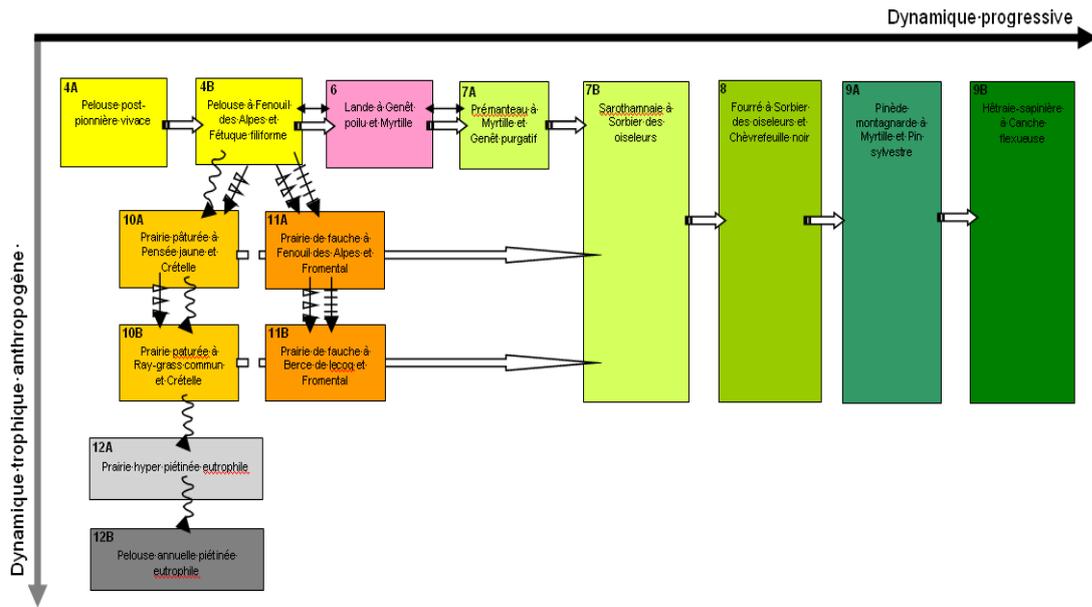
6. Format des catalogues des séries et géoséries

Les informations relatives aux séries et petites géoséries sont structurées dans une base de données dont le format comprend plusieurs modules qui s'inscrivent au sein de quatre grandes catégories (métadonnées, synsystème, descriptif structural et écologique, intérêt patrimonial et conservation). Les modules sont décrits ci-dessous (tab. 2).

Tableau 2 : Modules des catalogues des séries et géoséries

Métadonnées	
Catalogue	indique l'identifiant unique et le libellé du catalogue, sa version, sa date de création et de dernière mise à jour, le type et le nom du territoire concerné et potentiellement l'emprise géographique du territoire
Source	mentionne les références bibliographiques, la date de création et l'auteur de la ligne renseignée
Synsystème	
Complexe de végétation	porte la dénomination latine harmonisée, le nom français, une diagnose courte, un identifiant unique et la synonymie éventuelle
Descriptif structural et écologique	
Diagnostic écologique	fournit des informations sur la lithologie, la géologie, la pédologie, l'étage de végétation, le bioclimat, les facteurs biotiques et les usages
Diagnostic chorologique	précise la distribution géographique (répartition générale) et la répartition dans le territoire étudié
Diagnostic structural	donne le sigmafaciès d'expression spatiale et le diagnostic dynamique sous forme de schéma (fig. 2)
Diagnostic sigmasystème	est établi sous forme de tableau (tab. 2)
Variabilité sériale	précise la variabilité observée dans la (géo)série
Végétations associées	liste des groupements ou complexes de groupements de faible étendue susceptibles d'être rencontrés
Intérêt patrimonial et conservation	
Diagnostic de conservation	précise la rareté, l'endémisme, les végétations remarquables, les habitats communautaires, les habitats d'espèces remarquables et si possible les menaces et l'état de conservation

Les séries font l'objet d'un schéma dynamique qui indique les stades progressifs et régressifs et leurs trajectoires dynamiques en suivant le format de la figure 2.



- 4A-- Pelouse vivace pionnière à Fétuque d'Auvergne
Groupement à étudier / *Koeleria macrantha*-*Pheion phleoidis*
- 4B-- (CV1-46) Pelouse vivace à Fenouil des Alpes et Fétuque filiforme
Groupement à *Meum athamanticum* et *Festuca filiformis* / *Gallo saxatilis*-*Festucion filiformis*
- 6-- (CV1-91) Lande montagnarde à Genêt poilu et Myrtille
Groupement à *Genista pilosa* et *Vaccinium myrtillus* / *Genista pilosae*-*Vaccinium uliginosum*
- 7A-- (CV1-93) Prémanteau montagnard à Myrtille et Genêt purgatif
Teucrium scorodoniae-*Cytisium purgantis* Coquillard 1993 / *Cytisium oromediterraneum*-*scoparii*
- 7B-- (CV1-136) Sarothamnais montagnard à Sorbier des oiseleurs
Groupement à *Sorbus aucuparia* et *Cytisus scoparius* / *Sarothamnion scoparii*
- 8-- (CV1-136) Fourré montagnard à Sorbier des oiseleurs et Chèvrefeuille noir
Sorbo aucupariae-*Lonicetum nigrae* de Foucault 1987 / cf. *Pruno spinosae*-*Rubion idulae*
- 9A-- Pinède montagnarde à Myrtille et Pin sylvestre
Groupement à *Vaccinium myrtillus* et *Pinus sylvestris* / *Cytisium oromediterraneum*
- 9B-- (CV1-169) Hêtraie-sapinière montagnarde acidiphile à Canche flexueuse
Deschampsia flexuosa-*Fagetum sylvaticae* Lamée 1959 nom inv. / *Luzulo luzubidis*-*Fagion sylvaticae*
- 10A-- (CV1-75) Prairie pâturée montagnarde à Pensée jaune et Crételle
Groupement à *Viola lutea* et *Cynosurus cristatus* / *Cynosurion cristati*
- 10B-- (CV1-76) Prairie pâturée eutrophile à Ray-grass commun et Crételle
Lolium perennis-*Cynosuretum cristati* / *Cynosurion cristati*
- 11A-- (CV1-69) Prairie de fauche montagnarde des sols acides à Fenouil des Alpes et Fromental
Groupement à *Meum athamanticum* et *Arrhenatherum elatius* / *Trisetum flavescens*-*Polygonion bistortae*
- 11B-- (CV1-71) Prairie de fauche montagnarde eutrophile à Berce de lécoq et Fromental
Heracleo lecoqui-*Arrhenatherum elatius* de Foucault 1989 / *Arrhenatheron elatius*
- 12-- Végétation hyperpiétinée montagnarde à Ray-grass anglais et Grand plantain
Groupement à étudier / *Lolium perennis*-*Plantagion majoris*
- 13-- Végétation annuelle hyperpiétinée à Pâture annuelle
Groupement à étudier / *Polygonum arenastrum*-*Poetea annuae*

NB : Les végétations des coupes et des ourlets intraforestiers doivent encore être intégrées

Figure 2 : Modèle type de schéma dynamique d'une série

Pour les géoséries un schéma sous forme de transect est réalisé.

Pour chaque série et petite géosérie, une description syntaxonomique des (géo)sigmatifaciès est donnée en suivant le format du tableau 3.

Tableau 3 : Description syntaxonomique des (géo)sigmatifaciès

Type de (géo)sigmatifaciès	Composition syntaxonomique	Indicateur floristique
Type 1 (ex : « prairial gras »)	etum 1 (60 %) ; - etum 2 (40 %)	espèce 1 ; espèce 2 ; ...
Type 2 (ex : « forestier »)	etum 4 (35 %) ; - etum 5 (30 %) ; - etum 6 (25 %)	espèce 3 ; espèce 4 ; ...
Type 3 (ex : « bocager »)	etum 7 (40 %) ; - etum 8 (40 %) ; - etum 9 (20 %) ; - etum 10 (+)	espèce 5 ; espèce 6 ; ...
Etc.

Pour accéder aux informations contenues dans le catalogue, il convient de se rapprocher du CBN compétent sur le territoire d'étude.

BIBLIOGRAPHIE

Béguin C., Géhu J.-M. & Hegg O., 1979. – La symphytosociologie: une approche nouvelle des paysages végétaux. *Documents phytosociologiques*, **IV** : 49–69.

Bioret F., Boulet V., Choynet G., Roux C., Thébaud G., Panaïotis C., Chalumeau A., Delbosc P., Demartini C., Gauberville C., Cianfaglione K., Bernard C.-E., Bensettiti F. & Lalanne A., 2017 - Landscape phytosociology concepts and definitions applied to serial and catenal vegetation mapping. *Botany letters* à paraître.

Chalumeau A. & Bioret F., 2013 – *Méthodologie de cartographie phytosociologique en Europe : approches symphytosociologique et géosymphytosociologique. Synthèse bibliographique*. Rapport Institut de Géoarchitecture – Université de Bretagne occidentale, Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 124 p.

Géhu J.-M., 1986. – Des complexes de groupements végétaux à la phytosociologie paysagère contemporaine. *Informatore botanico italiano*, **18** (1-2-3) : 53-83.

Géhu J.-M., 1991a. – La phytodynamique : approche phytosociologique. *Colloques phytosociologiques*, **XX** : 15-28.

Géhu J.-M., 1991b. – L'analyse symphytosociologique et géosymphytosociologique de l'espace. Théorie et méthodologie. *Colloques phytosociologiques*, **XVII** : 11-46.

Géhu J.-M., 2004. – La symphytosociologie trente ans plus tard (1973-2003) Concepts, systematisation, applications. *Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest*, N.S., **35** : 63- 80.

Géhu J.-M. & Rivas-Martínez S., 1981. – *Notions fondamentales de phytosociologie*. Berichte der Internationalen Symposien der Internationalen Vereinigung für Vegetationskunde. Syntaxonomie, J. Cramer, Berlin : 5–33.

Lazare J.-J., 2009. – Phytosociologie dynamico-caténale et gestion de la biodiversité. *Acta Botanica Gallica*, **156** (1) : 46-61.

Mériaux J.-L. & Géhu J.-M., 1977. – *De l'analyse symphytosociologique des complexes de végétation à celle des végétations complexes. Exemple des groupements aquatiques et subaquatiques*. In R. Tüxen (ed.) : *Assoziationskomplexe (Sigmeten)*, Rinteln, J. Cramer : 97-116.

Rivas-Martínez S., 1976. – Sinfitosociologia, una nueva metodologia para el estudio del paisaje vegetal. *Anal. Inst. Bot. Cavanilles*, **33** : 179-188.

Rivas-Martínez S., 1987a. – *Memoria del mapa de series de vegetación de España*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Editions I.C.O.N.A. Série Técnica, Madrid. 268 p.

Rivas-Martínez S., 1987b. – *Introducción : Nociones sobre fitosociología, biogeografía y bioclimatología*. In Peinado-Lorca M. & Rivas-Martínez S. (eds), *La vegetación de España*, Madrid : 19-45.

Rivas-Martínez S., 2005. – Notions on dynamic-catenal phytosociology as a basis of landscape science. *Plant Biosystems*, **139** (2), 135–144.

Theurillat J.-P., 1992a. – *Études symphytocoenologiques dans la région d'Aletsch (Valais, Suisse)*.
Thèse de doctorat ès Sciences, Université de Berne, 398 p.

Theurillat J.-P., 1992b. – L'analyse du paysage végétal en symphytocoenologie : ses niveaux et leurs domaines spatiaux. *Bulletin d'Écologie*, **23** (1-2): 83-92.

C3	Représentation cartographique & choix sémiologiques
Rédacteurs :	Stéphane Perera
Contacts :	stephane.perera@cbnmc.fr

Les couleurs et formes utilisées dans les représentations cartographiques CarHAB doivent nécessairement s'appuyer sur un référentiel unique et partagé par l'ensemble des utilisateurs de manière à ce que toutes les contributions (cartes, catalogues, fiches) présentant les unités de végétations soient graphiquement cohérentes à l'échelon local comme à l'échelon national. La lisibilité doit pouvoir être assurée aussi bien pour un porte à connaissance au 1/25 000 qu'au 1/100 000 voire au-delà. À cet effet, il est proposé d'adopter les choix sémiologiques suivants, selon les échelles de représentation :

- **Au 1/25 000** : une **palette de couleurs « restreinte »** distingue les **séries de végétation** selon leurs compartiments écologiques restreints (gradients ioniques et hydriques) ;
- **> 1/25 000** : une **palette de couleurs « étendue »** permet de représenter les **étages de végétation** et les **domaines biogéographiques** considérés en faisant varier la palette de base en **luminosité** (+ ou – foncé ou clair) et en **teinte** (+ ou – rouge, vert ou bleu) ;
- **< 1/25 000** : la **physionomie** des syntaxons est distinguée à l'aide de **trames** se superposant aux couleurs de fonds

1. Le choix des couleurs (séries de végétation)

a. Palette restreinte : détermination des couleurs de base

Dans la poursuite des travaux sémiologiques réalisés par GAUSSEN (1954), OZENDA (1982) et PEDROTTI (2004, 2013), mais aussi dans le prolongement des cartographies de végétation éditées par le CNRS, la sémiologie proposée ici s'appuie sur les codes colorimétriques habituellement utilisés, à savoir :

- des **tons « chauds »** (rouge, orange, jaune) pour symboliser les **végétations à caractère méditerranéen, en situations chaudes et sèches (xérophiles)** ;
- des **tons « froids »** (bleu, cyan, turquoise) pour représenter les **végétations humides (hygrophiles)** ; des **tons plutôt verts** pour les végétations de **plaine...**
- des **tons foncés** pour les **végétations fortement ombragées**, généralement des **stades terminaux** des successions végétales, **clairs pour celles plus ensoleillées** et correspond généralement à des **stades pionniers**.

Outre ces principes de base, la palette de couleurs CarHAB a été travaillée de manière à s'inscrire d'emblée dans un espace colorimétrique réduit (gamut), tant en trichromie (RVB : Rouge-Vert-Bleu) utilisée par la plupart des systèmes numériques (ordinateurs, écrans TV, tablettes...) qu'en quadrichromie (CMJN : Cyan-Magenta-Jaune-Noir) utilisée en impression offset (imprimés, catalogues, cartes...). Cette précaution présente l'avantage de pouvoir passer d'un système à l'autre sans changement ni perte de couleurs, mais aussi l'inconvénient d'utiliser une palette de couleur réduite.

Les productions cartographiques étant généralement réalisées sous SIG, les couleurs sont codifiées, à cet effet, en RVB ; les conversions en CMJN seront réalisées sous logiciels de PAO par des professionnels du graphisme et de l'impression, en fonction des projets, en veillant aux respects des profils colorimétriques incorporés dans les fichiers. Par conséquent, seules les valeurs RVB des différentes couleurs sont indiquées ici.

Les zones artificielles et/ou exemptes de végétation (bitume, glacier...) ne sont pas colorées (fond blanc ou transparent).

Les valeurs RVB de la couleur d'une série de végétation sont déterminées par la lecture de la palette de couleurs CarHAB (tab. 1), en sélectionnant les critères ioniques et hydriques qui caractérisent la série.

Exemple :  Géosérie de la Pinède à Cytise purgatif (sec ; hyperacide) de l'étage collinéen supérieur
Rouge = 228 ; Vert = 0 ; Bleu = 48.

Tableau 1 : Palette de couleurs CarHAB - Répartition des teintes de base selon les critères écologiques

PROPOSITION 2B	Hyperacido- phile	Acidophile	Acidocline	Neutrocline à perbasophile	Hyperbaso- phile
1_hyperxérophile et 2_perxérophile	R 227 V 0 B 15	231 36 13	241 119 8	251 202 2	R 255 V 237 B 0
3_xérophile	227 0 26	228 36 24	230 120 20	230 196 10	230 228 6
4_mésoxérophile	228 0 48	221 37 47	207 122 44	187 184 26	179 211 19
5_mésoshydrique	228 0 81	212 37 81	173 124 80	123 167 50	102 185 38
6_mésoshygrophile-cline	229 0 125	199 38 126	128 128 128	38 143 83	0 150 63
7_hygrophile	174 11 127	151 43 132	97 119 143	29 142 122	0 152 112
8_hydrophile	120 22 129	104 48 138	66 109 159	20 141 161	0 155 161
9_amphibie saisonnière	74 31 130	64 52 142	40 102 171	12 140 193	0 157 202
10_amphibie permanente	56 34 131	48 54 144	29 99 176	9 140 206	0 158 219
11_aquatique	R 47 V 36 B 131	40 54 145	24 97 179	7 140 213	R 0 V 158 B 227

b. Palette étendue : modulation des couleurs de base selon l'étage de végétation et le domaine biogéographique

Lorsqu'il est nécessaire de représenter les séries concernées par des étages de végétation et des domaines biogéographiques différents, il est conseillé d'utiliser une palette de couleurs plus étendue. Les valeurs RVB de la palette de couleurs CarHAB sont alors différenciées selon l'étage de végétation et le domaine biogéographique considérés selon les principes suivants :

- valeurs de plus en plus claires selon l'altitude croissante, plus foncée selon l'altitude décroissante, par rapport à l'étage moyen de référence (ici le collinéen supérieur).
- Teintes plus rouges pour le domaine méditerranéen, plus jaunes pour le domaine atlantique, plus bleues pour le domaine continental, plus violet pour le domaine montagnard (fig. 1.)

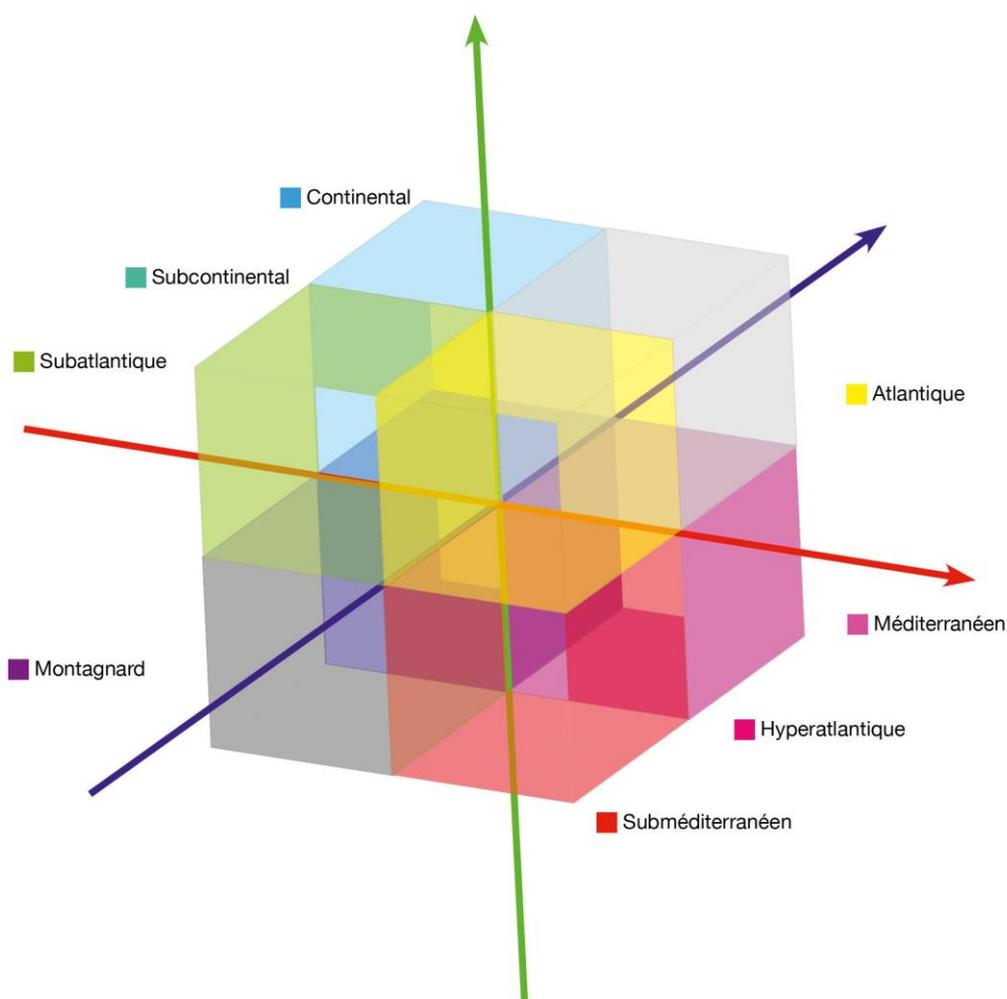


Figure 1 : Exemples de variation de la palette de couleurs CarHAB selon les axes rouges, verts et bleues déterminant les couleurs et selon les domaines biogéographiques considérés.

L'utilisation de l'**application web dédiée¹** ou de la **grille de calcul** (tableur) est indispensable pour générer une couleur de référence en fonction de l'étage de végétation et du domaine biogéographique qui caractérisent l'unité de végétation à représenter. Il suffit alors de renseigner chaque cellule de la grille de calcul en sélectionnant les critères adéquats, puis de se reporter au tableau de valeurs RVB généré à l'issue du calcul :

- L'onglet DOMAINES propose une liste déroulante permettant de sélectionner le domaine biogéographique concerné (à défaut, sélectionner "0_indéterminé") ;
- L'onglet ÉTAGES propose une liste déroulante permettant de sélectionner l'étage de végétation concerné (à défaut, sélectionner "0_indéterminé") ;
- L'onglet TABLE RVB donne les valeurs RVB des couleurs des différentes séries selon leurs caractéristiques hydriques et ioniques. Cette table n'est valable que pour le domaine biogéographique et l'étage de végétation indiqués dans les précédents onglets (voir ci-dessus).
- (L'onglet "----Références----" est une table de données de référence à ne pas modifier).

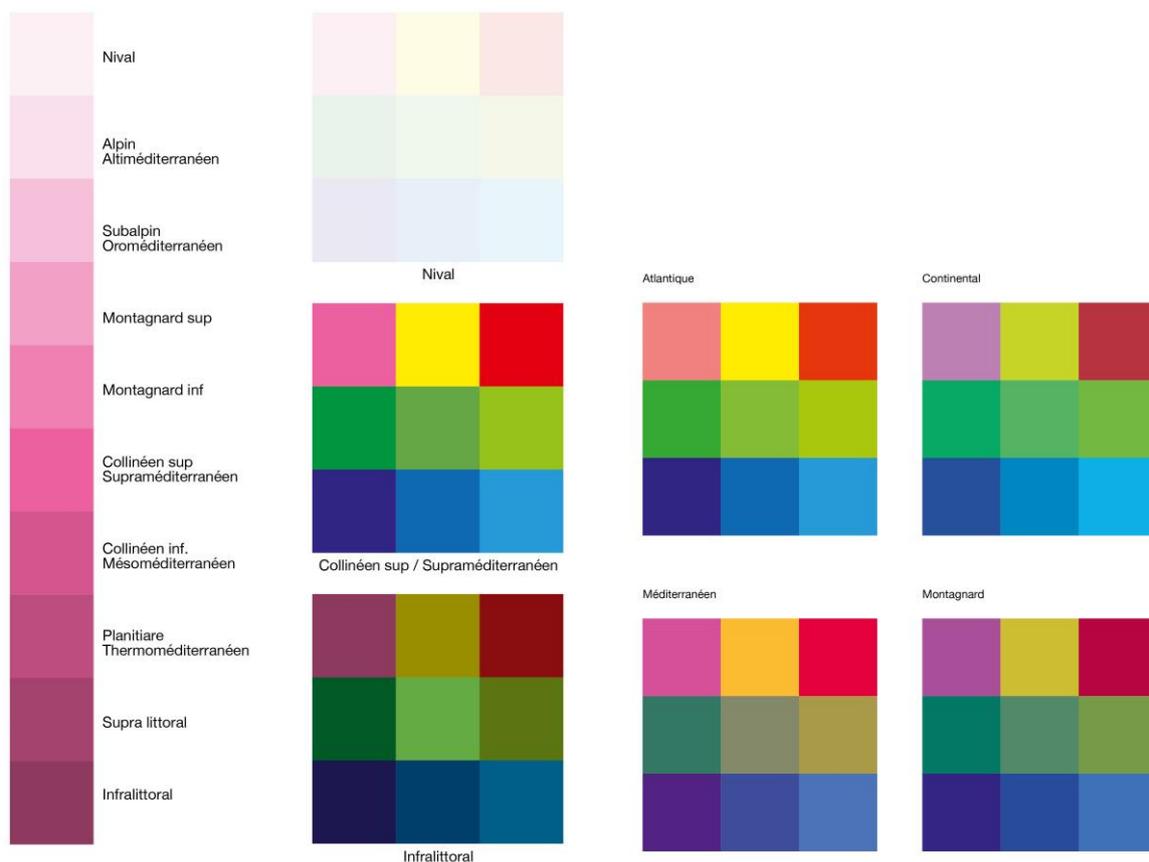
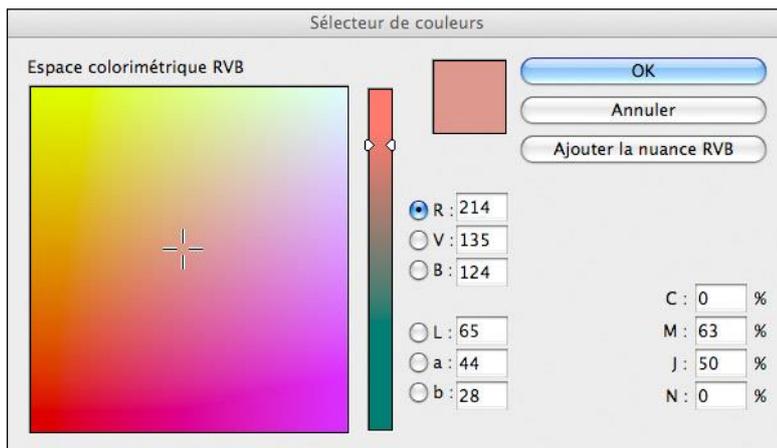


Figure 2 : Exemples de variation de la palette de couleurs CarHAB selon les étages de végétation et domaines biogéographiques considérés.

¹ Cette application n'est pas encore disponible.



La grille de calcul renvoie les valeurs RVB de la couleur appropriée. Ce code RVB est ensuite à renseigner, pour chaque unités de végétation, dans les modules spécifiques des logiciels utilisés pour la production du support visuel (palette de couleurs SIG, traitement texte, logiciels de mise en page etc.) (cf. fig. 3).

Figure 3 : Palette de couleur personnalisable sous Adobe Photoshop et Indesign.

2. Le choix des trames (catégories physiologiques)

Les cellules paysagères sont représentées à l'aide de trames qui se superposent aux fonds colorés (fig. 4). On recherche alors la plus grande analogie avec les symboles cartographiques utilisés par l'IGN dans ses cartes au 1/25000. Hormis pour les forêts (matures) (aplat de couleur sans trame), les trames sont composées en blanc ou gris moyen et se superposent à la couleur de fond (figure 4).

Faciès	Description graphique	Trame	Aperçu fond clair	Aperçu fond moyen	Aperçu fond foncé
Végétations aquatiques	lignes ondulées				
Végétations marécageuses, tourbières	lignes ondulées pointillées				
Minéral peu végétalisé	lignes chaotiques en courbes de niveaux				
Cultures, vignes	traits pointillés espacés				
Plantations, vergers	cercles espacés				
Végétations pelousaires	points fins espacés				
Végétations prairiales	points moyens espacés				
Végétations prairiales paturées	points larges rapprochés				
Végétations prairiales fauchées	cercles larges rapprochés				
Végétations herbacées hautes, roselières, méga-phorbiaies...	gros points espacés				
Végétations de bocages herbagers	traits verticaux espacés fins				
Végétations de bocages cultureux	traits horizontaux espacés fins				
Végétations landicoles (chaméphytes...)	lignes diagonales peu épaisses				
Complexes de recolonisation	ligne verticale épaisses				
Végétations de pré-bois et parcours boisé	lignes verticales moyennes				
Végétations pionnières forestières	ligne verticales fines				
Végétations forestières mûres	aplat de couleur				

Figure 4 : Aperçu des trames sur 1 cm²

3. Etiquettes

Les étiquettes, permettant de faire correspondre les polygones cartographiés, les légendes des cartes et les tables de référence sont composées d'un code chiffre + lettre renvoyant au référentiel des végétations CarHAB.

Cette codification reste à définir selon les tables de références qui seront élaborées au fil du projet CarHAB.

C4	Typologie des cellules paysagères
Rédacteurs :	Emmanuel Catteau, Guillaume Choisnet, Jérôme Millet
Contacts :	e.catteau@cbnbl.org ; guillaume.choisnet@cbnmc.fr , jerome.millet@fcbn.fr

1. Aquatique

Cellule paysagère dont la physionomie est liée à la présence d'une lame d'eau libre plus ou moins colonisée par des végétations d'hydrophytes, à laquelle peuvent s'associer 25 % de végétations diverses (herbacée ou ligneuse), généralement établies en ceinture de la pièce d'eau et largement dépendantes d'elle.

Ex : *Charetea fragilis*, *Lemnetea minoris*, *Potametea pectinati*, *Ruppiaetea maritimae*



2. Arbustive

Cellule paysagère dont la physionomie est attachée à la présence de végétations arbustives occupant plus de 75 % de l'espace. L'abondance des arbustes jointifs et l'absence de clairières herbacées correspondant à des stades dynamiques antérieurs persistants, donne une physionomie homogène (si la physionomie est mixte avec herbacées et arbustes, voir "recolonisation"). Il correspond essentiellement à des systèmes primaires (couloirs d'avalanches, éboulis, littoral) mais aussi à des séries bloquées au stade arbustif (curtaséries), présentes sur corniches rocheuses, pieds de barres, etc.

Ex : *Crataego monogynae - Prunetea spinosae*, *Franguletea alni*, *Cytisetea scopario-striati*, *Salicetea purpureae*



3. Bocage culturel

Cellule paysagère dont la physionomie se traduit par un maillage de parcelles de cultures ou de prairies temporaires de surface irrégulière délimitées par des haies ou des talus boisés.



4. Bocage herbagé

Cellule paysagère dont la physionomie se traduit par un maillage de parcelles dominées par des prairies permanentes et délimitées par des haies ou des talus boisés. Les points d'eau sous forme de mare abreuvoir ou d'accès à un cours d'eau sont fréquents.

Ex : *Crataego monogynae* - *Prunetea spinosae* et *Arrhenatheretea elatioris* ...



5. Chaméphytique

Surface occupée à plus de 50 % par des végétations de chaméphytes (landes, garrigues basses ...). Les végétations chaméphytiques succulentes des estuaires (notamment à salicornes pérennes) entrent dans cette catégorie. Les autres types de végétations, quand ils sont présents, sont généralement des fourrés pionniers et des pelouses. Le substrat minéral non végétalisé peut également couvrir une surface conséquente. Ce type de cellule correspond à des biotopes à très fortes contraintes (pauvreté en nutriments, sols sursalés...).

Ex : *Calluno vulgaris* - *Ulicetea minoris*, *Rosmarinetea officinalis*, *Cisto ladaniferi* - *Lavanduletea stoechadis*. L'*Ericion tetralicis* est le plus souvent traité en cellule paysagère de tourbière. *Salicornietea fruticosae*.



6. Culturale

Cellule paysagère dont la physionomie est imprimée par la présence de cultures herbacées (généralement annuelles), au sein desquelles la végétation adventice vivace et annuelle se développe de manière assez éparse.

Ex : *Stellarietea mediae*, *Agropyretea pungentis* (*Agropyretalia intermedio-repentis*)



7. Forestière

Cellule paysagère dont la physionomie est liée à la présence de végétations forestières dont la strate arborescente est haute et dense, de telle manière que la flore herbacée du sous-bois, conditionnée par la faible luminosité et les autres paramètres du climat forestier, est très différente de la flore des milieux ouverts environnants. Les végétations associées (clairières, chemins, lisières internes, etc.) également conditionnées par le climat forestier, relèvent elles aussi de ce type de cellule. Des végétations à strate arborescente plus basse et plus claire peuvent être présentes, elles s'inscrivent en général dans la dynamique cyclique de cicatrisation de la forêt et leur sous-bois est peu différent de celui de la forêt fermée. Les clairières et coupes associées représentent moins de 25 %.



8. Forestière pionnière

Cellule paysagère dont la physionomie est attachée à la présence de végétations dont la strate arborescente est moyennement haute (7 à 15 m environ) et peu dense, de telle manière que la flore herbacée du sous-bois et des milieux associés est peu différente de la flore des milieux ouverts parce que les conditions microclimatiques sont encore peu contraignantes. La flore herbacée du sous-bois est donc souvent composée d'espèces de friches et d'ourlets. Les espèces de la strate arborescente sont des espèces ligneuses pionnières aux bonnes capacités de dispersion et à la croissance rapide (*Betula*, *Salix*, *Populus*, *Pinus*, etc.). Comme la colonisation est récente et synchrone, la strate arborescente est équiennne et peu structurée.



9. Herbacée haute

Cellule de paysage dont la physionomie est imprimée par une végétation herbacée vivace à forte biomasse couvrant plus de 75 % de la surface, dont les espèces ont généralement un port ramifié, avec des feuilles caulinaires nombreuses et une inflorescence souvent de grande taille. La formation végétale typique est l'ourlet au sens large, incluant mégaphorbiaies, roselières et cariçaies. Les ligneux représentent moins de 25 % de la surface.

Ex : *Phragmites australis* - *Magnocaricetea elatae*, *Filipendulo ulmariae* - *Convolvuletea sepium*, *Galio aparines* - *Urticetea dioicae*, *Trifolio medii* - *Geranietea sanguinei*, *Epilobietea angustifolii*, *Mulgedio alpini* – *Aconitetea variegati*.



10. Minérale peu végétalisée

Cellule paysagère très peu couverte par la végétation, hormis la végétation cryptogamique (souvent éparse) et parfois une végétation herbacée annuelle assez clairsemée. La physionomie est donnée par le substrat nu. Les végétations pionnières herbacées et ligneuses apparaissent par plages mais elles sont de faible surface et ne couvrent pas significativement le substrat. S'observe typiquement en situation d'éboulis, de dalles rocheuses, de parois, de falaises, sur les estrans...

Ex : grèves alluvionnaires : *Chenopodium rubri*, *Bidens tripartitae*, *Heleochoilon schoenoidis*.



11. Pelousaire

Cellule paysagère dont la physionomie est liée à la présence de pelouses occupant plus de 75 % de la surface, que ces pelouses soient hygrophiles, mésophiles ou xérophiles.

Ex : *Festuco valesiaca* - *Brometea erecti*, *Nardetea strictae*, *Koelerio glaucae* - *Corynephoretea canescentis*, *Littorelletea uniflorae*, *Sedo albi* - *Scleranthetea biennis*, *Violetea calaminariae*.



12. Plantation

Cellule paysagère plantée de ligneux assez denses, de plus de 5 mètres de haut. La strate herbacée n'étant plus entretenue, elle a très souvent un faciès herbacé haut, sauf en fin de cycle où la végétation commence à présenter des affinités avec les formations forestières. Ce type de cellule paysagère est souvent très homogène mais il est possible de trouver de petites clairières occupées par une végétation herbacée haute, des voies de communication, des fossés et de petits plans d'eau.



13. Prairie

Cellule paysagère dont la physionomie est attachée à la présence de végétations de prairies vivaces couvrant plus de 50 % de la surface. La cellule intègre également les végétations associées aux végétations prairiales dominantes : entrées de parcelles surpiétinées, reposoirs à bétail, végétations herbacées hautes, etc.

14. Prairie fauchée

Cellule paysagère dont la physionomie est liée à la présence de végétations de prairies vivaces fauchées couvrant plus de 50 % de la surface. La fauche produit des paysages assez homogènes du point de vue phytocénotique, avec peu de végétations associées à la végétation prairiale *sensu stricto*. En fonction de l'intensité et de la régularité de la fauche, on pourra néanmoins trouver des végétations d'ourlets associées, liées à la déprise. Dans ces paysages fauchés, quelques parcelles peuvent héberger une végétation de prairie pâturée. Dans les entrées de parcelles, se trouvent quelques végétations de milieux piétinés.

Ex : *Brachypodio rupestris* - *Centaureion nemoralis*, *Trifolio montani* - *Arrhenatherenion elatioris*, *Colchico autumnalis* - *Arrhenatherenion elatioris*, *Bromion racemosi*, *Oenanthion fistulosae*...



15. Prairie pâturée

Cellule paysagère dont la physionomie est fixée par la présence de végétations de prairies vivaces pâturées couvrant plus de 50 % de la surface. Le pâturage produit des paysages hétérogènes à l'échelle parcellaire, avec des entrées de pâture hébergeant des végétations piétinées, des reposoirs à bestiaux dont la végétation est celle d'une friche nitrophile, des abreuvoirs aux végétations aquatiques et amphibies, des rochers, des fourrés ponctuels... Quelques parcelles peuvent héberger une végétation de prairie fauchée.

Ex : *Cynosurion cristati*, *Oenanthion fistulosae*, *Lolio perennis* - *Plantaginion majoris*, *Mentho longifoliae* - *Juncion inflexi* (pp), *Ranunculo repentis* - *Cynosurion cristati*, *Potentillion anserinae*



16. Pré-bois et parcours boisé

Cellule paysagère définie par « une gestion productive mixte, pastorale et sylvicole. Selon la part respective de ces deux activités, [elle] présente un aspect très variable, situé entre deux extrêmes : d'un côté le pâturage intensif parsemé de quelques arbres et, de l'autre, la forêt fermée sporadiquement parcourue. [...] Le pâturage boisé se définit structurellement par l'assemblage complexe de communautés végétales élémentaires muscinales, herbacées (prés pâturés, pelouses, ourlets...), arbustives (fourrés, manteaux, buissons) et arborescentes (arbres isolés ou en bosquets plus ou moins denses et étendus).» (Gallandat *et al.*, 1995). En France, les cellules paysagères de pré-bois sont localisées à l'étage montagnard des massifs du Jura, des Alpes et des Vosges. Dans le cadre du programme CarHAB, le pré-bois se définit par un paysage où ni la prairie, ni la forêt ne couvrent plus de 75 %.



17. Recolonisation

Cellule paysagère de physionomie mixte, associant des végétations herbacées hautes et des végétations arbustives associés à d'autres végétations (souvent des végétations de pelouses ou de prairies, des chaméphytaies, des éléments ponctuels de forêt pionnière...). Ce type de cellule paysagère est lié à une dynamique active, non contrainte par la gestion : herbages à l'abandon, coupes forestières en cours de recolonisation, etc. Néanmoins, cette dynamique peut être assez lente, voire très lente (systèmes dunaires, roselières boisées).

Ex : **Fourrés** (non exhaustif) *Cytisetea scopario-striati*, *Crataego monogynae* - *Prunetea spinosae*, *Franguletea alni* ; **Végétations herbacées hautes** (non exhaustif) *Phragmito australis* - *Magnocaricetea elatae*, *Onopordetalia acanthii*, *Melampyro pratensis* - *Holcetea mollis*, *Trifolio medii* - *Geranietea sanguinei*, *Filipendulo ulmariae* - *Convolvuletea sepium*, *Galio aparines* - *Urticetea dioicae*, *Epilobietea angustifolii* ; **Friches** de l'*Equiseto ramossissimi* - *Elytrigion campestris*, etc...



18. Tourbière

Cellule paysagère de physionomie mixte, pouvant associer des végétations herbacées, arbustives et arborescentes se développant sur un sol saturé en permanence d'une eau stagnante ou très peu mobile. Ce type de cellule paysagère est lié à une dynamique qui peut être assez lente voire très lente. Malgré l'hétérogénéité des conditions de biotope (en particulier d'humidité), ces complexes tourbeux sont traités comme une unique cellule paysagère en raison de la répétitivité des combinaisons de végétations et de leur très grande intrication spatiale. Ce type de cellule correspond à des tourbières dont le fonctionnement est bien conservé, aux substrats oligotrophes à mésotrophes. Ce type de cellule ne doit plus être utilisé lorsque la dégradation de la tourbière provoque la perte d'originalité des végétations et de la répétitivité de leurs combinaisons.

Ex : *Oxycocco palustris* - *Sphagnetea magellanici*, *Scheuchzerio palustris* - *Caricetea fuscae*.



19. Verger

Cellule de paysage définie par une gestion d'arbres fruitiers.



20.Vigne

Cellule paysagère définie par une gestion de vignes.



D1	Relevé phytosociologique
Rédacteurs :	Emmanuel Catteau, Guillaume Choisnet, Gilles Corriol
Contacts :	e.catteau@cbnbl.org ; guillaume.choisnet@cbnmc.fr ; gilles.corriol@cbnpmp.fr

Le fondement méthodologique de la phytosociologie classique est le relevé de végétation dont l'analyse constitue l'étape fondatrice sur laquelle s'appuie la caractérisation des unités typologiques. Le relevé phytosociologique exige une certaine pratique et requiert quelques précautions élémentaires. Un relevé doit donner une image aussi fidèle que possible de la communauté telle qu'elle se présente sur le terrain.

La méthode de réalisation du relevé phytosociologique sigmatiste (Braun-Blanquet, 1928 ; Guinochet, 1973 ; Delpech, 1996 ; Géhu & Rivas-Martínez, 1981) est certainement la moins problématique mais requiert toutefois une exigence de qualité à la fois d'ordre floristique, c'est-à-dire quant à l'exactitude et la finesse des déterminations, d'ordre structurale et d'ordre synécologique portant sur l'homogénéité du milieu (Géhu, 2000).

1. Période

Les relevés sont réalisés aux alentours de la période optimale d'expression de la végétation.

2. Délimitation spatiale

Pour chaque type de végétation, un espace homogène est recherché du point de vue :

- des conditions stationnelles (sol, topographie, microclimat) ;
- de la physionomie de la végétation (3 dimensions) ;
- de la composition floristique (combinaison de taxons visiblement répétitive sur la surface relevée).

Cet espace doit être suffisamment étendu pour permettre l'expression optimale des communautés végétales. La forme du relevé épouse la forme de l'individu de végétation. Les zones de transition sont évitées, de même que les unités de végétation trop exiguës où la saturation floristique du relevé n'est pas atteinte.

Les échelles de grandeur (surfaces minimales) pour les différents types de végétation sont listées en annexe. Dans le cas où les végétations occupent des portions de terrain restreintes non contiguës (individus fragmentaires), mais qu'elles respectent entre elles les conditions d'homogénéité, on peut recourir à des relevés fragmentés en fusionnant plusieurs de ces surfaces dans un même relevé.



Figure 1 : exemple de relevé phytosociologique: **1** : limites d'un relevé de garrigue haute à *Cistus albidus* ; **2** : relevé d'une garrigue basse à Thym commun avec exclusion des zones ouvertes et des ligneux hauts ; **3** : relevé d'une communauté de pelouse annuelle effectué en réunissant plusieurs patchs

3. Données à recueillir

La liste des taxons est dressée de façon exhaustive, en recherchant l'identification au rang taxonomique le plus fin possible et prenant en compte les accommodats, ceci en augmentant progressivement la surface couverte, jusqu'à saturation du relevé.

Les informations minimales à renseigner sont les suivantes :

- numéro de relevé ;
 - auteur(s) ;
 - date ;
 - lieu, commune, département, coordonnées GPS ;
 - strate,
 - on distingue usuellement 4 strates aériennes principales :
 - => strate arborée (ou arborescente) : supérieure à 7 m ; notée **A [ou T]**
 - => strate arbustive : de 7 à 1 m ; notée **a [ou S]**
 - => strate herbacée : inférieure à 1 m ; notée **H**
 - => strate muscinale (ou cryptogamique) ; notée **m [ou M]**
 - liste de taxons, par strate, avec coefficients d'abondance-dominance (i, r, +, 1, 2, 3, 4, 5) (échelle de Braun-Blanquet, 1928, complétée) ;
-
- | | |
|----------|---|
| 5 | recouvrement supérieur aux 3/4 (75%) de la surface, abondance quelconque |
| 4 | recouvrement de 1/2 (50%) à 3/4 (75%) de la surface, abondance quelconque |
| 3 | recouvrement de 1/4 (25%) à 1/2 (50%) de la surface, abondance quelconque |
| 2 | très abondant ou recouvrement supérieur à 1/20 (5%) |
-

1	abondant mais avec un faible recouvrement (ou assez peu abondant avec un recouvrement plus grand)
+	peu abondant (> 3 individus), recouvrement très faible
r	très peu abondant (2 à 3 individus), recouvrement très faible
i	1 individu

- surface relevée ;
- hauteur moyenne végétative (en m.) ;
- recouvrement de chaque strate et total.

Les informations écologiques suivantes sont fortement recommandées :

- altitude (en particulier dans les zones de relief) ;
- pente ;
- exposition (et éventuellement confinement) ;
- roche mère ;
- type d'humus.

Autres informations utiles :

- écologie : pH de surface ; granulométrie et épaisseur du substrat ; éclaircissement ; perturbations particulières constatées ; vitesse du courant et profondeur de l'eau (végétations aquatiques) ; profondeur et texture de la tourbe (tourbières) etc. ;
- physionomie : forme du relevé (linéaire, surfacique, réticulé, pluri-ponctuel - ou éclaté...) ; coefficients d'agrégation (sociabilité) pour les taxons (1, 2, 3, 4, 5) ;
- dynamique : végétations en contact.

Pour plus d'informations, se référer au standard de données CarHAB pour les relevés phytosociologiques (Vest, 2016).

Les relevés phytosociologiques réalisés sont ensuite intégrés au SI CarHAB.

BIBLIOGRAPHIE

Boullet V., 2009 – *Le relevé phytosociologique : principes et méthodes*. Conservatoire botanique national du Massif central, 16 p.

Braun-Blanquet J., 1928. – *Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde*. Julius Springer Verlag., Berlin, 330p.

Braun-Blanquet J. & Pavillard J., 1922. – *Vocabulaire de sociologie végétale*. Montpellier, 23 p.

Catteau, E., 2012. - *Vade-mecum du phytosociologue*. Version 2. Support de formation. Centre régional de phytosociologie / Conservatoire botanique national de Bailleul. 75 p.

Delassus L., 2015 - *Guide de terrain pour la réalisation des relevés phytosociologiques*. Brest : Conservatoire botanique national de Brest, 25 p., annexes (document technique).

Delpech R., 1996. - *Vocabulaire de phytosociologie et de synécologie végétale*, 38p. (La banque des mots, n° 51, Cons. Internat. Langue Française)

Foucault B., de, 1986. - *Petit manuel d'initiation à la phytosociologie sigmatiste*, 49 p. (Sté linnéenne du Nord de la France, Amiens)

Géhu J.-M., 2000. Principes et critères synsystématiques de structuration des données de la phytosociologie. *Colloques Phytosociologiques*, **XXVII** : 693-708.

Géhu J.-M. & Rivas-Martínez S., 1981. – *Notions fondamentales de phytosociologie*. Berichte der Internationalen Symposien der Internationalen Vereinigung für Vegetationskunde. Syntaxonomie, J. Cramer, Berlin : 5–33.

Guinochet M., 1973. – *Phytosociologie*. Ed. Masson, Paris, 227 p.

Lahondère C., 1997. - *Initiation à la phytosociologie sigmatiste*, 47 p. (S.B.C.O. 17200 St Sulpice de Royan)

Rivas-Martínez S., 1987. – *Introduccion : Nociones sobre fitosociologia, biogeographia y bioclimatologia*, in Peinado-Lorca M. & Rivas-Martínez S. (eds), *La vegetacion de España*, Madrid : 19-45.

Vest F., 2016. *Standard CarHAB. Description des relevés phytosociologiques. V1.4-beta*. GT SI CarHAB, 16 p.

Annexe : Ordre de grandeur des surfaces nécessaires pour les relevés phytosociologiques par grands types de végétation.

4 m ²	<p><u>micro-gazons, tonsures et petites végétations</u></p> <p>(<i>Lemnetea minoris</i>, <i>Charetea fragilis</i>, <i>Utricularietea intermedio-minoris</i>, <i>Montio fontanae-Cardaminetea amarae</i>, <i>Saginetea maritimae</i>, <i>Adiantetea capilli-veneris</i>, <i>Anogrammo leptophyllae-Polypodietea cambrici</i>, <i>Polygono arenastri-Poetea annuae</i>)</p>
9 m ²	<p><u>végétations herbacées ponctuelles (mares temporaires, combes à neige, etc.)</u></p> <p>(<i>Isoeto durieui-Juncetea bufonii</i>, <i>Littorelletea uniflorae</i>, <i>Glycerio fluitantis-Nasturtietea officinalis</i>, <i>Asplenietea trichomanis</i>, <i>Parietarietea judaicae</i>, <i>Salicetea herbaceae</i>, <i>Koelerio glaucae-Corynephoretea canescentis</i>, <i>Sedo albi-Scleranthetea biennis</i>)</p>
16 m ²	<p><u>végétations herbacées plus étendues dans l'espace</u></p> <p>(<i>Potametea pectinati</i>, <i>Bidentetea tripartitae</i>, <i>Oxycocco palustris-Sphagnetetea magellanici</i>, <i>Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae</i>, <i>Cakiletea maritimae</i>, <i>Euphorbio paraliae-Ammophiletea australis</i>, <i>Thero-Suaedetea splendidis</i>, <i>Crithmo maritimi-Staticetea</i>, <i>Juncetea maritimi</i>, <i>Stellarietea mediae</i>, <i>Sisymbrietea officinalis</i>, <i>Oryzetea sativae</i>, <i>Artemisietea vulgaris</i>, <i>Melampyro pratensis-Holcetea mollis</i>, <i>Trifolio medii-Geranietea sanguinei</i>, <i>Carici rupestris-Kobresietea bellardii</i>, <i>Loiseleurio procumbentis-Vaccinietea microphylli</i>, <i>Helianthemetea guttati</i>, <i>Stipo capensis-Trachynietea distachyae</i>, <i>Festuco valesiacae-Brometea erecti</i>, <i>Nardetea strictae</i>)</p>
25 m ²	<p><u>Végétations de grandes herbacées, prairies, chaméphytaies, éboulis</u></p> <p>(<i>Phragmiti australis-Magnocaricetea elatae</i>, <i>Salicornietea fruticosae</i>, <i>Epilobietea angustifolii</i>, <i>Galio aparines-Urticetea dioicae</i>, <i>Thlaspietea rotundifolii</i>, <i>Caricetea curvulae</i>, <i>Festuco-Seslerietea caeruleae</i>, <i>Lygeo sparti-Stipetea tenacissimae</i>, <i>Molinio caeruleae-Juncetea acutiflori</i>, <i>Arrhenatheretea elatioris</i>, <i>Agrostietea stoloniferae</i>, <i>Calluno vulgaris-Ulicetea minoris</i>)</p>
50 m ²	<p><u>mégaphorbiaies, buissons et fourrés</u></p> <p>(<i>Mulgedio alpini-Aconitetea variegati</i>, <i>Filipendulo ulmariae-Convolvuletea sepium</i>, <i>Cisto ladaniferi-Lavanduletea stoechadis</i>, <i>Rosmarinetea officinalis</i>, <i>Cytisetea scopario-striati</i>, <i>Crataego monogynae-Prunetea spinosae</i>)</p>
100 m ²	<p><u>formations arbustives, maquis</u></p> <p>(<i>Salicetea purpureae</i>, <i>Betulo carpaticae-Alnetea viridis</i>, <i>Pistacio lentisci-Rhamnetalia alaterni</i>)</p>
250 m ²	<p><u>forêts</u></p> <p>(<i>Quercu roboris-Fagetea sylvatica</i>, <i>Vaccinio myrtilli-Piceetea abietis</i>, <i>Quercetalia ilicis</i>)</p>

D2	Relevé symphytosociologique de cellule paysagère sériale
Rédacteurs :	Guillaume Choisnet
Contacts :	guillaume.choisnet@cbnmc.fr

Le sigmarelevé de cellule paysagère (ou encore sigmafaciès) représente une image d'une surface homogène sur le plan physiognomique d'une portion d'individu de série. Le choix de la surface à relever est donc déterminé par la recherche d'une homogénéité écologique et physiognomique d'individus présentant une combinaison phytocénotique répétitive qui marque une expression physiognomique donnée.

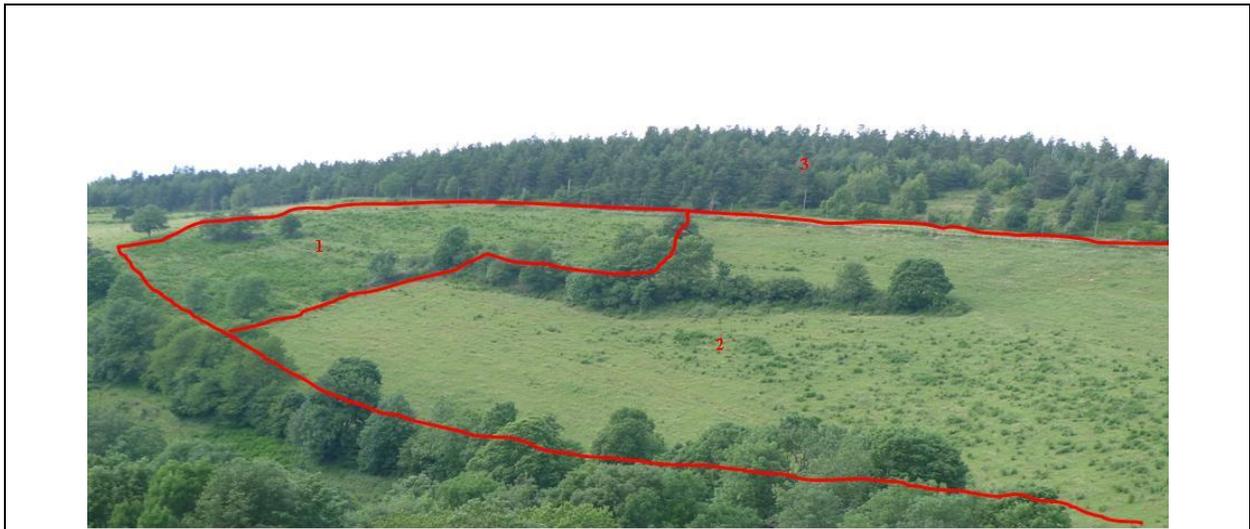
Cette démarche est celle que propose Theurillat (1991) : « *les relevés symphytosociologiques ont été faits suivant une méthode dite des « parcelles » mise au point par Hegg & Schneider (1978). Une « parcelle » est une « unité paysagère homogène » (« homogene Landschaftseinheit ») définie par un même substratum géologique, une pente, une exposition et une structure de la végétation uniformes (pour cette dernière, structure unique ou dominante, ou mélange homogène de structures différentes), un même étage de végétation et, accessoirement, une même commune politique. Les « parcelles » sont délimitées suivants ces critères sur un fond topographique 1 : 5 000 (1 : 10 000) à l'aide de vues aériennes et de la carte géologique. Leur superficie va de (0.1-) 1 à 4 (-12) ha, avec une moyenne de 3-4 ha (fig. 2). De cas en cas, l'appréciation des limites a été revue et corrigée sur le terrain. Un soin particulier a été mis dans la recherche d'une géomorphologie uniforme (pente et exposition), rejoignant en cela Tüxen. ».*

1. Période du relevé

Les sigmarelevés sont réalisés dans une période présentant un bon compromis entre les périodes optimales d'observation des différentes végétations en présence.

2. Délimitation spatiale

Pour chaque relevé, un espace homogène est recherché d'un point de vue écologique (étage de végétation, domaine bioclimatique, topographie - pente, exposition - substrat, réserve en eau), conduisant à une même potentialité sériale, et physiognomique (fig. 1a et 1b). L'homogénéité physiognomique est évaluée au travers de la communauté dominante ou des communautés co-dominantes dans la cellule paysagère relevée. De ce fait, la physiognomie peut être marquée par une physiognomie dominante ou un mélange homogène de physiognomies différentes (cellule paysagère à physiognomie de type prés de fauche maigres, de type pâtures et haies (bocage), de type grandes cultures...). Pour guider cette démarche, les types de cellules paysagères sont présentées en annexe 1 du guide méthodologique.



Figures 1a et 1b : Limites de deux relevés de cellules paysagères s'inscrivant dans la série collinéenne acidoclinophile de la Chênaie sessiliflore-hêtraie à *Holcus mollis* (*Holco mollis* – *Fago sylvaticae sigmetum* prov. – tête de série à décrire).

Versant septentrional du Pilat, Loire.

En jaune, contours des pré-UVC du fond physiologique.

1 Cellule paysagère à physionomie de type 'herbacée haut' dominée par une végétation à *Pteridium aquilinum*.

2 Cellule paysagère à physionomie de type 'prairiale maigre pâturée' dominée par un individu de *Luzulo campestris* – *Cynosuretum cristati*.

3 Cellule paysagère à physionomie forestière de la Série de la Chênaie sessiliflore-Hêtraie acidiphile à Myrtille (*Teucrio scorodoniae* – *Fago sylvaticae vaccinieto myrtilli sigmetum* prov.).

NB : Les haies doivent être intégrées au sigmarelevé.

3. Informations à recueillir

Le levé d'information est identique à celui du synrelevé (cf. fiche D3) : liste phytocénotique pondérée avec forme surfacique. Les documents décrivant les standards d'échange sont téléchargeables à l'adresse suivante : <https://carhab-cms.ign.fr/>

Les relevés réalisés sont ensuite intégrés au SI CarHAB.

BIBLIOGRAPHIE

Géhu J.-M., 1986. – Des complexes de groupements végétaux à la phytosociologie paysagère contemporaine. *Informatore botanico italiano*, **18** (1-2-3) : 53-83.

Géhu J.-M., 1991. – L'analyse symphytosociologique et géosymphytosociologique de l'espace. Théorie et méthodologie. *Colloques phytosociologiques*, **XVII** : 11-46.

Géhu J.-M., 2004. – La symphytosociologie trente ans plus tard (1973-2003) Concepts, systematisation, applications. *Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest, N.S.*, **35** : 63- 80.

Géhu J.-M. & Rivas-Martínez S., 1981. – *Notions fondamentales de phytosociologie*. Berichte der Internationalen Symposien der Internationalen Vereinigung für Vegetationskunde. Syntaxonomie, J. Cramer, Berlin : 5–33.

Theurillat J.-P., 1991. – Toposéquence paysagère dans la région d'Aletsch (Valais, Suisse) : Méthodologie et possibilités d'applications pratiques. *Colloques phytosociologiques XVII* : 221-231.

Theurillat J.-P., 1992a. – *Études symphytocoenologiques dans la région d'Aletsch (Valais, Suisse)*. Thèse de doctorat ès Sciences, Université de Berne, 398 p.

Theurillat J.-P., 1992b. – L'analyse du paysage végétal en symphytocoenologie : ses niveaux et leurs domaines spatiaux. *Bulletin d'Écologie*, **23** (1-2): 83-92.

Tüxen R., 1979. – Sigmeten und Geosigmeten, ihre Ordnung und ihre Bedeutung für Wissenschaft. *Naturschutz und Planung. Biogeographica*, **16** : 79-92.

D3	Relevé symphytosociologique de série de végétation
Rédacteurs :	Emmanuel Catteau, Guillaume Choisnet
Contacts :	e.catteau@cbnbl.org ; guillaume.choisnet@cbnmc.fr

Même si les développements théoriques de la phytosociologie paysagère ont été précisés (Mériaux & Géhu, 1977 ; Béguin *et al.*, 1979 ; Rivas-Martinez, 1976 & 1987a & 1987b, Géhu, 1986 & 1991 ; Theurillat, 1992a & 1992b), cette science jeune demeure, pour beaucoup de points, non encore stabilisée, en particulier pour la prise des sigmarelevés (ou synrelevé). Dans la bibliographie, très peu d'éléments concrets viennent étayer cette étape qui se heurte toujours aux problématiques d'échelle et d'homogénéité : « *c'est tout l'art du symphytosociologue, comme du phytosociologue, de savoir travailler à l'échelle d'homogénéité la plus opportune et la plus appropriée aux problèmes à résoudre* » (Géhu, 1977).

Ici, l'objectif à atteindre est bien de réunir du matériel pour décrire et nommer les séries de végétation. La description des séries de végétation peut se faire selon différentes approches.

L'approche **déductive** définit la série de manière théorique en se basant sur la connaissance de la synécologie des associations pour restituer les étapes de substitution à leur végétation potentielle. La série n'est donc pas définie par des tableaux de sigmarelevés, mais doit être confirmée par des observations terrain, notamment pour confirmer les liens dynamiques existant entre les groupements ainsi réunis.

Avec le développement généralisé des systèmes d'information géographique, l'approche cartographique **déductive-inductive** (Blasi *et al.*, 2005 ; Béguin, 2009 ; Biondi *et al.*, 2011) propose de cerner les limites des sigmetums par une approche cartographique en prenant en compte les principaux paramètres écologiques (géologie, pédologie, géomorphologie, climat). Il est même parfois proposé d'effectuer les sigmarelevés à partir des données issue des cartes phytosociologiques (coefficients de dominance attribués par requêtes SIG). La deuxième étape (inductive) consiste en une analyse sigmataxonomique classique des relevés pour définir les sigmassociations.

Enfin, l'approche **inductive** classique est entièrement calquée sur la méthodologie phytosociologique sigmatiste. Le relevé symphytosociologique rendra ainsi compte de « *l'expression d'un paysage végétal concret au sein d'une même potentialité* » (Géhu, 2004). Cette approche se heurte à la difficulté de trouver dans l'aire du sigmarelevé le maximum de stades dynamiques. L'étude des paysages semi-naturels à vocation agricole est hautement problématique dans la mesure où on n'y observe généralement pas les têtes de séries. C'est néanmoins cette approche, la plus robuste, que le programme CarHAB privilégie pour la description des séries de végétation.

Le sigmarelevé représente une image de l'individu de série au travers de la liste des groupements végétaux (de niveau association et sous-association) liés dynamiquement (stades dynamiques) dans une surface écologiquement homogène présentant la même végétation potentielle, la tessella (Géhu & Rivas-Martínez, 1981, Biondi *et al.*, 2011). Le choix de la surface à relever est donc exclusivement

déterminé par la recherche d'une homogénéité écologique et d'individus présentant une diversité phytocénotique importante.

1. Période du relevé

Les sigmarelevés sont réalisés dans une période présentant un bon compromis entre les périodes optimales d'observation des différentes végétations en présence.

2. Délimitation spatiale

Un espace homogène est recherché d'un point de vue écologique : étage de végétation, topographie (pente, exposition), substrat, réserve en eau (fig. 1).

Par exemple, pour Béguin, Géhu et Hegg (1979), « dans une vallée, il conviendrait de faire au moins et successivement un sigmarelevé différent :

- sur le talweg (associations permanentes *Ranunculion fluitantis* ou *Potamion*),
- sur la première terrasse, fréquemment inondable (associations permanentes *Salicion albae*),
- sur la deuxième terrasse, rarement inondée (climax *Alno-Ulmion*),
- sur les versants (climax *Fraxino-Carpinion*) ».

Appliquée au vallon du ruisseau du Granzon, en Ardèche, cette règle conduit à la réalisation de 5 sigmarelevés correspondant aux 5 compartiments écologiques présents (fig. 1).

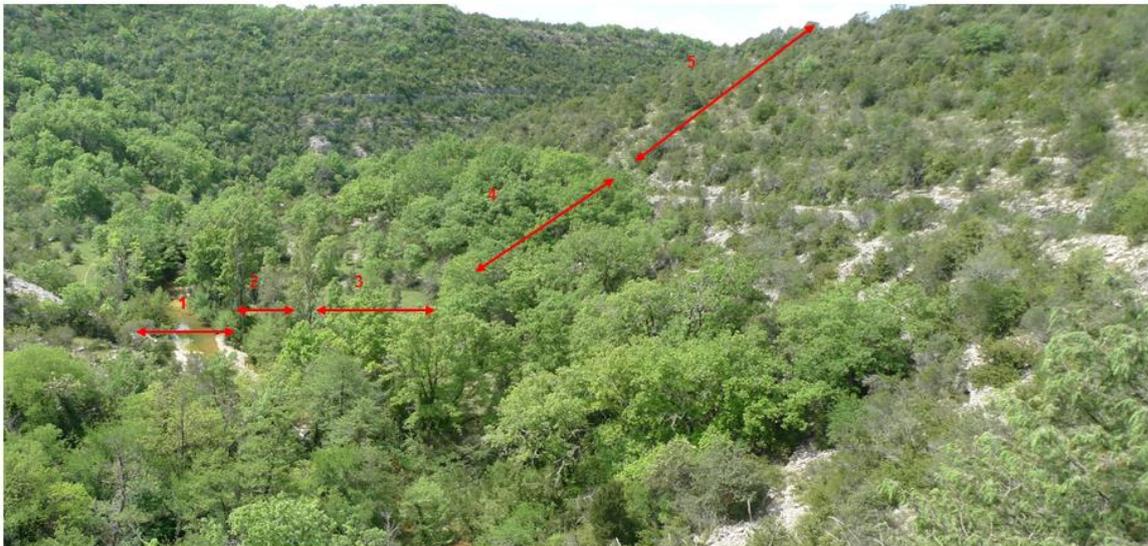


Figure 1 : Compartiments écologiques dans le vallon du ruisseau du Granzon, Les Vans (Ardèche)

1. Lit mineur et basse terrasse alluviale, complexe de séries permanentes et tronquées
2. Moyenne terrasse, Série de la Frênaie oxyphylle à *Rubia peregrina* (Groupement à *Rubia peregrina* et *Fraxinus angustifolia* – association à décrire)
3. Haute terrasse, alluvions anciennes, Série de la Chênaie pubescente-verte alluviale (Groupement à *Geum urbanum* et *Quercus ilex* – association à décrire)
4. Bas de versant colluvionné, Série de la Chênaie pubescente-verte à *Pistacia terebinthus* (Groupement à *Pistacia terebinthus* et *Quercus pubescens* – association à décrire)

5. Versant, série de la Chênaie verte à *Viburnum tinus* (*Viburno tini* – *Quercetum ilicis*)

L'aire minimale du sigmarelevé est, pour Géhu et Rivas-Martínez (1981), estimée à 10 fois la surface de l'aire minimale de la tête de série de la tessella. La surface du sigmarelevé est évidemment dépendante de la taille de la tessella et peut également s'avérer tributaire des éventuelles difficultés d'accessibilité.

3. Informations à recueillir

La liste des syntaxons est dressée de façon exhaustive, en recherchant l'identification au rang syntaxonomique le plus fin possible, ceci en augmentant progressivement la surface relevée, jusqu'à saturation du relevé. L'observation à distance (par exemple sur le versant d'en face, mais aussi à l'aide d'images aériennes), peut aider à la réalisation du relevé et à sa quantification, car elle permet de se situer à la bonne échelle d'observation (celle du paysage végétal) ; le parcours de la surface relevée reste néanmoins indispensable.

Les informations minimales à renseigner sont les suivantes :

- numéro de relevé ;
- auteur(s) ;
- date ;
- lieu, commune, département, coordonnées GPS ;
- liste des syntaxons avec coefficients de dominance (échelle de Braun-Blanquet et Pavillard 1922 complétée) ;

Échelle	Recouvrement (%)	Recouvrement moyen (%)
5	75 - 100	87,5
4	50 - 75	62,5
3	25 - 50	37,5
2	5 - 25	15,0
1	1 - 5	2,5
+	< 1	0,1

- forme spatiale de (Tüxen 1979, Géhu 2006) ;

O	qS	forme « grand spatial »
o	pS	forme « petit spatial »
/	L	forme « linéaire »
∅ ou 0	sL	forme « spatio-linéaire »
	dL	forme « linéaire disjointe »
	M	forme « en mosaïque » ou pluri-ponctuelle
.	P	forme « ponctuelle »

- surface relevée (ha) ;

- altitude minimale et maximale.

Les informations écologiques suivantes sont fortement recommandées :

- pente moyenne ;
- plage d'exposition générale (et éventuellement confinement) ;
- roche mère.

Autres informations utiles :

- écologie : pH de surface ; granulométrie et épaisseur du substrat ; éclaircissement ; perturbations particulières constatées ; vitesse du courant et profondeur de l'eau (complexes aquatiques) ; profondeur et texture de la tourbe (tourbières) etc. ;
- physionomie : forme du relevé (linéaire, surfacique, réticulé...) ; hauteur moyenne végétative (en m) et recouvrement végétal total pour chaque communauté et pour l'ensemble du sigmarelevé ;
- paysage : physiographie générale du paysage et place du relevé dans le paysage, séries en contact, un schéma de type « transect » pourra être réalisé de manière à restituer les gradients observés.

Les communautés fragmentaires sont identifiées comme telles, de même que les communautés basales.

Les complexes sériaux, géosériaux ou les communautés s'inscrivant dans une tessella ou une catena associée ou conditionnée de faible surface (de l'ordre d'une dizaine de m²), sont inclus au sigmarelevé. Il peut s'agir de blocs rocheux végétalisés, de végétations liées à une artificialisation profonde (bords de routes, remblais...), de communautés bryo-lichéniques associées, mares, sources...

Les éléments paysagers abiotiques peuvent également être intégrés au sigmarelevé et quantifiés : murets, rochers, sol nu, eau libre, bâti... (fig. 2).

Les documents décrivant les standards d'échange sont téléchargeables à l'adresse suivante : <https://carhab-cms.ign.fr/>

Les relevés réalisés sont ensuite intégrés au SI CarHAB.



Figure 2 : Délimitation d'un sigmarelevé sur un versant en déprise, aménagé en terrasses. Les éléments non végétaux du paysage sont intégrés au relevé (murets, clapiers d'épierrement).

N° rel. : 20140721-2 G. CHOISNET / CBNMC 21/07/2014 Banne (07) ; SE Mas de Granzon N°GPS 220 à 224	Surface : 0,5 ha ; R _T = 90 % Pente (°) : min. 5 ; max. 30 Exposition : SSE à S Altitude (m) : inf. 165 ; sup. 180 Calcaire marneux du Berriasien (Crétacé inférieur)	
Complexe de recolonisation mésoméditerranéen sur calcaire marneux		
Versant en terrasses ; garrigue/fourré		
Garrigue basse à <i>Aphyllanthes monspeliensis</i> <i>Argyrolobio zanonii</i> - <i>Aphyllanthes monspeliensis</i> var. à <i>Dorycnium pentaphyllum</i> / faciès à <i>Aphyllanthes monspeliensis</i>	3	S
Pré-manteau à <i>Genista scorpius</i> Groupement basal à <i>Genista scorpius</i>	1	M
Garrigue haute à <i>Staehelina dubia</i> Groupement à <i>Staehelina dubia</i> et <i>Lavandula latifolia</i>	+	P
Ourlet à <i>Brachypodium retusum</i> Groupement à <i>Dorycnium pentaphyllum</i> et <i>Brachypodium retusum</i>	1	S
Fourré mi-haut à haut à <i>Prunus mahaleb</i> et <i>Quercus pubescens</i> Groupement à <i>Prunus mahaleb</i> et <i>Pistacia terebinthus</i>	3	S/M
Chênaie pubescente fragmentaire cf. Groupement à <i>Pistacia terebinthus</i> et <i>Quercus pubescens</i> _Fragment	+	P
Voile à <i>Juniperus oxycedrus</i>	2	M
Muret	2	L
Clapier d'épierrement	1	P

BIBLIOGRAPHIE

Béguin C., Géhu J.-M. & Hegg O., 1979. – La symphytosociologie: une approche nouvelle des paysages végétaux. *Documents phytosociologiques*, **IV** : 49–69.

Biondi E., Casavecchia S. & Pesaresi S., 2011. – Phytosociological synrelevés and plant landscape mapping : From theory to practice. *Plant Biosystems*, **145** (2) : 261-273

Blasi C., Capotorti G. & Frondoni R., 2005. – Defining and mapping typological models at the landscape scale. *Plant Biosystems*, **139** (2) : 155-163.

Braun-Blanquet, J. & Pavillard, J. (1925): *Vocabulaire de Sociologie végétale*. Montpellier, 22 p.

Géhu J.-M., 1977. Le concept de sigmassociation et son application à l'étude du paysage végétal des falaises atlantiques françaises. *Vegetatio*, **34** (2) : 117-125.

Géhu J.-M., 1986. – Des complexes de groupements végétaux à la phytosociologie paysagère contemporaine. *Informatore botanico italiano*, **18** (1-2-3) : 53-83.

Géhu J.-M., 1991a. – La phytodynamique : approche phytosociologique. *Colloques phytosociologiques*, **XX** : 15-28.

Géhu J.-M., 1991b. – L'analyse symphytosociologique et géosymphytosociologique de l'espace. Théorie et méthodologie. *Colloques phytosociologiques*, **XVII** : 11-46.

Géhu J.-M., 2004. – La symphytosociologie trente ans plus tard (1973-2003) Concepts, systematisation, applications. *Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest*, N.S., **35** : 63- 80.

Géhu J.-M. & Rivas-Martínez S., 1981. – *Notions fondamentales de phytosociologie*. Berichte der Internationalen Symposien der Internationalen Vereinigung für Vegetationskunde. Syntaxonomie, J. Cramer, Berlin : 5–33.

Mériaux J.-L. & Géhu J.-M., 1977. – *De l'analyse symphytosociologique des complexes de végétation à celle des végétations complexes. Exemple des groupements aquatiques et subaquatiques*. In R. Tüxen (ed.) : *Assoziationkomplexe (Sigmeten)*, Rinteln, J. Cramer : 97-116.

Rivas-Martínez S., 1976. – Sinfitosociologia, una nueva metodología para el estudio del paisaje vegetal. *Anal. Inst. Bot. Cavanilles*, **33** : 179-188.

Rivas-Martínez S., 1987a. – *Memoria del mapa de series de vegetación de España*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Editions I.C.O.N.A. Série Técnica, Madrid. 268 p.

Rivas-Martínez S., 1987b. – *Introduccion : Nociones sobre fitosociologia, biogeographia y bioclimatologia*. In Peinado-Lorca M. & Rivas-Martínez S. (eds), *La vegetacion de España*, Madrid : 19-45.

Theurillat J.-P., 1991. – Toposéquence paysagère dans la région d'Aletsch (Valais, Suisse) : Méthodologie et possibilités d'applications pratiques. *Colloques phytosociologiques*, **17** : 221-231.

Theurillat J.-P., 1992a. – *Études symphytocœnologiques dans la région d'Aletsch (Valais, Suisse)*. Thèse de doctorat ès Sciences, Université de Berne, 398 p.

Theurillat J.-P., 1992b. – L'analyse du paysage végétal en symphytocœnologie : ses niveaux et leurs domaines spatiaux. *Bulletin d'Écologie*, **23** (1-2): 83-92.

D4	Relevé géosymphytosociologique de petites géoséries
Rédacteurs :	Guillaume Choisnet
Contacts :	guillaume.choisnet@cbtnmc.fr

La distinction dans la phytosociologie paysagère du fait sérial et du fait caténel a été établie par Rivas-Martínez en 1976 et formalisée en 1981 par Géhu et Rivas-Martínez. Différentes approches pour la caractérisation des géoséries sont proposées.

La caractérisation des géoséries (ou encore géosigmassociations, géosynassociations, géosigmatums) est rendue complexes par un problème récurrent d'échelle spatiale. Il existe des complexes caténaux de faible surface (complexes de communautés saxicoles, complexes prairiaux humides, tourbières...) [correspondant au niveau 3 de représentation spatiale], généralement insérés dans des individus de série spatialement étendus. On citera, par exemple, la géosérie édaphohygrophile des vallons forestiers du collinéen inférieur du Sud du Massif central.

On distingue également, suivant la démarche d'intégration spatiale de la géosymphytosociologie, des géoséries qui sont définies comme des éléments de grande ampleur calés sur les grandes unités géomorphologiques du paysage [niveau 4 et 5 de représentation spatiale]. On citera, par exemple, la géosérie climatophile et édaphohygrophile des versants méridionaux collinéen du Livradois.

La géosérie est aussi souvent utilisée dans la cartographie comme un ersatz à la connaissance sériale dans les cas de paysages anthropogènes où les potentialités sont gommées par l'activité humaine. On citera, par exemple, la géosérie fluviale de la moyenne vallée du Rhône.

De nombreuses définitions sont proposées avec comme point commun un cadre spatial défini par des « *unités géomorphologiques homogènes et de grandeur variable* » (Géhu, 2006). Le plus généralement la géosérie est perçue à un niveau correspondant aux « *grandes unités géomorphologiques* » pouvant ainsi être interprétée comme l'unité phytogéographique élémentaire (Géhu, 2004, 2006).

Le choix de la surface à relever et des limites du géosigmarelevé dépendent donc directement de l'échelle spatiale visée. Dans le cadre du programme CarHAB, la méthode de relevé est réservée au niveau 3 de représentation spatiale, la « petite géosérie ». Les niveaux supérieurs d'intégration seront déduits cartographiquement en fonction des unités géomorphologiques (méthode à préciser).

Théoriquement, le géosigmarelevé constitue une liste pondérée d'individus de séries. La forme spatiale des objets relevés est également précisée. Dans les faits, les petites géoséries sont plutôt définies par un assemblage de communautés végétales, notamment lorsque les têtes de série ne sont pas connues. Ce cas est fréquent pour les complexes prairiaux, les zones cultivées ou les tourbières.

1. Période du relevé

Les géosigmarelevés sont réalisés dans une période présentant un bon compromis entre les périodes optimales d'observation des différentes végétations en présence.

2. Délimitation spatiale

Au niveau 3 de représentation spatiale, la règle de délimitation retenue de l'individu de « petite géosérie », répond à des critères d'homogénéité géomorphologique (unités de petite taille de type versant, dépression, étang, vallon, petite vallée...) et des grands compartimentages écologiques (complexe de compartiments) marqués par un facteur écologique unificateur (principalement le gradient hydrique).

La délimitation du relevé respecte aussi les critères d'homogénéité du point de vue de l'étage de végétation, de la topographie générale (croupe, pente, talweg), du type de complexe écologique ou d'habitat (étang, mare, dalle rocheuse, talweg, fond de vallée, versant).

Dans ce cas, les géoséries sont déclinables en trois grands types :

- climatophiles s'inscrivant dans des conditions mésophiles, moyennes du gradient hydrique ; les complexes de compartiments présenteront donc plutôt un déterminisme climatique comme par exemple un versant de vallée hébergeant des associations acidiphiles et acidiclinophiles ;
- édaphoxérophiles liées à des complexes de compartiments à déterminisme édaphique prépondérant marqués par un déficit hydrique (par exemple, un complexe de dalles rocheuses, une falaise...);
- édaphohygrophiles liées à des complexes de compartiments présentant un déterminisme édaphique par abondance ou excès d'eau, par exemple les végétations liées à un talweg de vallon, une tourbière, un étang. On inclut ici, les séries mésohygrophiles, hygrophiles et sub-aquatiques (amphibies).

Les méthodes associées à plusieurs cas particuliers sont décrites dans les fiches D6 à D9. Il s'agit des géoséries à fortes contraintes écologiques (falaises littorales, prés salés, éboulis, combes à neiges, dunes, complexes aquatiques ou hydrosère) représentées par des assemblages de séries bloquées à des stades herbacés ou arbustifs. Il s'agit aussi des lits des fleuves et rivières, des zones palustres de grande étendue (marais arrières-littoraux, lacs et grands étangs, tourbières) qui répondent à un niveau d'intégration supérieur.

3. Informations à recueillir

La liste pondérée des individus de série et les communautés qu'ils hébergent est dressée de façon exhaustive, en recherchant l'identification au rang syntaxonomique le plus fin possible. L'observation à distance (par exemple sur le versant d'en face, mais aussi à l'aide d'images aériennes), peut aider à la réalisation du relevé et à sa quantification, car elle permet de se situer à la bonne échelle d'observation (celle du paysage végétal) ; le parcours de la surface relevée reste néanmoins indispensable.

Les informations à renseigner restent identiques à celles du sigmarelevé (fiche D3) : numéro de relevé, auteur(s), date, lieu, commune, département, coordonnées GPS, coefficients de dominance, formes spatiale...

Les communautés associées s'inscrivant dans une catena de nature différente de faible surface (de l'ordre d'une dizaine de m²), sont incluses au géosigmarelevé. Il peut s'agir de blocs rocheux végétalisés, de végétations liées à une artificialisation profonde (bords de routes, remblais...), de communautés bryo-lichéniques associées, mares, sources...

Les éléments paysagers abiotiques peuvent également être intégrés au géosigmarelevé et quantifiés : murets, rochers, sol nu, eau libre, bâti... (fig. 1).

Les documents décrivant les standards d'échange sont téléchargeables à l'adresse suivante :

https://carhab-cms.ign.fr/?q=system/files/depot/carhab_std_echanfe_v1-4beta.zip.

Les géosynrelevés réalisés sont ensuite intégrés au SI CarHAB.



Figure 1 : Exemple de géosignature relevé d'un complexe de végétation édaphoxérophile du Pilat. Cet individu de géosérie comprend un individu de série complète (Série de la Pinède à *Cytisus oromediterraneus* et *Pinus sylvestris*) et deux individus de permasséries.

N° rel. : 20150311-1 C. HOSTEIN / CBNMC 11/03/2015 Bourg-Argental (42) ; Argental, versant Ouest du vallon de l'Argentol N°GPS	Surface : 0,2 ha ; R _T = 60 % Pente (°) : 35 Exposition : S Altitude (m) : inf. 710 ; sup. 740 Granite	
Complexe saxicole du collinéen moyen sur granite ; traces de feu		
Versant pentu convexe ; pré-manteau landicole		
Dalle non végétalisée	2	S
Permassérie de la chasmophytaie à <i>Umbilicus rupestris</i> et <i>Asplenium septentrionale</i> Groupement à <i>Umbilicus rupestris</i> et <i>Asplenium foreziense</i>	+	P
Permassérie du Groupement basal à <i>Sedum hirsutum</i>		
Pelouse annuelle à <i>Micropyrum tenellum</i> <i>Narduretum lachenalii</i>	+	P
Groupement basal à <i>Sedum hirsutum</i>	1	S
Série du Groupement à <i>Cytisus oromediterraneus</i> et <i>Pinus sylvestris</i>		
Pelouse annuelle à <i>Ranunculus paludosus</i> [5 m ²] <i>Rumici acetosellae-Airetum caryophyllae</i> var. à <i>Ranunculus paludosus</i>	+	P
Pelouse annuelle à <i>Filago minima</i> <i>Rumici acetosellae-Airetum caryophyllae</i>	+	P/M
Pré-manteau primaire à <i>Cytisus oromediterraneus</i> et <i>Calluna vulgaris</i> <i>Plantagini holostei-Cytisetum oromediterranei typicum</i>	3	S
Ourlet saxicole à <i>Agrostis capillaris</i> Groupement à <i>Peucedanum oreoselinum</i> et <i>Agrostis capillaris</i>	2	S/M
Fourré fragmentaire à <i>Quercus x calvescens</i> et <i>Sorbus aria</i>	2	P
Pinède saxicole à <i>Calluna vulgaris</i> Groupement à <i>Cytisus oromediterraneus</i> et <i>Pinus sylvestris</i>	1	P

BIBLIOGRAPHIE

Géhu J.-M., 2004. – La symphytosociologie trente ans plus tard (1973-2003) Concepts, systématisation, applications. *Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest*, N.S., **35** : 63- 80.

Géhu J.-M., 2006. – *Dictionnaire de sociologie et synécologie végétales*. Édition J. Cramer, Berlin, Stuttgart, 899 p.

Géhu J.-M. & Rivas-Martínez S., 1981. – *Notions fondamentales de phytosociologie*. Berichte der Internationalen Symposien der Internationalen Vereinigung für Vegetationskunde. Syntaxonomie, J. Cramer, Berlin : 5–33.

Rivas-Martínez S., 1976. – Sinfitosociologia, una nueva metodología para el estudio del paisaje vegetal. *Anal. Inst. Bot.Cavanilles*, **33** : 179-188.

D5	Relevé géosymphytosociologique de cellule paysagère
Rédacteurs :	Guillaume Choisnet
Contacts :	guillaume.choisnet@cbnmc.fr

Ce cas de figure illustre le relevé de cellules paysagères présentant plusieurs végétations potentielles (ou encore géosigmafaciès) s'inscrivant dans une petite géosérie. La cellule paysagère géosériale représente une surface homogène sur le plan physiognomique d'une portion d'individu de petite géosérie.

1. Période du relevé

Les géosynrelevés sont réalisés dans une période présentant un bon compromis entre les périodes optimales d'observation des différentes végétations en présence.

2. Délimitation spatiale

Comme pour le relevé de petite géosérie (UTV de niveau 3), la règle de délimitation spatiale répond à des critères d'homogénéité géomorphologique (unités de petite taille de type versant, dépression, étang, vallon, petite vallée...) et des grands compartimentages écologiques (complexe de compartiments) marqués par un facteur écologique unificateur (principalement le gradient hydrique), à laquelle s'ajoute un critère d'homogénéité physiognomique. Le choix de la surface à relever délimite un complexe de végétation physiognomiquement homogène (fig. 1) s'inscrivant dans un complexe de compartiments homogène du point de vue de l'étage de végétation, de la géomorphologie et de la topographie générale (croupe, pente, talweg) ou d'habitat (étang, mare, dalle rocheuse, talweg, fond de vallée, versant). Pour guider cette approche physiognomique, les types de cellules paysagères sont présentées en annexe 1 du guide méthodologique.



Figure 1 : Limites d'un géosigmarelevé d'un complexe géosérial de prairies humides mésotrophile (cellule paysagère prairiale fauchée); individu de faible surface pouvant être représenté cartographiquement comme élément ponctuel
Piémont rhodanien, Département de la Loire

N° rel. : 20140511-1 G.. CHOISNET / CBNMC 11/03/2014 Chavanay (42) ; La Loge	Surface : 150 m ² ; spatial ; R _T = 100 % Pente (°) : 0 - 2 Exposition : / Altitude (m) : 375 Granite	
Complexe prairial hygrophile du collinéen inférieur sur granite ; fauche et pâturage de regain		
Dépression de plateau granitique ; nappe perchée		
En lien avec <i>Salvia pratensis-Trifolietum molinieri</i> Billy 2000		
1 <i>Ranunculo repentis-Juncetum acutiflori</i> Billy 2000	2	sL
2 Groupement à <i>Oenanthe peucedanifolia</i> et <i>Juncus acutiflorus</i> (groupement non décrit du <i>Bromion racemosi</i>)	2	sL
3 <i>Scorzonero humilis-Serapietum lingua</i> Billy 2000	4	S

3. Informations à recueillir

Le levé d'information est identique à celui du géosigmarelevé : liste phytocénotique pondérée avec forme surfacique. Comme pour les géosigmarelevés, on se référera aux fiches D6 à D9, qui exposent quelques situations particulières liées à des complexes de végétation à fortes contraintes écologiques.

BIBLIOGRAPHIE

Géhu J.-M., 1977. Le concept de sigmassociation et son application à l'étude du paysage végétal des falaises atlantiques françaises. *Vegetatio*, **34** (2) : 117-125.

Géhu J.-M., 2004. – La symphytosociologie trente ans plus tard (1973-2003) Concepts, systématisation, applications. *Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest*, N.S., **35** : 63- 80.

Géhu J.-M., 2006. – *Dictionnaire de sociologie et synécologie végétales*. Édition J. Cramer, Berlin, Stuttgart, 899 p.

Géhu J.-M. & Rivas-Martínez S., 1981. – *Notions fondamentales de phytosociologie*. Berichte der Internationalen Symposien der Internationalen Vereinigung für Vegetationskunde. Syntaxonomie, J. Cramer, Berlin : 5–33.

Rivas-Martínez S., 1976. – Sinfitosociologia, una nueva metodología para el estudio del paisaje vegetal. *Anal. Inst. Bot. Cavanilles*, **33** : 179-188.

Theurillat J.-P., 1991. – Toposéquence paysagère dans la région d'Aletsch (Valais, Suisse) : Méthodologie et possibilités d'applications pratiques. *Colloques phytosociologiques*, **17** : 221-231.

Theurillat J.-P., 1992a. – *Études symphytocoenologiques dans la région d'Aletsch (Valais, Suisse)*. Thèse de doctorat ès Sciences, Université de Berne, 398 p.

Theurillat J.-P., 1992b. – L'analyse du paysage végétal en symphytocoenologie : ses niveaux et leurs domaines spatiaux. *Bulletin d'Écologie*, **23** (1-2): 83-92.

D6	Synrelevé des complexes caténaux littoraux
Rédacteurs :	Pauline Delbosc, Charlotte Demartini
Contacts :	paulinedelbosc@yahoo.fr ; charlotte.demartini@univ-brest.fr

Inspirée des travaux symphytosociologiques espagnols et italiens (Rivas-Martínez, 1987 ; Loidi *et al.*, 2011 ; Blasi, 2010), l'étude menée en 2012 par Demartini *et al.*, dans le cadre du programme CarHAB, a permis de mettre au point une méthodologie d'inventaire et de cartographie des géopermaséries et des géocurtaséries des végétations littorales des côtes françaises de Manche-Atlantique. En 2013, cette méthodologie a été transposée pour le territoire corse, à l'occasion des prospections dans le Cap Corse (Delbosc, 2016).

La diversité géomorphologique (plages de sables, côtes rocheuses, prés salés...) et bioclimatologique des milieux littoraux de la Corse induit une diversité des biotopes et une originalité des phytocénoses (Géhu & Biondi, 1994). La zone littorale concerne les milieux directement ou indirectement influencés par la mer sur une frange n'excédant pas 200 m, et à des altitudes toujours inférieures à 100 m (Gamisans, 1991). Au regard des conditions écologiques extrêmes (halophilie, vent, nature du substratum), le cortège floristique des groupements végétaux est très singulier et leur dynamique est bloquée (permaséries et curtaséries).

Sur le littoral (fig. 1), les permaséries et les curtaséries s'organisant en ceintures parallèles à la mer et occupant des surfaces le plus souvent réduites, il apparaît indispensable de travailler au niveau supérieur d'intégration paysagère, à savoir le niveau géosymphytosociologique. Ainsi, les permaséries voisines, dont les permatessellas situées en disposition caténale, sont réunies en une géopermasérie, et les curtaséries voisines, dont les curtatessellas situées en disposition caténale, sont réunies en une géocurtasérie.

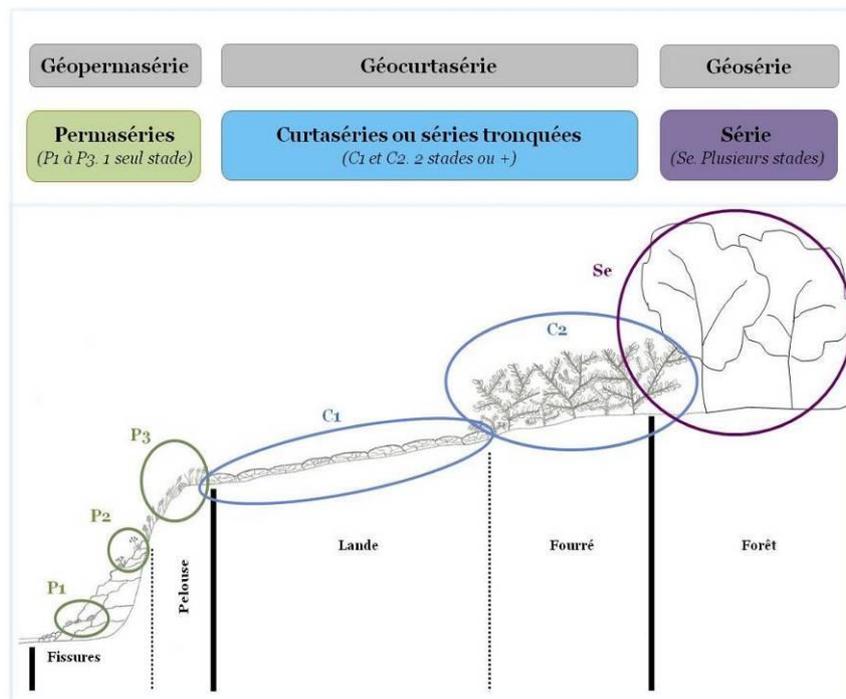


Figure 1 : Niveau d'organisation du paysage végétal des falaises littorales atlantiques (Demartini *et al.*, 2012)

1. Délimitation spatiale

La méthode géosymphytosociologique est fondée sur la délimitation d'enveloppes écologiques et géomorphologiques homogènes correspondant aux caténas. Pour l'étage littoral (fig. 2), la délimitation de ces entités revient à distinguer les différents systèmes géomorphologiques littoraux :

- plages de sables ;
- plages de galets ;
- systèmes dunaires ;
- côtes rocheuses ;
- prés salés ;
- dépressions arrière-dunaires ;
- estuaires saumâtres.

Pour qu'un géosynrelevé puisse participer à la diagnose d'une géosérie ou pour être rattaché à une géosérie déjà connue, il est indispensable qu'il soit réalisé sur une surface écologiquement homogène et qu'il comporte l'ensemble des permaséries (pour les géopermaséries) ou de toutes les curtaséries (pour les géocurtaséries).

L'individualisation et la délimitation de ces caténas reposent sur un travail cartographique réalisé en amont de la phase de terrain. Outre la prise en compte des orthophotographies (vraies couleurs et infrarouges) et des cartes IGN, l'ensemble des informations écologiques de la zone étudiée, est rassemblé :

- données écologiques (géologie, géomorphologie du trait de côte, pédologie, topographie...) ; (Dupias, 1963 ; Rossi & Rouire, 1980 (a) et (b) ; Demartini & Favreau, 2011) ;
- données sur la végétation (cartes phytosociologiques, cartes des habitats).

Chaque unité géomorphologique délimitée, peut être ensuite divisée en une ou plusieurs entités, selon les cas, afin de distinguer les géopermaséries, les géocurtaséries et les éventuelles séries adjacentes (fig. 2).

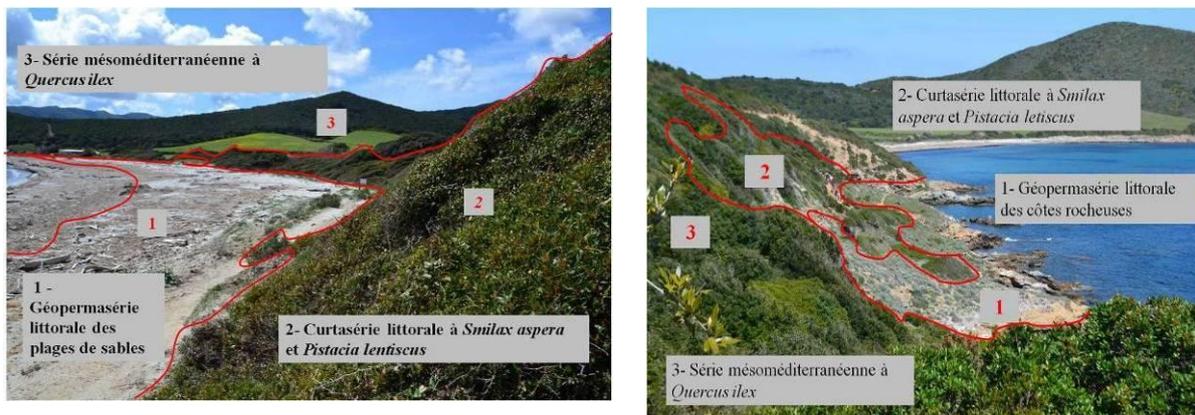


Figure 2 : Exemple de découpages des individus de géoséries sur la côte sableuse et rocheuse de Macinaggio (Cap Corse).

2. Informations à recueillir

À chaque changement géomorphologique notable du trait de côte, un nouveau géopermasigmarelevé ou géocurtasigmarelevé est réalisé.

Les informations à renseigner restent identiques à celles relevées pour le sigmarelevé : numéro de relevé, auteur(s), date, lieu, commune, département, coordonnées GPS, surface du relevé, coefficients d'abondance, formes spatiale.

Les données écologiques habituelles seront renseignées : altitude, pente, plage d'exposition générale, roche mère, nature du substrat.

Autres informations utiles :

- écologiques : pH de surface ; granulométrie et épaisseur du substrat ; éclaircissement ; perturbations particulières constatées ;
- physionomiques : forme du relevé (linaire, surfacique, réticulé, éclaté ...) ; hauteur moyenne végétative (en m.) et recouvrement pour chaque communautés ;
- paysagère : physiographie générale du paysage et place du relevé dans le paysage, séries en contact, un schéma de type « transect » pourra être réalisé de manière à restituer le gradient topographique depuis la mer jusqu'à l'intérieur des terres, ou les embruns s'atténuent.

L'analyse structurale d'une caténa peut s'avérer parfois complexe, compte tenu de l'imbrication des stades dynamiques et du nombre de syntaxons.

BIBLIOGRAPHIE

Blasi C. (coord.) 2010. – *La vegetazione d'Italia, con carta delle serie di vegetazione in scale 1:500 000*. Palombi editori, Roma, 538 p.

Blasi C., Capotorti G. & Frondoni R., 2005. – Defining and mapping typological models at the landscape scale. *Plant Biosystems*, **139** (2) : 155-163.

Delbosc P., 2016 - *Phytosociologie dynamico-caténale des végétations de la Corse : méthodologies typologique et cartographique*. Thèse de doctorat, Université de Bretagne occidentale, 638 p. + annexes.

Demartini C., Bioret F. & Lazare J.-J., 2012. – Typologie et cartographie des géopermaséries et des géocurtaséries des végétations littorales des côtes Manche-Atlantique françaises. *Documents phytosociologiques*, série 3, (à paraître).

Demartini J. & Favreau P., 2011. – *Référentiel Pédologique Approfondi (R.P.A.), Caractérisation des sols des plaines et coteaux de basse altitude au 1 :25 000*. Office du Développement Agricole et Rural de la Corse, Bastia. Fascicule + cartes.

Dupias G. 1963. – *Carte de la végétation de la France, notice sommaire*. Centre National de la Recherche Scientifique, 80 et 81, 21 p.

Gamisans J., 1991. – *La végétation de la Corse*. Conservatoire et jardin botaniques de la ville de Genève, réédité en 1999, Édisud, Genève. 391 p.

Géhu J.-M. & Biondi E., 1994. – Végétation du littoral de la Corse : essai de synthèse phytosociologique. *Braun-Blanquetia*, **13** : 1-149.

Loidi J., Biurrun I., Campos J.-A., García-Mijangos I. & Herrera M., 2011. – *La vegetacion de la Comunidad Autonoma del Pais Vasco, Leyendo del mapa de series de vegetacion a escala 1 :50.0000*. Laboratorio de Botanica, Depto. De Biología Vegetal y Ecología : 197 p.

Rivas-Martínez S., 1987a. – *Memoria del mapa de series de vegetación de España*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Editions I.C.O.N.A. Série Técnica, Madrid. 268 p.

Rivas-Martínez S., 1987b. – *Introduccion : Nociones sobre fitosociologia, biogeographia y bioclimatologia*, in Peinado-Lorca M. & Rivas-Martínez S. (eds), *La vegetacion de España*, Madrid : 19-45.

Rossi P. & Rouire J., 1980a. – *Carte géologique de la France à 1:250 000*. Ministère de l'Industrie, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Service géologique national. Orléans.

Rossi P. & Rouire J., 1980b. – *Notice explicative de la feuille Corse à 1:250 000*. Ministère de l'Industrie, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Service géologique national, Orléans. 81 p.

D7	Les complexes caténaux rivulaires et fluviaux
Rédacteurs :	Sylvain Bellenfant, Guillaume Choynet
Contacts :	sylvain.bellenfant@mnhn.fr ; guillaume.choynet@cbnmc.fr

Ces milieux complexes représentent une juxtaposition de différents systèmes écologiques principalement conditionnés par la dynamique fluviale d'alluvionnement et d'érosion et par l'influence plus ou moins marquée de la nappe alluviale (fig. 1). On peut reconnaître :

- le lit mineur et ses annexes hydrauliques,
- les basses terrasses et leurs dépressions humides temporairement déconnectées,
- les moyennes terrasses soumises aux crues décennales,
- les hautes terrasses très rarement inondées.

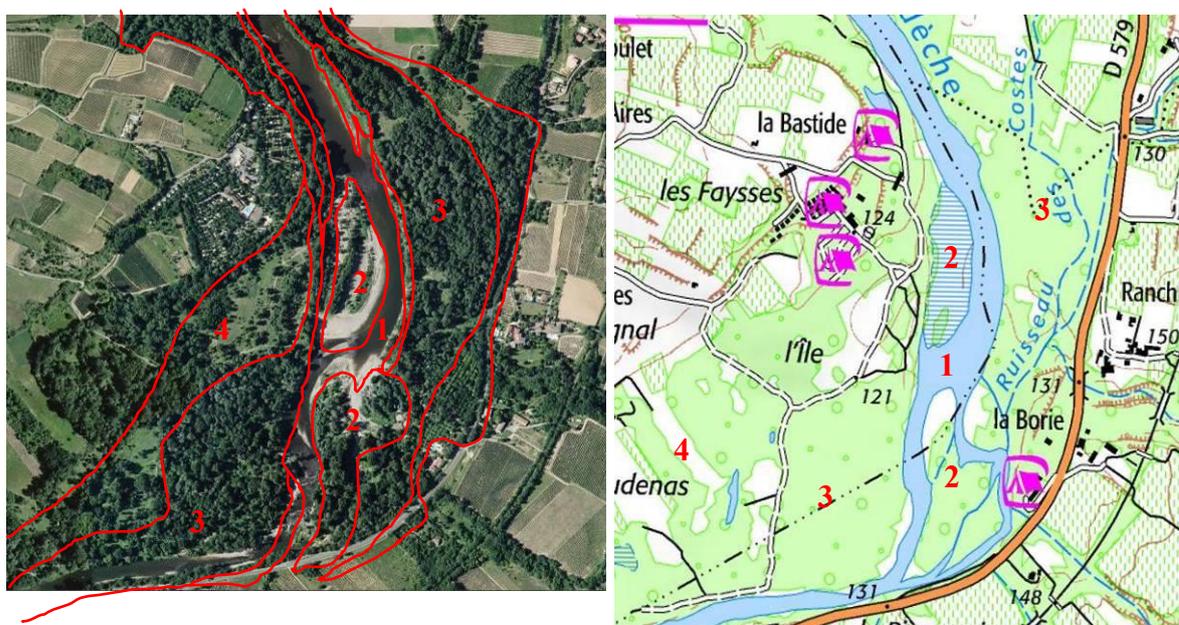


Figure 1 : Grands compartiments écologiques des complexes rivulaires et fluviaux sur le cours moyen de l'Ardèche : **1** : lit mineur, **2** : basses terrasses, **3** : moyennes terrasses, **4** : hautes terrasses

1. Délimitation spatiale des géosigmarelevés et des sigmarelevés

La limite des géosigmarelevés suit ce grand compartimentage écologique. C'est sur cette base que sont définies les unités typologiques élémentaires de niveau 2. Il est possible au sein des individus de géoséries ainsi délimités d'entreprendre une analyse sériale, comme l'illustre les figures ci-dessous relatives aux levées alluvionnaires de basses terrasses fortement soumises aux crues.

La délimitation spatiale des sigmarelevés de ces levées alluvionnaires correspondant aux basses terrasses doit tenir compte des facteurs écologiques déterminants (rhéophilie et alluvionnement, niveau topographique et nature du substrat) qui s'expriment toujours au travers de gradients continus. Les figures 2 et 3 ci-dessous illustrent les choix retenus. Les sigmarelevés présentent des surfaces très variables liées à la taille des bancs alluviaux (100 m² à plusieurs dizaines hectares).



Figure 2 : Expression du gradient topographique latéral et délimitation des sigmarelevés d'une levée alluvionnaire (basse terrasse) de l'Ardèche.

1 : individu de série des alluvions hygrophiles enrichis en limons ;

2 : individu de série des alluvions mésohygrophiles sablo-graveleux ;

3 : individu de série des alluvions mésoxérophiles remaniées annuellement. ;

4 : individu de série des alluvions mésoxérophiles peu remaniées.

De A vers B : granulométrie décroissante, humidité édaphique décroissante, complexité structurale croissante des communautés.

En orange, limites des 4 sigmarelevés réalisables.

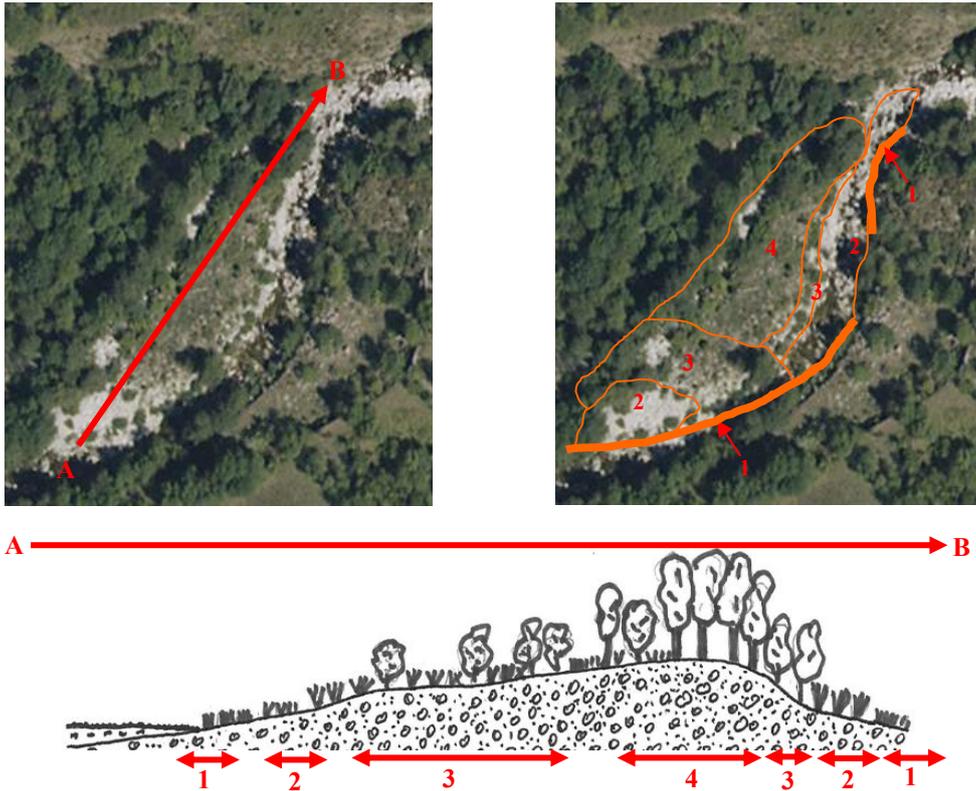


Figure 3 : Expression des gradients écologiques longitudinaux et délimitation des sigmarelevés d'une levée alluvionnaire (basse terrasse) de l'Ardèche.

1 : individu de série des alluvions hygrophiles enrichis en limons ;

2 : individu de série des alluvions mésohygrophiles sablo-graveleux ;

3 : individu de série des alluvions mésoxérophiles remaniées annuellement ;

4 : individu de série des alluvions mésoxérophiles peu remaniées.

De A vers B : granulométrie décroissante, humidité édaphique décroissante, complexité structurale croissante des communautés.

En orange, limites des 7 synrelevés réalisables sur cette levée alluvionnaire.

2. Réalisation du (gé)sigmarelevé

Une fois son emprise spatiale délimitée, la réalisation du relevé consiste en une énumération des groupements végétaux ou des sigmétums pondérés selon l'échelle de dominance de Braun-Blanquet. Une information relative à la distribution spatiale est également précisée.

Au final, l'unité typologie de niveau 2 retenue correspondra à des cellules paysagères de type « petites géoséries » respectant le compartimentage topographique (lit mineur, basses, moyennes et hautes terrasses), comme l'illustre la figure 4 ci-dessous. En fonction de la taille des terrasses, les types de cellules paysagères pourront être précisés (facultatif ici), car pour les systèmes de petites et moyennes rivières, les faciès sont le plus souvent très imbriqués et impossibles à cartographier à l'échelle retenue.

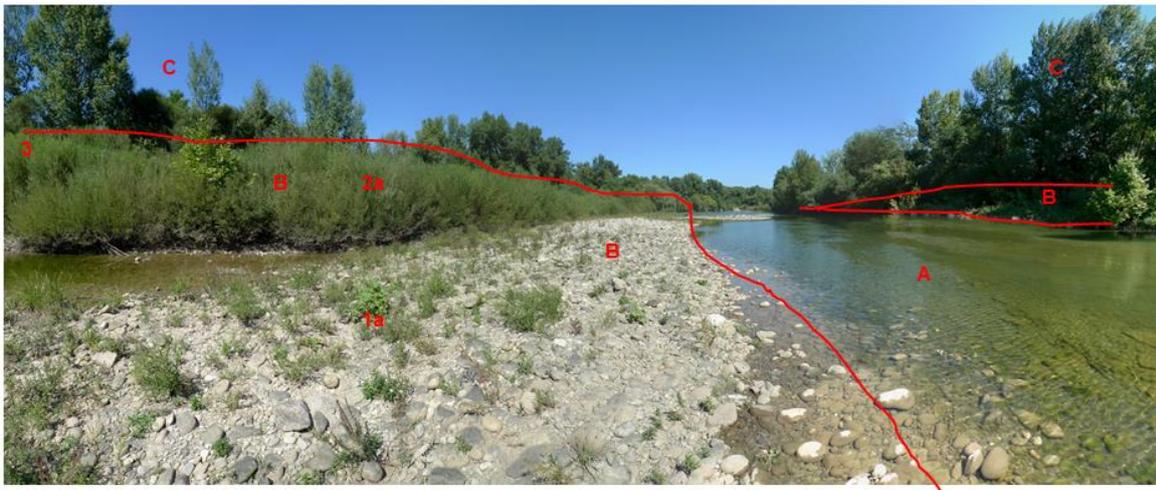
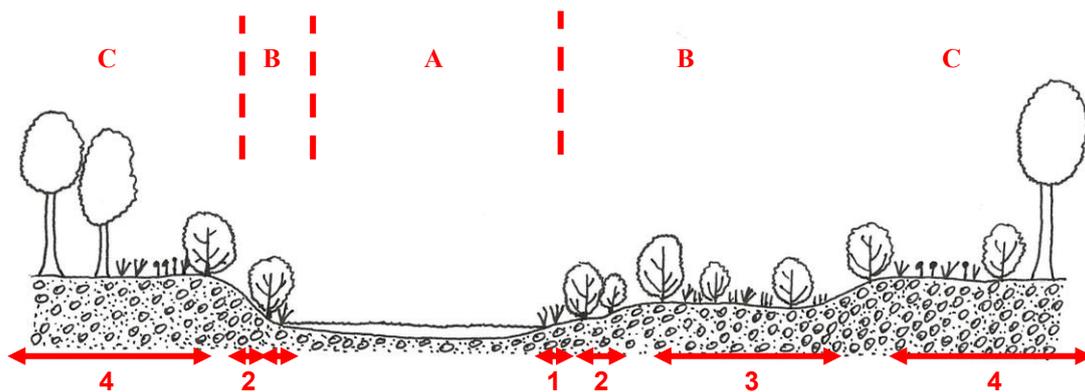


Figure 4 : Organisation spatiale des séries d'un tronçon droit de la moyenne vallée silico-calcaire de l'Ardèche et délimitation des géosynrelèves en lien avec l'approche typologique retenue.

A : lit mineur éventuellement caractérisable par la présence d'herbiers aquatiques

B : basse terrasse, Géosérie de la Saulaie pourpre à *Saponaria officinalis* var. type, unité édaphophile, tempori-hygrophile à hygrophile comprenant

1 : thérosérie du *Chenopodium rubri* (*Persicario mitis* – *Xanthietum italici* **1a**) et/ou permasérie du *Convolvulion sepium* (*Mentho longifoliae* – *Phalaridetum arundinaceae*)

2 : curtasérie hygrophile du *Salicion triandrae* (*Saponario officinalis* – *Salicetum purpureae* var. à *Lythrum salicaria* **2a**) ou série du *Salicion albae*

3 : curtasérie temporo-hygrophile du *Saponario officinalis* – *Salicetum purpureae* var. type

C : moyenne terrasse

4 : curtasérie du *Rhamno alaterni* – *Salicetum eleagni*, holosérie du *Rubo* – *Populion nigrae* ou holosérie du *Populion albae*

3. Traitement cartographique

Deux exemples présentés ci-dessous illustrent un traitement cartographique pour ces milieux complexes. La proposition de base reste la représentation cartographique des différents niveaux de terrasses avec néanmoins la **prise en compte au sein d'une même UVC des basses terrasses et du lit mineur**. Des adaptations sont à prévoir pour les systèmes fluviaux de grande étendue où, sans doute, le lit mineur pourra être individualisé.

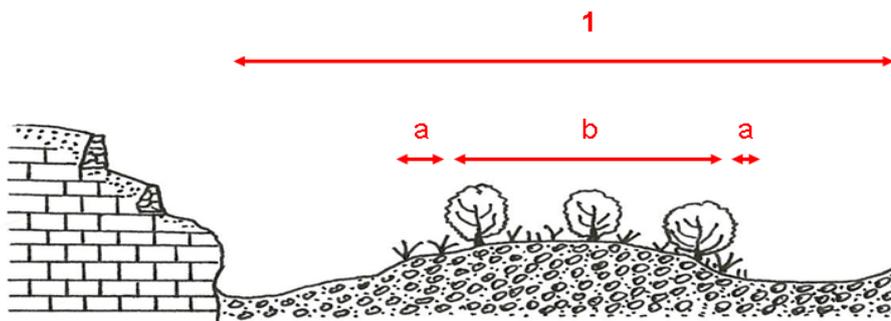
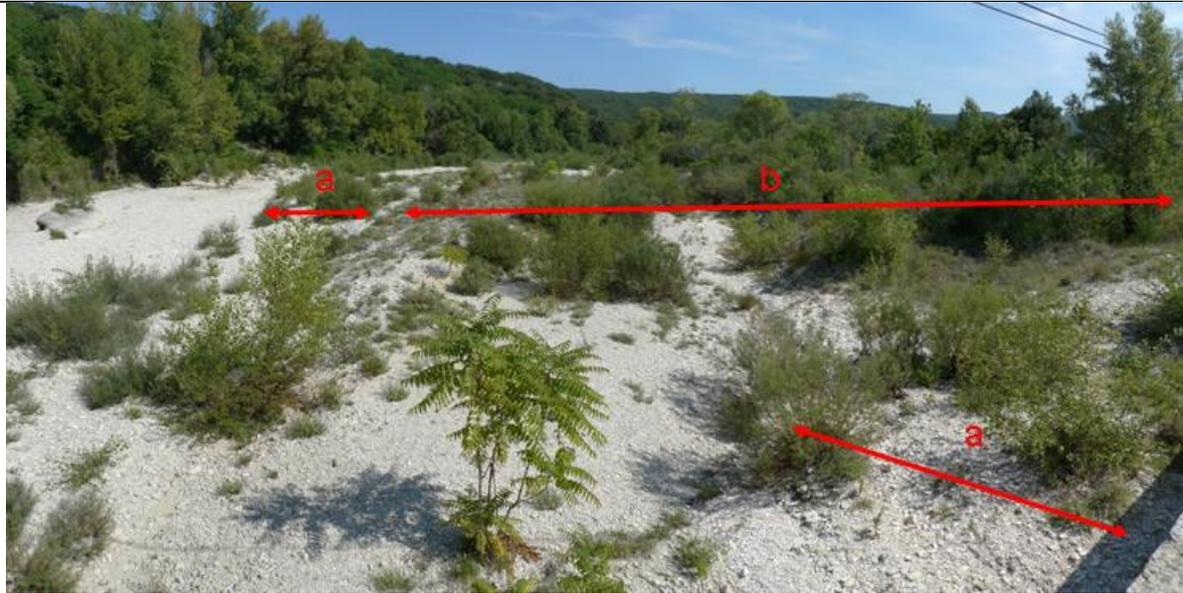


Figure 5 : Complexe de levée alluvionnaire de basses terrasses de rivière intermittente méditerranéenne (vallée de l'Ibie, Ardèche).

L'UVC (1) correspond à une **cellule paysagère de type 'complexe de recolonisation'** de la petite géosérie du *Rhamno alaterni – Salicetum eleagni prov.*

L'unité est hétérogène sur le plan physionomique avec fourré, ourlet graminéen, garrigue basse et friche ouverte et s'inscrit dans une complexe de compartiments écologiques temporo-hygrophile.

a : Curtasérie du *Rhamno alaterni – Salicetum eleagni var.* à *Glaucium flavum*, avec *Ptychotido saxifragae – Glaucietum flavi prov.*

Rhamno alaterni – Salicetum eleagni var. à *Glaucium flavum prov.*

b : Curtasérie du *Rhamno alaterni – Salicetum eleagni var.* à *Satureja montana prov.*, avec *Epilobio dodonaei-Saturejetum montanae prov.*

Groupement à *Centaurea asper* et *Bromus erectus*

Rhamno alaterni – Salicetum eleagni var. à *Satureja montana prov.*

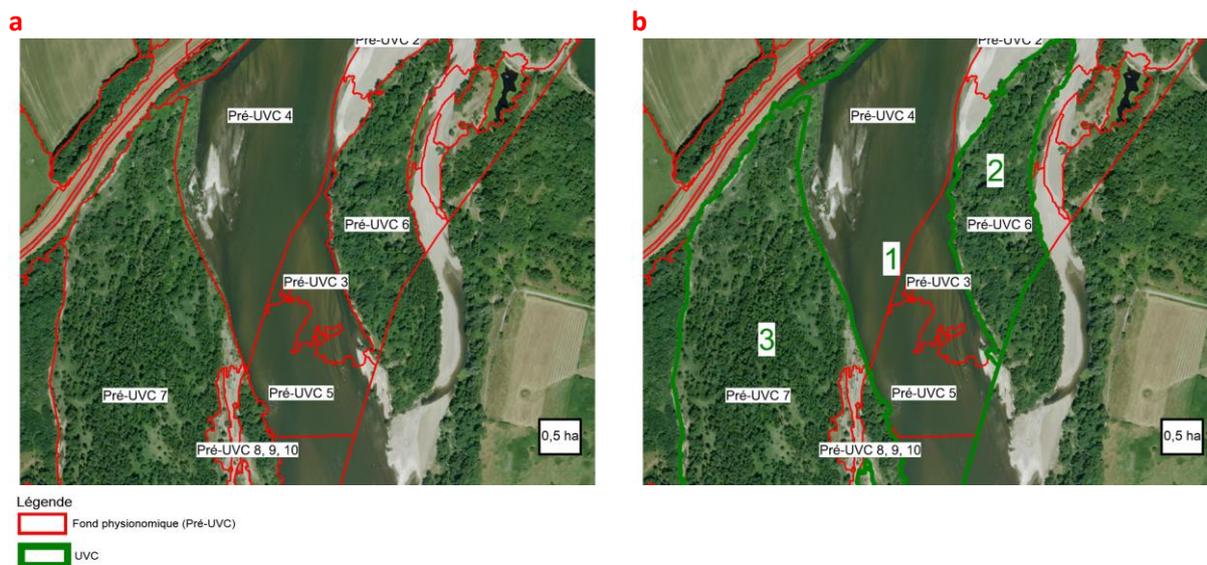


Figure 6 : Complexe des levées alluvionnaires du Val de Loire à Cours-les-Barres (Cher).
fond physiologique (a) et traitement cartographique (b) d'un complexe des levées alluvionnaires dans le Cher

L'objectif du cartographe est ici de délimiter d'un côté le complexe des végétations aquatiques et les basses terrasses et de l'autre les boisements des levées alluvionnaires des moyennes terrasses.

La figure 6b montre que :

- l'UVC 1 est formée des pré-UVC 3 à 5 (cellules paysagères aquatique et minérale peu végétalisée) ;
- l'UVC 2 formée de la pré-UVC 6 (cellule paysagère forestière).
- l'UVC 3 formée des pré-UVC 7 à 10 (cellule paysagère forestière) qui sont regroupées en raison de leur homogénéité physiologique et parfois compte-tenu de leur petite taille (< 0,5 ha).

L'UVC 1 est renseignée par 2 UTV :

- cellule paysagère aquatique de la géosérie de l'herbier à Renoncule en pinceaux, composée notamment d'herbiers à *Ranunculus penicillatus* du *Batrachion fluitantis* Neuhäusl 1959, dans le lit mineur du Cher ;
- cellule paysagère minérale peu végétalisée de la série de la Saulaie pionnière à Saule des vanniers (*Salico triandro viminealis geosigmetum prov.*) composé notamment de vastes étendues de *Chenopodium rubri* (Tüxen ex E.Poli & J.Tüxen 1960) Kopecký 1969.

Les UVC 2 et 3 représentent deux individus de la cellule paysagère forestière de la géosérie de la forêt à Erable *negundo* et Canche *cespitosa* (*Deschampsio cespitosae – Acero negundo geosigmetum prov.*), occupant les levées alluvionnaires moyennes de la Loire et composée de Peupleraies « sèches » (*Rubo caesii – Populetum nigrae* Felzines & Loiseau in J.M.Royer, Felzines, Misset & Thévenin 2006), sur le haut des levées (sables et graviers) et de Saulaies blanches (*Deschampsio cespitosae – Aceretum negundo* Felzines & Loiseau in J.M.Royer, Felzines, Misset & Thévenin 2006) dans les chenaux et anciens bras colmatés par les limons alluvionnaires.

D8	Les complexes de tourbière et de marais
Rédacteurs :	Guillaume Choisnet ; Paol Kerinec
Contacts :	guillaume.choisnet@cbnmc.fr ; paol.kerinec@cbnmc.fr

Il est proposé pour le traitement cartographique des tourbières et zones palustres d'avoir recourt à une des unités typologiques englobantes hétérogènes sur le plan physiologique et écologique.

Les différents complexes de groupements décrits ci-dessous constituent pourtant des types de cellules paysagères bien distincts mais tellement intriqués qu'il est ordinairement impossible de les séparer cartographiquement (ici, le fond physiologique ne les individualise pas).

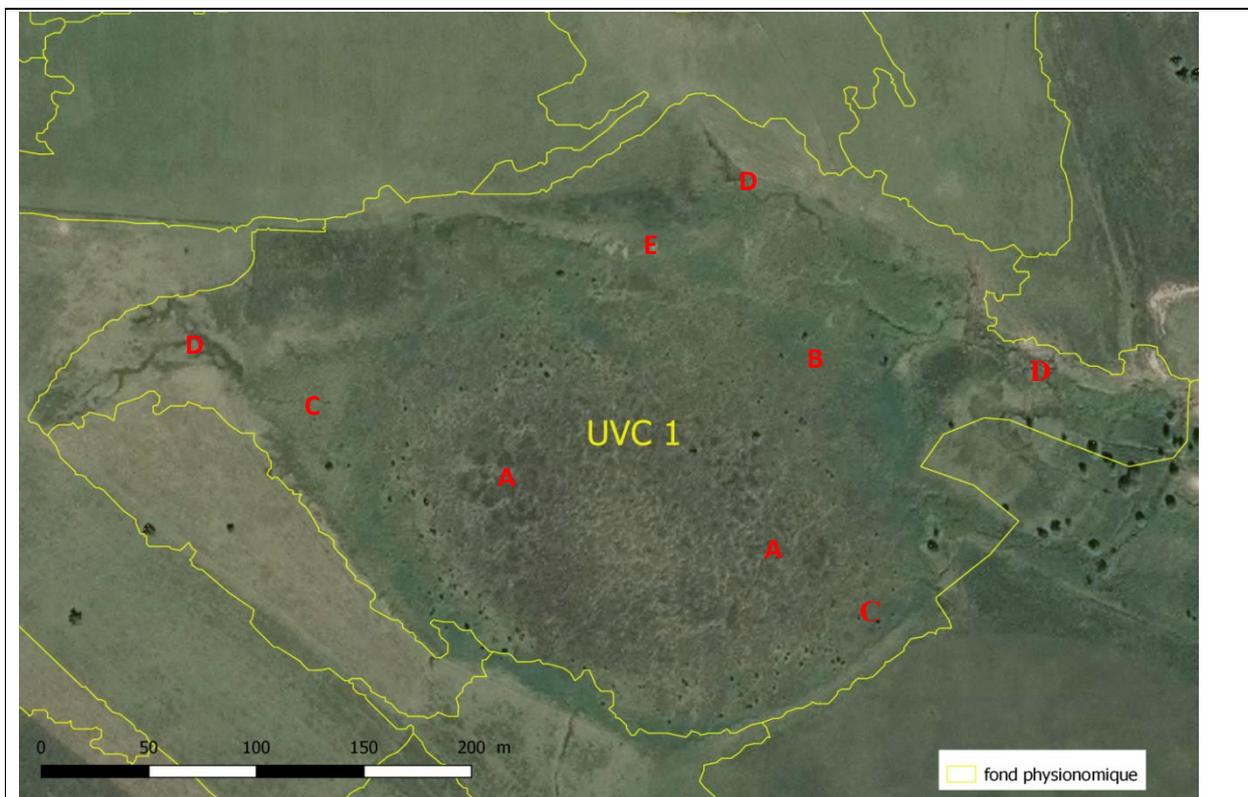


Figure 1 : tourbière acide avec complexe de haut-marais et de bas-marais couvrant 8 ha ; Hautes-Chaumes du Forez (63).

UVC 1 : cellule paysagère de type tourbière de la géosérie du Haut-marais du *Sphagnetum magellanici*, comprenant plusieurs complexes de groupements végétaux physiologiquement bien distincts.

Complexe de haut-marais

A – Groupements de landes et herbacés hauts, avec
Dicrano bergeri – *Callunetum vulgaris* Thébaud & Pétel 2008

Eriophoro vaginati – *Trichophoretum cespitosi* Osvald 1923

B – Groupements bryophytiques et landicoles, avec

Eriophoro vaginati – *Vaccinietum uliginosi* B.Foucault 1999

Sphagnetum magellanici M.Kästner & Flössner 1933

C – Groupement herbacé haut, avec

Eriophoro vaginati – *Vaccinietum uliginosi* B.Foucault 1999 var. à *Molinia caerulea*

Complexe de **Bas-marais** minérotrophile hyperhygrophile et turficole hygrophile

D – Groupements pelousaires et bryophytiques, avec

Sphagno fallacis – *Caricetum rostratae* Fries 1913

Groupement à *Montia fontana*

Epikero pyrenaei – *Caricetum nigrae* (Issler 1937) Thébaud *et al.* 2014

Selino pyrenaei – *Juncetum acutiflori* Julve 1983

Complexe de **pelouses mésohygrophiles acidiphiles** des marges de la tourbière

E – Groupements pelousaires et herbacés hauts, avec

Nardo strictae – *Juncetum squarrosi* Büker ex P.Duvign. 1949

Polygono bistortae – *Molinietum caerulea* Billy 2000

D9	Les complexes caténaux d'étangs
Rédacteurs :	Colin Hostein, Guillaume Choisnet
Contacts :	colin.hostein@cbnmc.fr ; guillaume.choisnet@cbnmc.fr

Les traitements typologique et cartographique des complexes de groupements végétaux liés aux étangs sont précisés ci-dessous au travers de l'illustration de cas concrets. La proposition de base est de distinguer cartographiquement et typologiquement la masse d'eau et ses herbiers aquatiques, des ceintures de végétation amphibies, héliophytiques et/ou palustres.

Un exemple de traitement typologique est donné à partir de la situation rencontrée à l'Étang Rouiards (fig. 1).

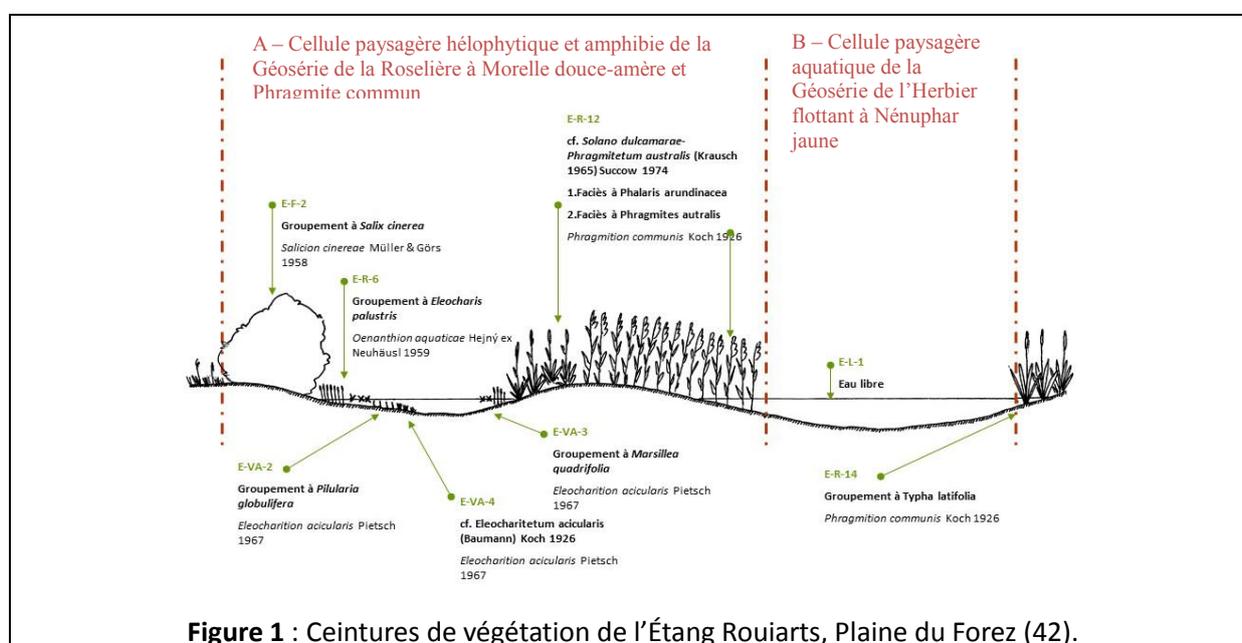


Figure 1 : Ceintures de végétation de l'Étang Rouiards, Plaine du Forez (42).

Pour les ceintures amphibies et héliophytiques, une unité typologique de niveau 2, hétérogène sur le plan écologique et physiognomique, est proposée (A). Elle correspond à la cellule paysagère héliophytique et amphibie de la Géosérie de la Roselière du *Solano dulcamarae – Phragmitetum australis* (Krausch 1965) Succow 1974. La masse d'eau correspond quant à elle à une cellule paysagère aquatique de la Géosérie de l'Herbier flottant à Nénuphar jaune et Nénuphar blanc.

Pour cette même situation rencontrée à l'Étang Rouiards, un exemple de traitement cartographique est donné (fig. 2).

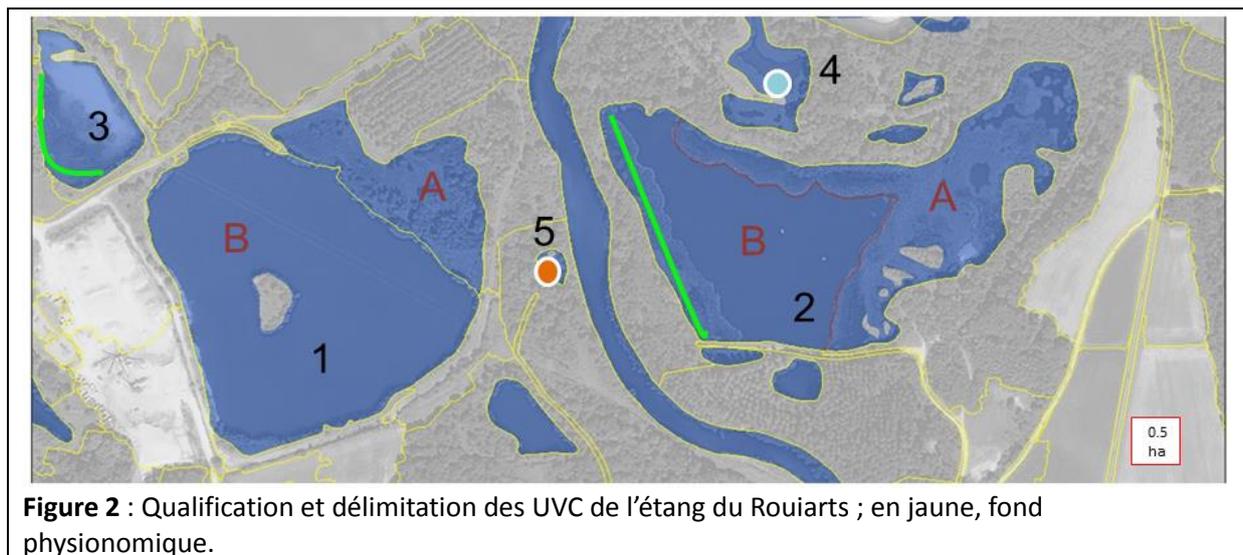


Figure 2 : Qualification et délimitation des UVC de l'étang du Rouiards ; en jaune, fond physiognomique.

Situation n°1 : les ceintures héliophytiques/amphibies ainsi que le milieu aquatique couvrent une surface supérieure ou égale à 0,5 ha

Étang 1 : le fond physiognomique (en jaune) permet d'isoler les ceintures de végétation (A) de la masse d'eau (B).

Étang 2 : le fond physiognomique a été modifié (trait rouge) pour représenter la majeure partie des ceintures de végétation.

A – cellule paysagère héliophytique et amphibie de la Géosérie de la Roselière du *Solano dulcamarae* – *Phragmitetum australis* (Krausch 1965) Succow 1974, hétérogène sur le plan physiognomique (fourrés, herbacés hauts, pelouses).

B – cellule paysagère aquatique de la Géosérie du *Nupharetum luteae* Felzines in J.-M.Royer, Felzines, Misset & Thévenin 2006

Situation n°2 : les ceintures héliophytiques/amphibies ou le compartiment aquatique couvrent une surface inférieure à 0,5 ha mais l'ensemble couvre 0,5 ha ou plus.

Étang 3 : les ceintures de végétation peu couvrantes sont représentées par une polyligne (en vert) représentant la cellule paysagère héliophytique et amphibie de la géosérie de la Roselière du *Solano dulcamarae* - *Phragmitetum australis*. La masse d'eau est rapprochée comme précédemment de la cellule paysagère aquatique de la géosérie du *Nupharetum luteae*

Étang 4 : le milieu aquatique minoritaire est ponctualisé tandis que les ceintures sont représentées par une UVC surfacique rattachée à la cellule paysagère héliophytique précédente.

Situation n°3 : la masse d'eau et les ceintures héliophytiques/amphibies couvrent une surface inférieure à 0,5 ha.

Étang 5 : l'ensemble de l'étang est représenté par une UVC ponctuelle (en orange).

- si une UTV2 domine (> 75 %) => qualification typologique par l'UTV dominante,

- si les ceintures et la masse d'eau sont co-dominantes => création d'une mosaïque de cellule paysagère.

Ici, la cellule paysagère aquatique de la Géosérie du *Nupharetum luteae* domine à 90 %.

E1	Stratégie d'échantillonnage pour la qualification
Rédacteurs :	Gaël Causse ; Sylvain Bellenfant ;
Contacts :	gael.causse@mnhn.fr ; sylvain.bellenfant@mnhn.fr

La qualification exhaustive *in situ* des pré-UVC n'étant raisonnablement pas envisageable sur la totalité des surfaces de France, seule une partie des pré-UVC (= échantillon) est qualifiée sur le terrain. L'analyse de l'échantillon doit permettre, *in fine*, de caractériser l'ensemble des pré-UVC : les propriétés des pré-UVC non qualifiées sur le terrain sont déduites, ou extrapolées, de celles de l'échantillon, à partir des données récoltées *in situ*. L'échantillonnage est donc déterminant pour optimiser la pertinence et la fiabilité de l'extrapolation. La stratégie d'échantillonnage définit précisément les règles de constitution de l'échantillon.

1. Les modalités de l'échantillonnage

1.1. Échantillonnage stratifié

L'échantillonnage est dit stratifié ou raisonné lorsque le choix des unités « échantillon » est effectué en fonction de critères préétablis, séparant l'ensemble en sous-ensembles, ou strates, mutuellement exclusifs et collectivement exhaustifs. C'est la méthode la plus couramment employée dans l'analyse des données écologiques. En l'occurrence, pour le programme CarHAB, l'hypothèse de départ est que la variabilité typologique des UVC n'est pas le fait du hasard, mais qu'au contraire il existe un certain nombre de paramètres, principalement mésologiques, structurant cette variabilité (la végétation étant une réponse aux conditions de milieu).

La stratification de l'échantillonnage est réalisée sur la base des paramètres structurants, l'objectif étant de minimiser la variabilité interne de chacune des strates ou sous-ensembles (variance intrastrate), tout en maximisant la variabilité entre strate (variance interstrate).

Il est possible d'emboîter plusieurs stratifications correspondant à des niveaux hiérarchiques différents. Ainsi une première stratification peut être effectuée sur la base de paramètres globaux, conduisant à partitionner l'espace en macro-strates homogènes, puis d'opérer une seconde stratification basée sur des paramètres locaux, consistant à identifier des sous-strates au sein des macro-strates. On parle alors d'échantillonnage stratifié à deux niveaux. Il est bien entendu possible d'emboîter un plus grand nombre de niveaux.

1.2. Pression d'échantillonnage

L'effectif de l'échantillon est une donnée cruciale qui détermine la fiabilité des estimations : plus la pression d'échantillonnage est élevée, plus la précision des extrapolations est forte. La pression ou l'effort d'échantillonnage est donc souvent le résultat d'un compromis entre le degré de précision à atteindre et les contraintes budgétaires, mais aussi d'autres contraintes comme le temps disponible, la complexité des mesures à effectuer, etc.

1.3. Répartition de l'effectif dans les strates : l'allocation

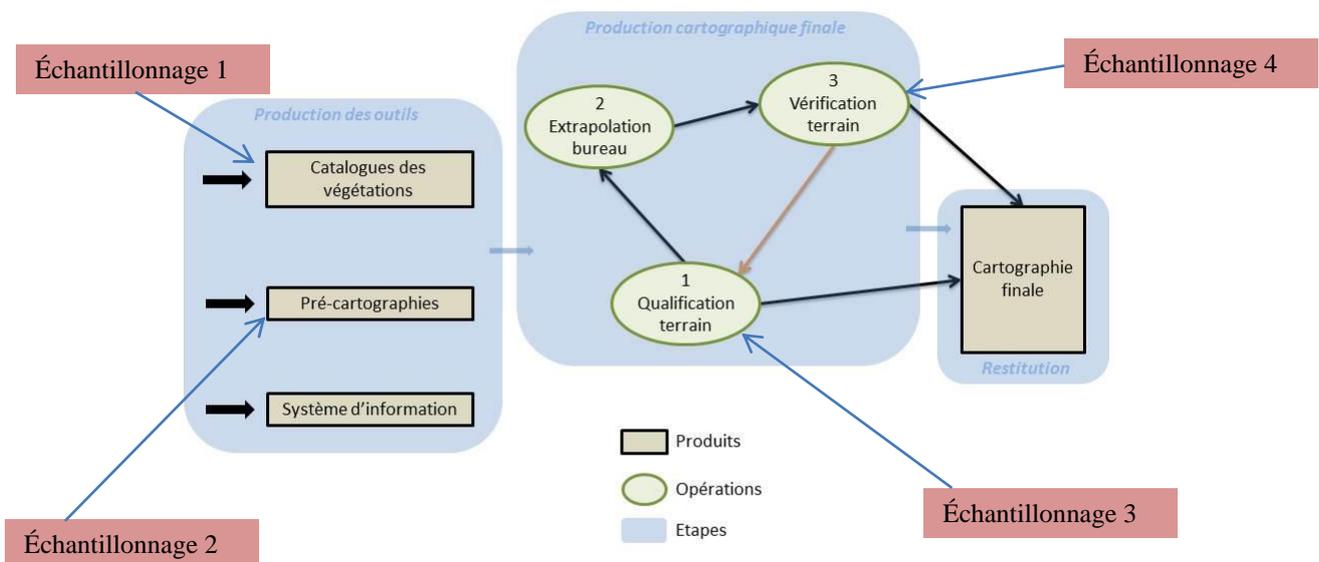
Nous verrons qu'après la stratification, la question de la répartition de l'échantillonnage dans les strates est un point essentiel dans la stratégie d'échantillonnage. Deux types d'allocations existent : l'allocation proportionnelle lorsque l'effectif de chaque strate est proportionnel au poids de la strate, l'allocation optimale lorsque l'effectif est proportionnel à la variabilité de la strate.

1.4. Choix des unités « échantillon »

Le choix le plus classique consiste à appliquer un plan aléatoire simple au sein de chaque strate : les unités « échantillon » sont tirées au hasard dans la strate. Cependant, il est possible d'avoir à intégrer d'autres paramètres ou contraintes de coût dans le choix des unités, et de choisir les unités permettant d'optimiser l'efficacité des prospections terrain ou encore de répondre à ces critères supplémentaires. On parle alors d'échantillonnage orienté ou dirigé.

1.5. Place de l'échantillonnage dans la démarche de cartographie

La figure 1 ci-dessous reprend la démarche générale présentée au chapitre 2.2.1 et permet d'identifier quelles sont les opérations de la démarche de cartographie qui font appel à un échantillonnage et à des prospections de terrain :



Rappel des principes de production de la cartographie CarHAB

Figure 1 : Les étapes de production de la cartographie CarHAB.

Quatre stratégies d'échantillonnage doivent être précisées pour l'application de la démarche de cartographie : elles concernent les opérations de i) production des catalogues typologiques, ii) production de la pré-cartographie, iii) qualification terrain d'UVC, iv) validation et compléments terrain.

Les échantillonnages 1 et 2 ayant déjà été décrits dans la partie 3.2 et dans les fiches C1, C2 et A3, seuls les échantillonnages 3 et 4 relatifs à la qualification phytosociologique des pré-UVC sont détaillés ci-dessous.

2. L'échantillonnage pour la qualification phytosociologique des unités de végétation cartographiables

Cette phase permet d'aboutir à la production des données utiles à la production cartographique finale. Elle pourra aussi, en cas de besoin, être l'occasion de compléter les catalogues descriptifs des unités typologiques de végétation (UTV).

2.1. Qualification *in situ* des pré-UVC - Échantillonnage 3

2.1.1. Objectifs

La qualification *in situ* des pré-UVC vise à :

- recueillir un lot suffisant de données sur les pré-UVC pour en dégager les caractéristiques par type, et en particulier définir précisément les liens entre (UTV) et unités de la pré-cartographie (pré-UVC) afin de pouvoir qualifier *ex situ* des pré-UVC (capacité prédictive de la pré-cartographie) ;
- si nécessaire, conforter la validité statistique de la composition syntaxonomique des cellules paysagères par la réalisation de relevés complémentaires.

2.1.2. Stratification de l'échantillonnage

Dans cet échantillonnage, la question de la stratification est théoriquement simple puisque les sous-ensembles supposés homogènes ont été définis et cartographiés dans la pré-cartographie. Chaque type de pré-UVC constitue une strate particulière. La pré-cartographie intégrée est donc mobilisée en l'état pour stratifier l'échantillonnage.

2.1.3. Pression et allocation d'échantillonnage

Un taux minimal global de prospections initiales *in situ* est nécessaire dans la phase de production cartographique. Il garantit notamment une certaine homogénéité nationale des données et de leur précision. La répartition de l'échantillonnage suit le principe d'une allocation « mixte », en deux temps :

- allocation optimale (l'effectif est proportionnel à la variabilité de la strate) : plus une strate est hétérogène, plus elle est échantillonnée ;
- allocation proportionnelle : un ajustement de l'effectif sera effectué en fonction du poids de la strate (i.e. de sa superficie totale). Plus la strate est représentée sur le territoire, plus elle est échantillonnée.

Il est possible de préciser quelles sont les situations hétérogènes qui nécessitent un effort d'échantillonnage plus important du fait de leur grande variabilité intrinsèque mais aussi de leurs enjeux patrimoniaux potentiels. Elles couvrent les mêmes sous-ensembles que ceux identifiés dans l'échantillonnage pour la typologie (cf. § 3.2 et fiche C2) :

- complexes de zones humides : tous les clusters du fond environnemental caractérisés par une humidité du substrat élevée ;
- compartiment physiologique prairial : la composante « herbacée » du fond physiologique.

À l'inverse, certains milieux sont volontairement sous-prospectés : il s'agit de l'ensemble des cultures agricoles dont la qualification typologique se situe, non pas au niveau de la végétation spontanée actuelle, mais uniquement au niveau de la potentialité sériale, elle-même déduite de la composante environnementale de la pré-cartographie. L'essentiel du travail de terrain sur la trame culturelle consiste donc en un contrôle qualité de la pré-cartographie physiologique sur ce poste.

2.1.4. Choix des unités d'échantillon

Pour orienter le choix des surfaces à cartographier *in situ*, les considérations additionnelles suivantes sont prises en compte :

- optimiser l'effort de prospection en favorisant des secteurs présentant un maximum de diversité dans les types de pré-UVC, en évitant néanmoins les situations de trop forte fragmentation (risque accru de types fragmentaires) ;
- contrairement aux prospections de la phase typologique, veiller à multiplier le nombre de secteurs échantillons et à les répartir sur l'ensemble du territoire afin d'obtenir une couverture surfacique régulière, sans zone vierge ;
- prioriser des secteurs intégrant les aires protégées ou à statut environnemental concentrant le patrimoine naturel du territoire (PN, PNR, RNN, RNR, ENS, SIC, ZNIEFF) pour favoriser l'acquisition de données précises sur ces zones prioritaires.

2.2. Qualification *ex situ* des UVC

2.2.1. Objectif

La qualification *ex situ* vise à créer et qualifier des pré-UVC par extrapolation, à partir de la pré-cartographie et des liaisons entre UTV et pré-UVC. Cette étape revêt un caractère exhaustif : toutes les pré-UVC non qualifiées *in situ* devront être expertisées, à des niveaux de précision et de fiabilité divers dépendant de la force des relations entre pré-UVC et UTV.

2.2.2. Méthode

À l'issue de la première phase de terrain, le cartographe dispose d'un échantillon d'UVC qualifiées *in situ*. L'analyse des liens entre pré-UVC et UTV consiste à établir un tableau de correspondance à double entrée (tab. 1) avec, en colonne les types de pré-UVC, en ligne les UTV, et en donnée croisée la fréquence de réalisation, calculée à partir du jeu de données récolté. Les fréquences marginales sont égales à 100 % (toutes les UTV s'observent obligatoirement dans des pré-UVC, et toutes les pré-UVC de l'échantillon sont caractérisées par des UTV).

Tableau 1 : Tableau de correspondance à double entrée établissant les liens entre les types de pré-unités de végétation cartographiables et les unités typologique de végétation

		Cluster 1		Cluster 2	...	Pré-UVCn	TOTAL
		Pré-UVC1 <i>Physio1 x</i> <i>Cluster1</i>	Pré-UVC2 <i>Physio2 x</i> <i>Cluster1</i>	Pré-UVC3 <i>Physio1 x</i> <i>Cluster2</i>	...	Pré-UVCn	TOTAL
Série 1	UTV1 <i>Cpay 1 de la série 1</i>	95%	2%	3%	...	-	100%
	UTV2 <i>Cpay 2 de la série 1</i>	2%	70%	15%	...	10%	100%
Série 2	UTV3 <i>Cpay 1 de la série 2</i>	-	-	40%	...	20%	100%
	100%
	UTVp	3%	10%	40%	...	20%	100%
	TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	

L'organisation de ce tableau est importante et l'ordre des UTV et des pré-UVC doit être hiérarchisé. Ainsi, toutes les unités typologiques de niveau 2 (cellules paysagères - *Cpay*) appartenant à une même série se suivent dans le tableau, pour retrouver par agglomération de cellules le niveau d'intégration supérieur, correspondant à la série dans son ensemble. Il en est de même pour les pré-UVC : toutes les physionomies d'un même cluster environnemental doivent être accolées, avant de passer à un autre cluster environnemental. Une telle organisation permet une lecture différenciée des résultats, et une étude des liaisons à deux niveaux :

- entre les clusters du fond environnemental et les potentialités sériales ou géosériales,
- entre les postes du fond physionomique et les grandes catégories de cellules paysagères définis en annexe 1.

Classement des pré-UVC par grand type de relation

L'exploitation du tableau de correspondance à double entrées aboutit à un classement exhaustif des types de pré-UVC dans les catégories suivantes :

<u>Catégorie 1</u>	relation unique ou presque (ex : pré-UVC1 = UTV1) et l'indice de confiance affecté lors de la détermination de l'UTV de niveau 2 est « haute » : une qualification <i>ex situ</i> est possible sans information supplémentaire, avec une marge d'erreur faible.
<u>Catégorie 2</u>	relation multiple, mais avec un lien dominant (ex. : pré-UVC2 ≈ UTV2) où l'indice de confiance affecté lors de la détermination de l'UTV de niveau 2 est « moyen » : la qualification <i>ex situ</i> reste possible sans information supplémentaire, mais avec une marge d'erreur plus élevée.
<u>Catégorie 3</u>	relation multiple, sans lien dominant (ex. : pré-UVC3 ≈ UTV3 + UTVp) où l'indice de confiance affecté lors de la détermination de l'UTV de niveau 2 est « faible ». Qualification impossible sans information supplémentaire, mais la liste des possibilités se réduit considérablement.
<u>Catégorie 4</u>	relation inexploitable (liens trop nombreux) : qualification impossible sans information supplémentaire, pas de réduction des possibilités.

2.3. Validation et compléments *in situ* de l'extrapolation - Échantillonnage 4

2.3.1. Objectif

Cette étape vise à :

- contrôler les qualifications *ex situ* des pré-UVC dont l'indice de confiance est « haut » ou « moyen » (catégories 1 et 2 ci-dessus) ;
- qualifier les pré-UVC dont la détermination *ex situ* est non concluante (catégorie 3 et 4) ;
- enrichir l'échantillonnage initial pour améliorer la capacité d'extrapolation des types incertains et l'estimation générale des catégories 2, 3 voire 4.

Seul l'échantillonnage pour la validation des qualifications *ex situ* est développé dans cette partie. **La qualification des pré-UVC n'ayant pu être déterminée par extrapolation (catégories 3 et 4) sera obligatoirement exhaustive** (caractère exhaustif de la carte CarHAB), il n'est donc pas question d'échantillonnage pour ce type d'unités. La méthode de qualification *in situ* est décrite au paragraphe 5.1 du guide.

2.3.2. Stratification de l'échantillonnage

Dans l'étape de validation, les strates correspondent aux différentes UTV ayant permis de qualifier les UVC *ex situ*.

2.3.3. Pression et allocation d'échantillonnage

Toutes les strates doivent être prospectées pour assurer un contrôle exhaustif des différentes situations. Le taux de base de vérification est fixé à 10 % des UVC dans chaque strate. Ce pourcentage de vérification, valable pour un type d'UVC de catégorie 1, est revu à la hausse pour les UVC de catégorie 2. La pression d'échantillonnage sera donc égale à :

- 10 % de l'effectif pour un type d'UVC de catégorie 1 (proposition à confirmer par les retours terrain) ;
- 20 % de l'effectif pour type d'UVC de catégorie 2 (proposition à confirmer par les retours terrain).

Prenons l'exemple d'un type d'UVC, caractérisé ex situ par une même UTV, et représenté sur le territoire par 500 polygones. L'effectif échantillon pour le contrôle de ce type d'UVC sera de 50 polygones (10 %) s'il s'agit d'une UVC de catégorie 1, mais porté à 100 polygones (20 %) si c'est une UVC de catégorie 2.

2.3.4. Choix des unités « échantillon »

Des considérations additionnelles pour le choix des secteurs à prospecter sont à prendre en compte :

- optimiser l'effort de prospections en favorisant des zones variées riches en UVC de catégorie 2 ;
- veiller à multiplier le nombre de secteurs échantillons et à les répartir sur l'ensemble du territoire afin d'obtenir une couverture surfacique régulière, sans zone vierge ;
- privilégier des parcours par transects orientés de façon à maximiser les types d'UVC à contrôler en un minimum de distance.

2.4. Calendrier proposé

Tableau 2 : modèle de calendrier pour l'échantillonnage visant la qualification des unités de végétation cartographiées

Opération	Hiver 3	Été 3	Hiver 4	Été 4	Hiver 5	Été 5	Hiver 6
Préparation du plan d'échantillonnage pour les qualifications <i>in situ</i>							
Prospections terrain : qualification précise initiale <i>in situ</i>							
Analyses des données et qualification <i>ex situ</i> des pré-UVC							
Préparation du plan d'échantillonnage pour les contrôles <i>in situ</i>							
Prospections terrain : contrôle des qualifications <i>ex situ</i>							
Prospections terrain : qualification des pré-UVC non qualifiées							
Analyses des données et feedback sur la qualification <i>ex situ</i>							
Prospections terrain : contrôle des qualifications <i>ex situ</i>							
Prospections terrain : qualification des pré-UVC non qualifiées							
Validation générale et rendu cartographique							

BIBLIOGRAPHIE

Hill D., Fasham M., Tucker G., Shewry M & Shaw Ph., 2005. *Handbook of Biodiversity Methods. Survey, Evaluation and Monitoring*. Cambridge University Press, New York, 588 p. (précisément la partie 2.3. : 23-41)

Fiers V., 2003. *Études scientifiques en espaces naturels. Cadre méthodologique pour le recueil et le traitement des données naturalistes*. Cahiers techniques de l'ATEN n°72. Réserves Naturelles de France, Montpellier, 96 p.

Bazin N. & Gaudin S., 2003. *Tests d'une méthode de cartographie rapide des stations forestières, Synthèse générale*. CRPF Champagne-Ardenne, version 1.2, 47 p. + annexes.

F1	Dans quels cas découpe-t-on un polygone du fond physiionomique ?
Rédacteurs :	Sylvain Bellenfant, Colin Hostein
Contacts :	sylvain.bellenfant@mnhn.fr ; colin.hostein@cbnmc.fr

Le découpage d'un polygone est réservé aux cas suivants :

- dans un même compartiment écologique **lorsque le fond physiionomique n'a pas mis en évidence un type de végétation** (§ 1.a), par exemple un habitat patrimonial ;
- dans un même compartiment écologique, **lorsqu'un changement de l'occupation du sol a été observé** par rapport aux indications du fond physiionomique (§ 1.b et c) ;
- lorsque le polygone comporte plusieurs compartiments écologiques (§ 2.a et b).

Le découpage peut se faire en s'appuyant sur les polygones d'une couche géographique existante :

- segmentation du fond physiionomique à des niveaux plus fins ;
- fond environnemental ou couches de paramètres intervenant dans le fond environnemental : couches utiles au découpage des zones humides, indices topographiques, couches relatives à la géologie...

À défaut de couche géographique existante sur laquelle s'appuyer afin de délimiter le polygone, le découpage se fait manuellement.

1. Découpage dans un même compartiment écologique

a) Cas d'étude en contexte de vallée alluviale du Cher à Farges-Allichamps, dans le département du Cher

Le fond physiionomique fait ressortir une pré-UVC physiionomique sous forme d'un vaste polygone, au centre de l'image (fig. 1a) qui englobe **plusieurs cellules paysagères** appartenant à 3 petites géoséries qui s'inscrivent dans un complexe de compartiments écologiques humide :

- la rivière avec un herbier flottant,
- les bancs de sable végétalisés ou non,
- la ripisylve constituée d'une saulaie blanche mature.

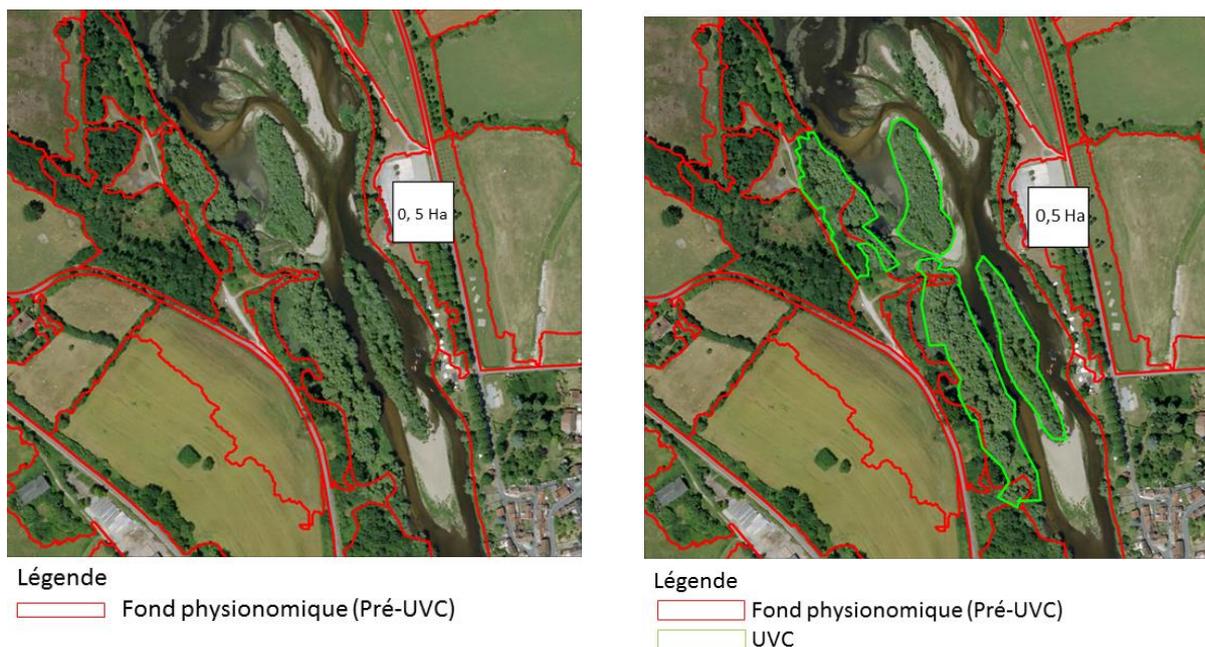


Figure 1 : Détail du fond physiologique en contexte de vallée alluviale du Cher (a) et découpage d'une pré-UVC pour générer les UVC (b)

On identifie plusieurs cellules paysagères très imbriquées, ce qui est généralement le cas en contexte alluvial. Cependant, il ressort que la Saulaie blanche n'est pas délimitée par le fond physiologique, or cette saulaie apparaît sous **forme de 3 polygones de plus de 0,5 ha** (fig. 1b). Compte tenu de leur intérêt patrimonial (habitat d'intérêt communautaire), leur délimitation est donc proposée. Cette délimitation se fait manuellement (contour en vert) sur la base de la physionomie de la végétation observable sur la photographie aérienne. Les 2 UTV que sont les herbiers aquatiques et les grèves sableuses végétalisées sont intégrées dans la même UVC.

b) Mise en évidence d'une nouvelle cellule paysagère, en contexte forestier dans le PNR du Pilat (Loire)

Le fond physiologique (fig. 2a) présente une surface homogène initialement renseignée comme «formation forestière ». Les observations de terrain révèlent la présence d'une cellule paysagère culturelle (supérieure à 0,5 ha) non détectée par le fond physiologique (apparue récemment ?).

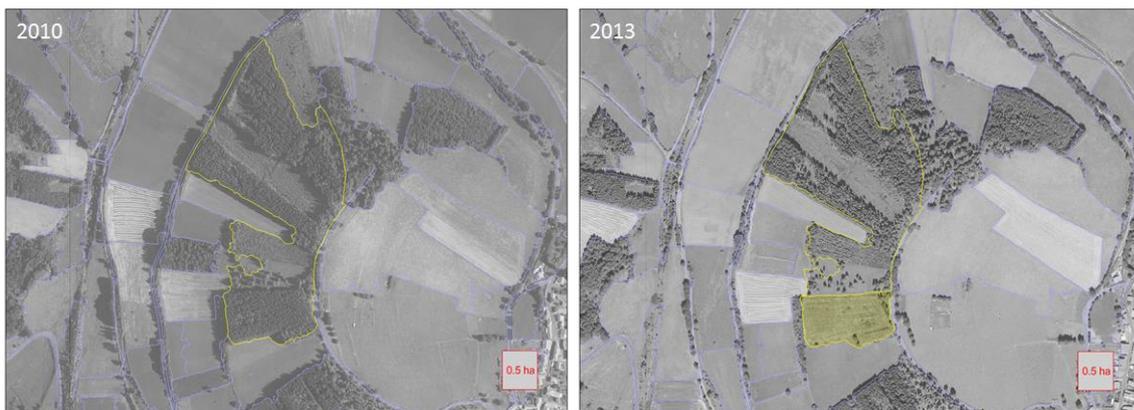


Figure 2: Détail du fond paysagère en contexte forestier dans le PNR du Pilat (a) et découpage d'une pré-UVC pour délimiter une cellule paysagère culturelle - trame en jaune (b)

Étant donné que cette cellule paysagère est distincte de la cellule paysagère forestière du polygone et qu'elle couvre plus de 0,5 ha, le traitement consiste à relever les contours de cette culture et d'utiliser cette nouvelle empreise pour découper le fond paysagère. Dans ce cas, la délimitation des contours de la pré-UVC de la cellule paysagère culturelle se base sur les observations de terrain. Elle est réalisée manuellement.

c) Mise en évidence d'une nouvelle cellule paysagère, en contexte de zone humide dans le Pilat sur la commune de Saint-Genest-Malifaux

Le fond paysagère (fig. 3) fait ressortir des polygones informés par un poste paysagère identique. Les observations de terrain montrent la présence d'une tourbière soligène de montagne qui intersecte plusieurs de ces polygones du fond paysagère.

Une modification des contours des pré-UVC s'avère nécessaire pour distinguer cette tourbière appartenant à une unité typologique bien distincte. Les contours de la nouvelle UVC sont calés sur des observations de terrain.

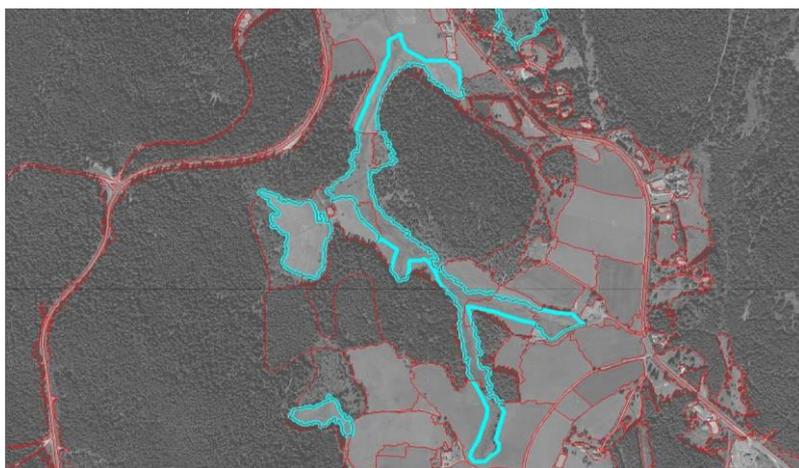


Figure 3 : Délimitation d'une cellule paysagère de tourbière (en bleu) qui redécoupe plusieurs polygones du fond paysagère (en rouge).

2. Découpage de la pré-UVC physionomique en plusieurs compartiments écologiques

a) Mise en évidence de zones humides en contexte forestier dans le Pays Fort (zone de relief) à la Chapelotte dans le Cher : cas de découpage d'une pré-UVC physionomique par une pré-UVC écologique

Le fond physionomique (en rouge, fig.4) identifie plusieurs polygones de forêts mélangées de feuillus et de chênaies (1, 2 et 3). Le fond physionomique ne permet pas de détecter la zone humide qui est par ailleurs identifiée dans la couche milieux hygrophiles du fond environnemental (en bleu).

a



b



Légende

-  Fond physionomique
-  UVC
-  Milieux hygrophiles du Fond environnemental

Figure 4 : découpage d'une pré-UVC physionomique par une pré-UVC écologique en contexte forestier dans le Pays Fort

L'étude de terrain montre que la zone (en bleu) au milieu de la carte, correspond à une zone humide alimentée par des sources en amont. Il s'y développe, notamment, une formation à aulnes. Elle se distingue bien du grand compartiment écologique mésophile du reste du polygone.

Pour la cartographie, les pré-UVC forestières du fond physionomique ont été modifiées. Le compartiment écologique hygrophile est délimitée (en vert, fig. 4b) sur la base des contours de la couche « milieux hygrophiles » du fond environnemental et ajustée à partir des observations de terrain avec par exemple un élargissement plus en aval. Les 3 pré-UVC (1, 2 et 3 sur la carte de droite) sont en partie regroupées au sein de ce compartiment humide.

b) Découpage d'une pré-UVC physionomique par un paramètre écologique précis : la géologie, cas du plateau de la Champagne berrichonne à Levet (18)

La figure 5 ci-dessous montre qu'une même pré-UVC physionomique comporte des parties boisées qui relèvent, suite aux observations sur le terrain, de deux compartiments écologiques différents :

- une chênaie à Chêne sessile et à Fragon sur sol sain (2 et 3) entrant dans un compartiment écologique mésophile ;
- une chênaie à Chêne pédonculé et à Fragon sur sol temporairement humide (1), qui relève d'un compartiment temporohyrophile.

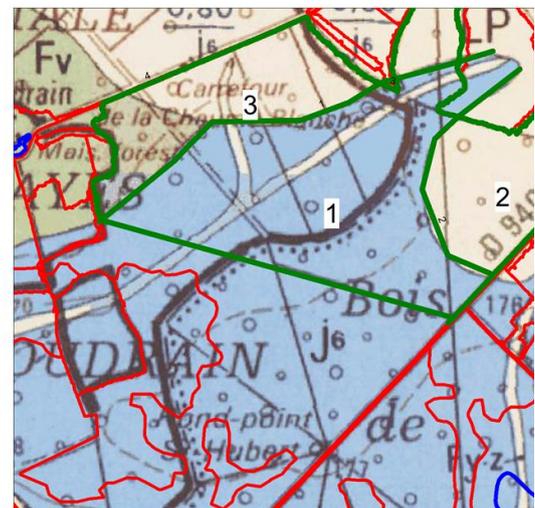
La délimitation entre ces deux types de boisements ne peut s'appuyer ni sur le fond environnemental, avec la couche des milieux hygrophile (en bleu), ni sur le fond physionomique (en rouge), ni sur la topographie (plateau).

Le tracé (en vert – fig. 5b) est calé sur la limite des limons des plateaux (LP) et des alluvions (Fv) pour l'UVC 2 et les marnes imperméables (j6) pour l'UVC 3.

a



b



- Légende
- Fond physionomique
 - UVC
 - Milieux hygrophiles du Fond environnemental

Figure 5 : Découpage d'une pré-UVC physionomique en fonction de la géologie, en contexte forestier de la Champagne berrichonne

F2	Dans quels cas fusionne-t-on des polygones du fond physiologique ?
Rédacteurs :	Sylvain Bellenfant ; Colin Hostein
Contacts :	sylvain.bellenfant@mnhn.fr ; colin.hostein@cbnmc.fr

La fusion de polygones du fond physiologique est justifiée dans les cas suivants :

- lorsque les pré-UVC physiologiques ont une superficie de moins de 0,5 ha ;
- lorsque les végétations correspondent à une même cellule paysagère et s'inscrivent dans un même compartiment écologique et une même série ;
- lorsque les pré-UVC écologique correspondent à une même cellule paysagère et s'inscrivent dans un même compartiment écologique et une même série.

1. Fusion de pré-UVC physiologiques de moins de 0,5 hectare

a) Cas d'étude à Vallenay dans le Cher

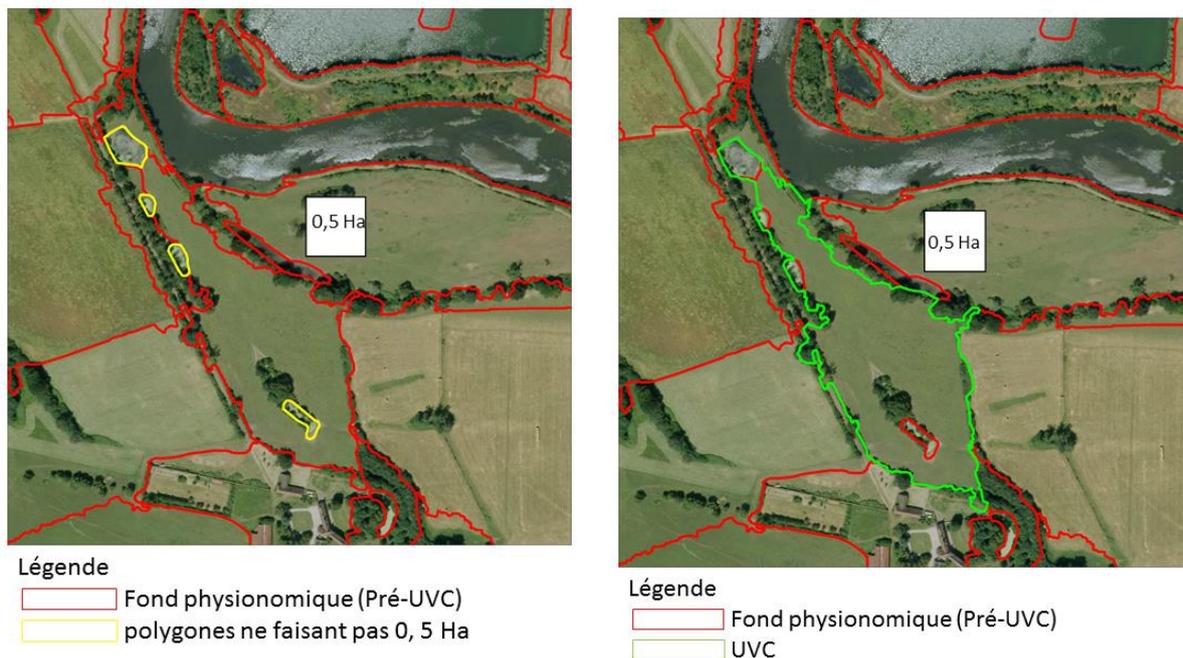


Figure 1 : Fusion de plusieurs polygones du fond physiologique dans le Cher pour respecter la superficie minimale de 0,5 ha

Le fond physiologique (fig. 1) fait apparaître en jaune 4 pré-UVC de moins de 0,5 ha dans une prairie alluviale. Elles ne peuvent être individualisées en végétation ponctuelle car le diagnostic de terrain

montre qu'il ne s'agit pas d'habitat d'intérêt communautaire ou de végétation remarquable. D'autre part, l'étude de terrain montre que la potentialité sériale de ces pré-UVC est différente (végétations plus humides). Le pourcentage cumulé de recouvrement des 4 pré-UVC en jaune fait moins de 25 % de l'UVC final, on ne peut définir un deuxième niveau sérial à rattacher à l'UVC finale. Les syntaxons identifiés sont alors renseignés dans l'UVC mais sans être rattachés à la série qui lui est attribuée.

2. Fusion de polygones représentant une même cellule paysagère

Ce cas de figure apparaît lorsque deux ou plusieurs polygones du fond physiologique correspondent à la même cellule paysagère et présentent donc une même physiologie et un même compartiment écologique. Ce cas de figure est fréquent car l'échelle de découpage du fond physiologique est à l'échelle parcellaire ou infra-parcellaire. La logique d'une approche par cellule paysagère conduit alors à réaliser de nombreuses fusions.

a) Cas de prairies alluviales à Farges-Allichamps dans le Cher

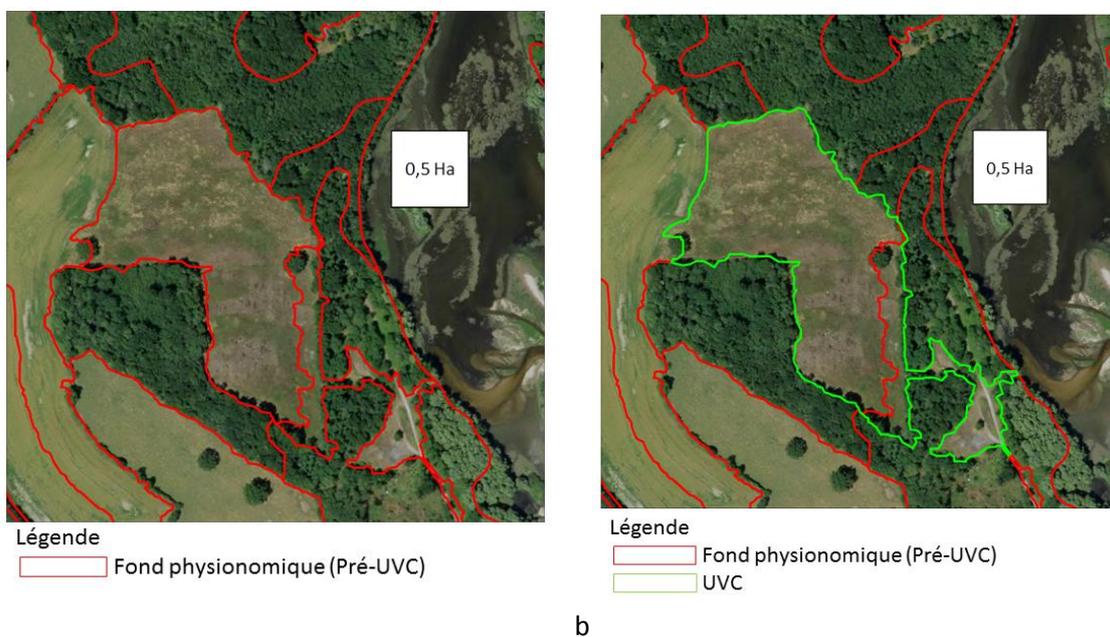


Figure 2 : Fusion de deux polygones du fond physiologique associés à la même cellule paysagère d'une même série

Le fond physiologique (fig. 2a) fait apparaître deux polygones d'une même cellule paysagère correspondant à des prairies après abandon cultural. Le diagnostic de terrain montre que les deux pré-UVC partagent le même compartiment écologique : conditions voisines de pH du sol (acidicline). La végétation potentielle est donc identique, les prairies appartiennent de ce fait à une même série. C'est cette perspective qui guide la fusion.

Les deux polygones sont fusionnés pour constituer une même UVC (en vert – fig. 2b).

Dans l'hypothèse où un chemin séparerait certains polygones, le chemin serait intégré. Si le chemin est bordé d'arbres, une pré-UVC linéaire est ajoutée si elle répond aux critères de linéarisation.

b) Parcellaire agricole de moyenne montagne

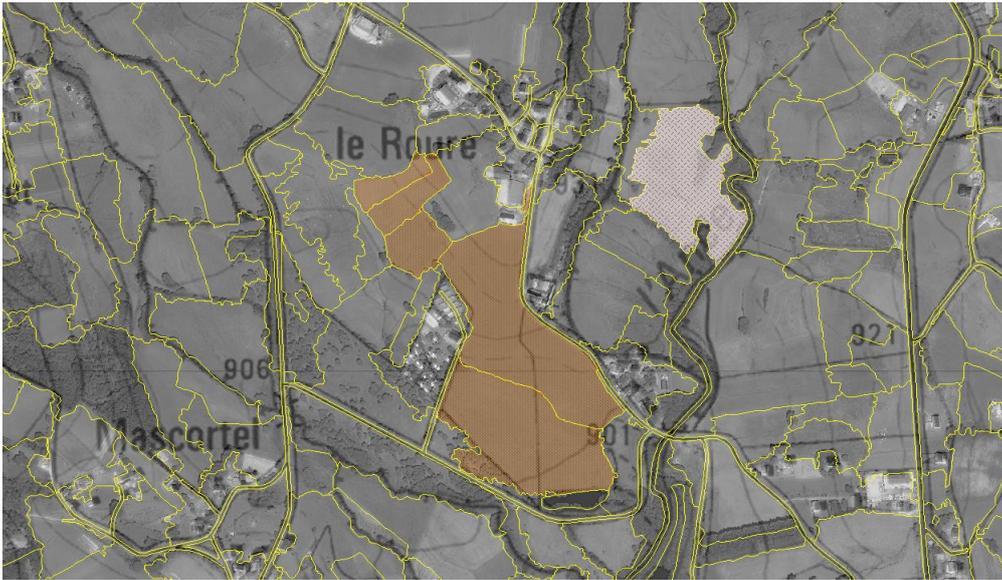


Figure 3 : Fusion de plusieurs polygones du fond physiologique associés à la même cellule paysagère d'une même série.

Le diagnostic de terrain montre que les pré-UVC physiologiques appartiennent à la même cellule paysagère (même physiologie et même série de végétation). Les polygones en orange sont donc fusionnés de manière à ne former qu'une unique UVC culturelle. Dans ce cas, les contours en jaune des pré-UVC physiologiques témoignent de modalités passées de gestion du parcellaire agricole.

c) Complexe de recolonisation en contexte alluvial, Cours les Barres (vallée de la Loire dans le département du Cher)

Dans le cas présenté figure 4, 4 polygones (en rouge) apparaissent dans la même potentialité sériale (Ormaie frênaie alluviale au sein du grand compartiment écologique de l' hygrosère).



Figure 4 : Fusion de plusieurs polygones du fond physiologique associés à une même cellule paysagère en contexte alluvial

Les observations de terrain permettent de fusionner le principal polygone avec deux autres polygones plus petits (1 et 2, fig. 4b) car ils appartiennent à la même cellule paysagère : « complexe de recolonisation ». Le petit polygone au milieu du plus grand est conservé car il s'agit d'une pelouse de plus de 0,5 ha.

F3	Exemple de linéarisation et de ponctualisation
Rédacteurs :	Colin Hostein, Jérôme Millet, Sylvain Bellenfant
Contacts :	colin.Hostein@cbnmc.fr ; jerome.millet@fcbn.fr ; sylvain.bellenfant@developpement-durable.gouv.fr

1. Délimitation des unités de végétation cartographiées de type linéaire

On utilise l'**UVC linéaire** pour représenter des unités homogènes de végétation répondant aux règles cartographiques suivantes : largeur de moins de 20 m ; longueur de plus de 250 m, sans interruptions de plus de 50 m. Le recours à ce mode de représentation concerne principalement les cours d'eau (lit mineur et berges des ruisseaux et rivières), les vallons secs, les ripisylves, les parois et barres rocheuses...

Concernant les **haies**, dans le thème végétation de la BD TOPO®, il existe une couche spécifique aux haies qui sont représentées de manière surfacique par des polygones issus du processus de segmentation. Cette couche d'information sera intégrée dans le système d'information CarHAB pour être mobilisée à l'occasion de la production de cartes. Il n'est donc pas utile que le cartographe délimite chaque haie. Néanmoins, il est invité à consulter cette couche pour, le cas échéant, ajouter des sections de haies qui seraient absentes de la BD TOPO.

a) Linéarisation de cours d'eau, cas des rivières du Plateau Pélussinois (Loire 42)

Dans cet exemple, les rivières entaillent le plateau et génèrent des pentes à forts dénivelés. Les complexes de végétation humides qui jouxtent le cours d'eau s'expriment sur de faibles largeurs (inférieures à 20 m.). Ils sont donc représentés par des UVC linéaires calquées sur les cours d'eau de la BD CarTHAgE® (fig. 1).



Figure 1 : Exemple d'UVC linéaire (cellule paysagère forestière de fond de vallon) en bleu se surimposant sur les UVC surfaciques (en orange).

b) Qualification typologique de polygones linéaires

Si nécessaire, les linéaires obtenus, correspondant aux grands compartiments écologiques humides, sont ensuite sectionnés en fonction de leur physionomie (fig. 2). Ce découpage se base sur les informations contenues dans les polygones du fond physiographique ou sur des observations *in situ*.

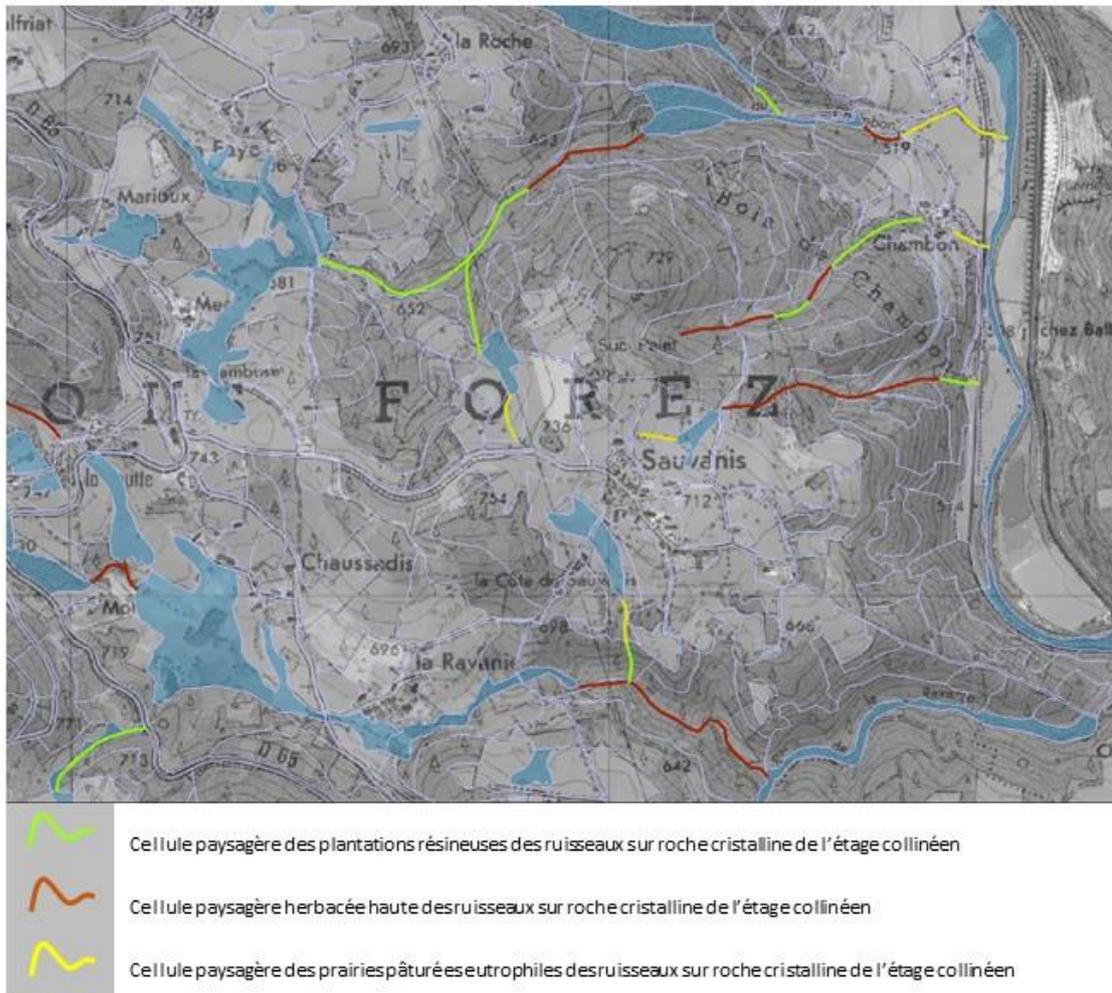


Figure 2 : représentation linéaire de 3 cellules paysagères de ruisseaux sur roches cristallines.

2. Délimitation des unités de végétation cartographiées de type ponctuel

On utilise le mode de représentation en ponctuel afin de signaler la présence d'un élément remarquable (habitat d'intérêt communautaire, végétation rare, zone humide) occupant une superficie de moins de 0,5 hectare et non répétitif dans une unité typologique de niveau 2 (fig 3).

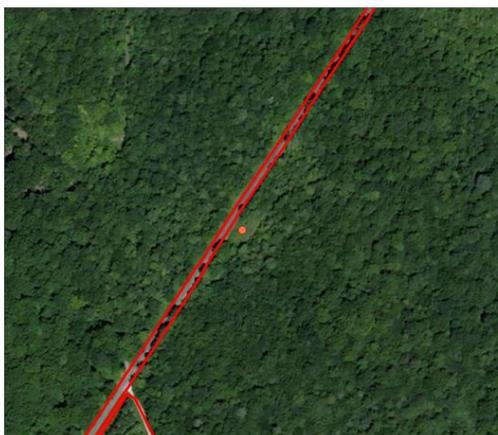
Avant d'utiliser cette représentation, le cartographe doit s'informer de la composition des unités typologiques présentées dans les catalogues. En effet, lorsqu'ils sont répétitifs, les éléments remarquables sont pris en compte dans la composition de l'unité typologique en tant qu'«éléments répétitifs». Dans ce cas, ils ne sont pas représentés cartographiquement par un point mais leur présence est signalée dans le système d'information. Le principe de base est de ne pas multiplier les informations qui fausseraient les données surfaciques.

a) Ponctualisation de mares



Figure 3 : Exemple d'UVC ponctuelles (cellules paysagères aquatiques) en bleu. Les polygones du fond physiologique apparaissent en rouge.

b) Ponctualisation d'une UVC de pelouses sèches calcicoles, à Plou dans le Cher



Légende

-  Fond physiologique (Pré-UVC)
-  Habitat ponctuel

Figure 4 : Ponctualisation d'une pelouse calcicole dans un contexte de chênaie charmaie dans le Cher

La figure 4 illustre le cas d'une pelouse calcicole (habitat d'intérêt communautaire) non détectée par le fond physiologique et qui s'insère dans un contexte de chênaie-charmaie calcicole sèche sur plateaux calcaires. Sa superficie est inférieure à 0,5 hectare. Elle ne peut être donc faire l'objet d'une délimitation de type surfacique.

F4	Quelques exemples de qualification typologique et de représentation cartographique
Rédacteur :	Thomas SANZ, Marc Isenmann
Contacts :	t.sanz@cbn-alpin.org ; m.isenmann@cbn-alpin.org

Exemple 1 : polygone bien délimité, une cellule paysagère à physionomie homogène, une seule potentialité

Au centre de la carte (fig. 1), une UVC de la pré-cartographie – 2,5 ha – délimite une cellule paysagère très homogène sur le plan de la physionomie et de l'écologie, qui domine la surface à plus de 75%. Les contours et la surface sont pertinents.

L'UVC est dominée à plus de 75% par une prairie de fauche eutrophile (*Heracleo sphondylii – Brometum hordeacei*), ce qui permet de la qualifier comme « cellule paysagère **prairiale**, mésophile, de l'étage collinéen » dont la composition syntaxonomique théorique est la suivante :

Syntaxons	Descriptifs succincts	Ab - Dom
<i>Heracleo sphondylii – Brometum hordeacei</i>	Prairie fauchée eutrophile mésophile collinéenne	3
<i>Cirsio arvensis – Lolietum perennis</i>	Prairie pâturée eutrophile mésophile collinéenne	3
<i>Lolio perennis – Plantaginetum majoris</i>	Prairie piétinée eutrophile mésophile collinéenne (entrée de parcelle...)	+

Comme l'UVC a pu être observée sur le terrain, la composition syntaxonomique peut être modifiée (correction de la liste des associations et de leur abondance-dominance). Dans notre exemple le résultat est le suivant :

Syntaxons	Descriptifs succincts	Ab - Dom
<i>Heracleo sphondylii – Brometum hordeacei</i>	Prairie fauchée eutrophile mésophile collinéenne	5
<i>Lolio perennis – Plantaginetum majoris</i>	Prairie surpiétinée eutrophile mésophile collinéenne (entrée de parcelle...)	+



Figure 1 : cellule paysagère prairiale, mésophile, de l'étage collinéen

Exemple 2 : polygones à fusionner, une cellule paysagère à physionomie homogène mais différents traitements (fauche / pâture), une seule potentialité

Le groupe d'UVC au centre de la carte (fig. 2a) chevauche plusieurs parcelles de gestion qui présentent une homogénéité physionomique. Certaines parcelles sont fauchées, d'autres pâturées.

La visite de terrain montre que l'ensemble est dominé à plus de 75% par des végétations prairiales mésotrophiles et basiclinophiles de l'étage collinéen. En fusionnant ces UVC, la nouvelle qui en résulte (fig. 2b) peut être qualifiée en « cellule paysagère **prairiale, mésophile à mésoxérophile, basiclinophile à basiphile, de l'étage collinéen** », dont la composition syntaxonomique théorique est la suivante :

Syntaxons	Descriptifs succincts	Ab - Dom
<i>Medicago lupulinae – Cynosuretum cristati</i>	Prairie pâturée mésotrophe, mésophile, basiclinophile, collinéenne	3
<i>Dauco carotae – Arrhenatheretum elatioris</i>	Prairie fauchée mésotrophe, mésophile, basiclinophile, collinéenne	3
<i>Galio veri – Trifolietum repentis</i>	Prairie fauchée eutrophile mésophile à mésoxérophile, basiphile	3

Cette composition correspond à ce qui a pu être observé sur le terrain et n'est donc pas modifiée.

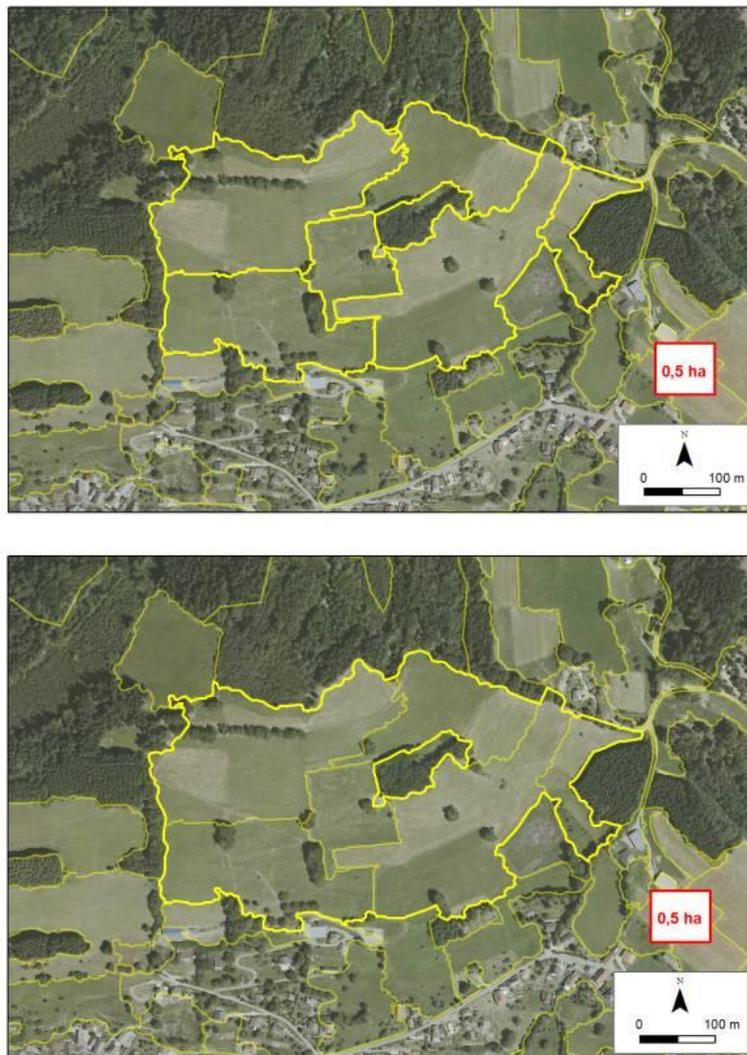


Figure 2 : cellule paysagère prairiale, mésophile à mésoxérophile, basiclinophile à basiphile, de l'étage collinéen (a= image du haut, avant fusion ; b= image du bas, après fusion)

Exemple 3 : polygones à fusionner, une cellule paysagère à physionomie mixte et une seule potentialité (cellule paysagère de recolonisation)

Le groupe d'UVC au centre de la carte (fig. 3a) délimite une potentialité sériale homogène (versants et vires en forte pente d'exposition nord sur substrat cristallin).

Physionomiquement, il s'agit d'une mosaïque dominée à plus de 75% par des fourrés et des landes (*Alnetum viridis*, *Vaccinio myrtilli – Rhododendretum ferruginei*).

Compte tenu de la faible surface – inférieure à 0,5 ha – de 6 de ces 8 polygones, leur fusion justifiée permet de qualifier l'UVC qui en résulte (fig. 3b) comme « cellule paysagère **complexe de recolonisation**, mésophile à hygrocliclinophile, acidoclinophile à acidiphile, de l'étage subalpin » dont la composition syntaxonomique théorique est la suivante :

Syntaxons	Descriptifs succincts	Ab - Dom
<i>Alnetum viridis</i>	Fourré subalpin d'ubac	4
<i>Vaccinio myrtilli – Rhododendretum ferruginei</i>	Lande subalpine d'ubac	3
<i>Agrostietum agrostiflorae</i>	Prairie de hautes herbes subalpine acidiphile d'ubac	+
Groupement à <i>Athyrium distentifolium</i> et <i>Adenostyles alliariae</i>	Mégaphorbiaie subalpine acidiphile des pieds de parois et éboulis frais	+

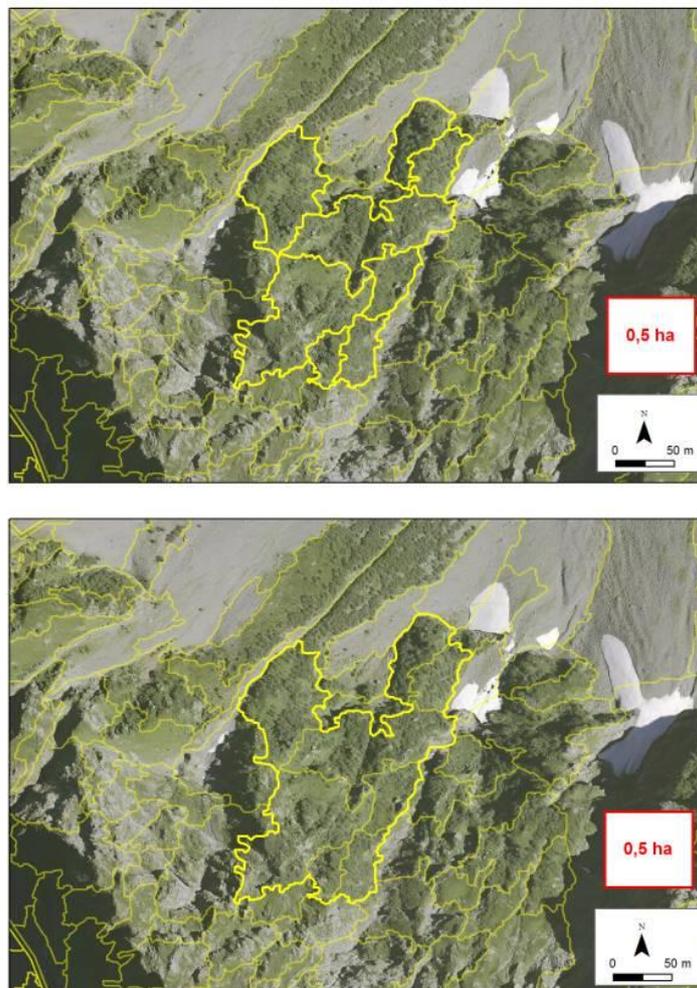


Figure 3 : cellule paysagère complexe de recolonisation, mésophile à hygrocliclinophile, acidoclinophile à acidiphile, de l'étage subalpin (a= image du haut, avant fusion ; b=image du bas, après fusion)

Exemple 4 : polygone bien délimité, plusieurs cellules paysagères en mosaïque, à physionomie homogène, mais plusieurs potentialités

L'UVC au centre de la carte (fig. 4) délimite un élément de paysage homogène sur le plan de la physionomie. Elle est dominée à plus de 75% par des pelouses ouvertes de l'étage alpin (2 650 m).

La géomorphologie de type « roche moutonnée » engendre une forte variabilité de la durée d'enneigement entre les croupes et les combes. Par conséquent, l'UVC chevauche de petits compartiments écologiques très différents distribués en mosaïque fine. Les pelouses de ces différents compartiments écologiques peuvent s'exprimer indépendamment les unes des autres dans d'autres contextes géomorphologiques que les roches moutonnées. La combinaison de ces pelouses n'étant pas suffisamment répétitive, il n'est pas possible de créer une cellule paysagère unique.

L'UVC contient donc deux cellules paysagères différentes qui co-dominent sa surface dans des proportions équivalentes, avec une distribution en mosaïque. La composition de l'UVC est la suivante :

Cellules paysagères	% rec.	Syntaxons	Descriptifs succincts	Ab - Dom
1 : pelousaire cryophile acidiphile de l'étage alpin	50	<i>Festucetum halleri</i>	Pelouse alpine acidiphile cryophile, xéroclinophile	3
		<i>Carici myosuroidis – Festucetum halleri</i>	Pelouse alpine acidiphile cryophile, humicole	3
2 : pelousaire chionophile acidiphile de l'étage alpin	50	<i>Salicetum herbaceae</i>	Pelouse des combes à neiges, acidiphile, mésophile	3
		<i>Caricetum foetidae</i>	Pelouse des combes à neiges acidiphiles, hygroclinophile	2

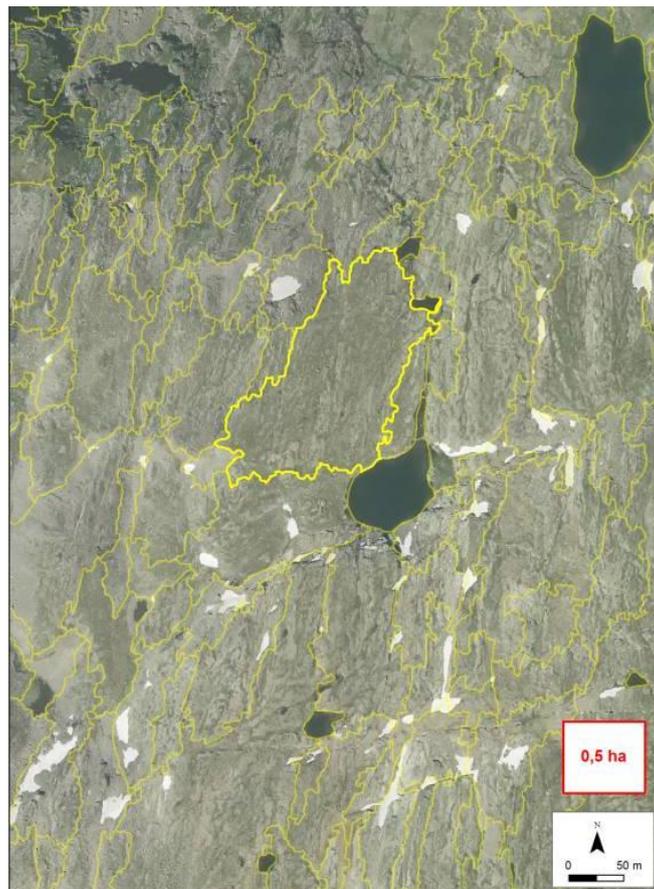


Figure 4 : mosaïque d'une cellule paysagère pelousaire cryophile acidiphile et d'une cellule paysagère pelousaire chionophile acidiphile de l'étage alpin

Exemple 5 : ponctualisation d'une cellule paysagère

L'UVC au centre de la carte se trouve dans la même configuration que l'exemple précédent. Elle contient en plus un petit lac d'altitude (fig. 5a). La visite de terrain a permis de constater la présence d'un complexe de végétation caractéristique. Cet élément indépendant du reste est beaucoup trop petit pour être représenté sous forme de polygone. Une UVC de type « point » peut être ajoutée à la cartographie pour le représenter (fig. 5b).

Ce point est qualifié comme « cellule paysagère d'herbier aquatique acidiphile, de l'étage alpin » dont la composition syntaxonomique, validée par le terrain, est la suivante :

Syntaxons	Descriptifs succincts	Ab - Dom
<i>Callitricho palustris – Sparganietum angustifoli</i>	Herbiers vivace flottant acidiphile subalpin et alpin	3
<i>Eriophoretum scheuchzeri</i>	Parvo-roselière amphibie acidiphile de l'étage alpin	3

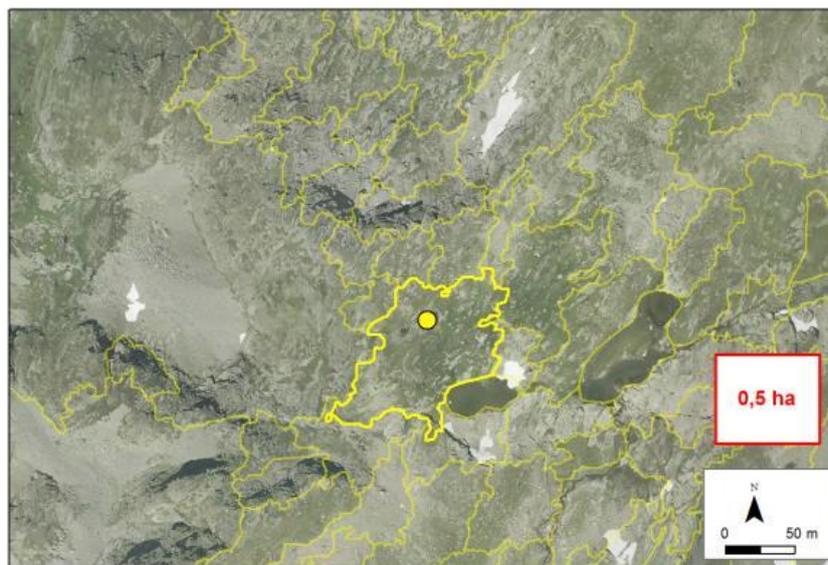
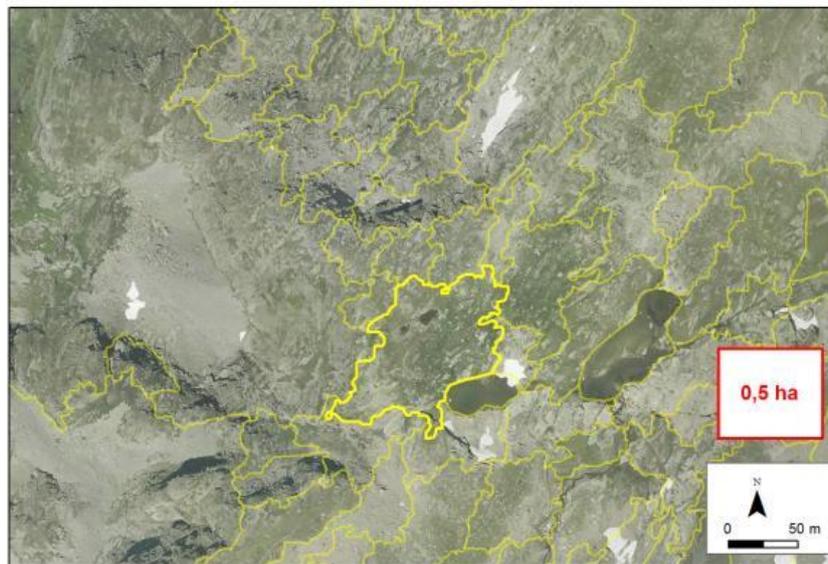


Figure 5 a et b : cellule paysagère d'herbier aquatique acidiphile, de l'étage alpin (a = image du haut, avant ponctualisation ; b = image du bas, après ponctualisation)

Exemple 6 : linéarisation d'un élément de paysage et exemple de végétation associée

L'UVC (fig. 6) est dominée par un massif forestier. Ce massif est entaillé par un ravin parcouru par un torrent. Compte tenu de sa superficie et de sa forme, cet élément de paysage peut être représenté sous forme de polygone, qualifiée en « cellule paysagère forestière, aérohygrophile des fonds de ravins sur substrat d'éléments fins à grossiers, de l'étage montagnard » dont la composition syntaxonomique théorique est la suivante :

Syntaxons	Descriptifs succincts	Ab - Dom
<i>Arunco dioici</i> – <i>Aceretum pseudoplatani</i>	Erablaie-Frênaie montagnarde aérohygrophile sur sol colluvionné riche en élément fin	4
<i>Phyllitido scolopendri</i> – <i>Aceretum pseudoplatani</i>	Erablaie-Frênaie collinéo-montagnarde aérohygrophile sur blocs grossiers d'origine calcaire ou marno-calcaire	2
<i>Primulo elatiori</i> – <i>Quercetum robori</i>	Frênaie-Chênaie hydrocline sur sol colluvionné	2
<i>Cardamino amarae</i> – <i>Chrysosplenietum alternifolii</i>	Végétation associée des sources et suintements	+

La géosérie dans laquelle s'inscrit cette cellule paysagère comprend une permassérie associée liée aux zones de suintements et aux sources, caractérisée par les végétations du *Cardamino amarae* – *Chrysosplenietum alternifolii*. Cette permassérie étant associée de manière répétitive à cette cellule paysagère, elle est indiquée dans le catalogue départemental des complexes de végétations comme une série associée à la cellule paysagère forestière de la série aérohygrophile des fonds de ravins sur substrat d'éléments fins à grossiers, de l'étage montagnard.



Figure 6 : cellule paysagère forestière, aérohygrophile des fonds de ravins sur substrat d'éléments fins à grossiers, de l'étage montagnard

G1	La cartographie <i>ex situ</i> testée sur le massif de Belledonne
Rédacteur :	Thomas Sanz
Contacts :	t.sanz@cbn-alpin.org

La zone test couvre une surface de 20 000 ha dans le massif de Belledonne, département de l'Isère (fig. 1).

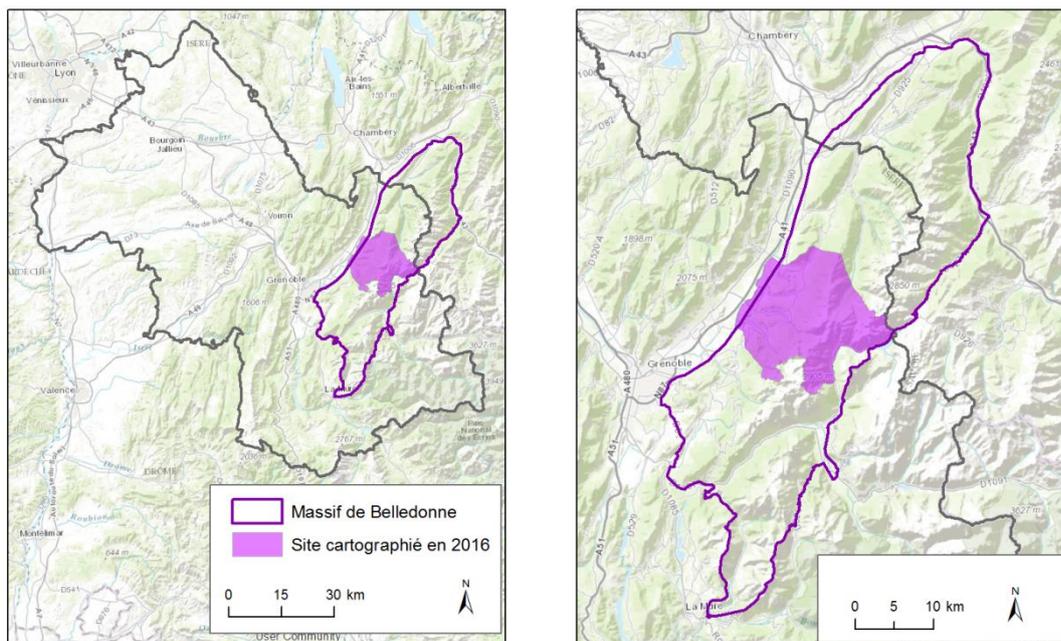


Figure 1 : Zone d'étude dans le département de l'Isère

Les 20 000 ha de la zone d'étude n'avaient pas fait l'objet de cartographie de végétation (seulement des relevés de végétations), mais les travaux s'appuient sur de précieux acquis :

- une très bonne connaissance de l'ensemble du massif (de nombreux relevés et des cartographies y ont été réalisés) ;
- une relative exhaustivité des catalogues de végétations, séries et géoséries du massif de Belledonne.

Les fonds pré-cartographiques

Le fond physiographique produit par l'IGN sur le département de l'Isère constitue la principale couche de travail pour les pré-UVC surfaciques. Il a été repris directement pour une grande partie du territoire d'étude (20 000 ha). Quelques redécoupages et compléments ont été apportés à cette pré-cartographie physiographique. Un fond environnemental a également été produit sur le territoire. Il est structuré par deux variables fondamentales en montagne : l'insolation et l'altitude. Le seuillage de ces variables a permis de distinguer 12 grands compartiments écologiques dans lesquels

pouvaient être resituées une ou plusieurs unités typologiques de niveau 3 (série et petite géosérie). Pour plus de détail sur cette étape, voir SANZ et ISENMANN, à paraître.

Le tableau de correspondance

L'objectif de cette étape est d'interpréter le couplage des informations physionomiques et écologique des fonds pré-cartographiques pour produire un tableau de correspondance (cf fiche E1).

L'interprétation phytosociologique de ces deux sources d'information peut être très différente suivant le contexte géologique et phytogéographique. Ainsi, le territoire d'étude a d'abord été redécoupé en quatre secteurs homogènes, représentant en quelque sorte des sous-districts naturels (fig. 2).

- 1- La plaine de l'Isère
- 2- La bordure occidentale (roche mère marno-calcaire et dépôts quaternaires)
- 3- Belledonne ouest (roche mère cristalline soumis au climat des Alpes externes)
- 4- Belledonne est (roche mère cristalline soumis au climat des Alpes intermédiaires)

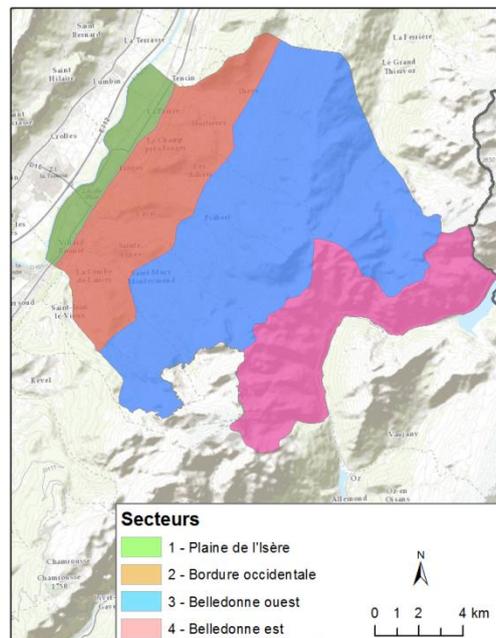


Figure 2 : Les secteurs géologique et phytogéographique de la zone d'étude

Cette sectorisation s'est avérée cruciale pour la fiabilité de la cartographie *ex situ*. Dans notre cas, la sectorisation est assez simple car le massif de Belledonne est très homogène sur le plan géologique ; mais très varié sur les altitudes, les expositions et la géomorphologie. Au sein des massifs des Alpes internes par exemple, la sectorisation géologique et phytogéographique aurait été beaucoup plus complexe et fine, d'autant plus déterminante pour la pré-qualification des UVC.

Pour chacun des secteurs, une synthèse des combinaisons entre compartiments écologiques et physionomie a été effectuée. Chaque combinaison a été étudiée et celles qui le permettaient ont été rattachées à une unité typologique de niveau 2, c'est-à-dire à une cellule paysagère décrite dans le catalogue des séries et géoséries de l'Isère. Un extrait de tableau de correspondance sur le secteur 3 et les milieux ouverts d'altitude est présenté ci-dessous (tab. 1).

Tableau 1 : Tableau de correspondance entre les pré-UVC et les UTV pour la zone d'étude

Type_physionomique de l'UVC	code_compartment écologique	Intitulé_compartment écologique	code_cellule_paysagère	Intitulé cellule paysagère	Catégorie
Bas marais	8	Subalpin Inso Moyenne	26	Cellule paysagère pelousaire de la géopermasérie associée au bas-marais à Carex echinata et Carex canescens	1
Forêt lâche	8	Subalpin Inso Moyenne	100	Cellule paysagère forestière de la série de la forêt à Pinus cembra et Rhododendron ferrugineum	3
Fructivée	7	Subalpin Inso Faible	105	Cellule paysagère de recolonisation de la série à Picea abies et Alnus alnobetula	2
Ligneux bas	7	Subalpin Inso Faible	104	Cellule paysagère chaméphytique de la série à Picea abies et Alnus alnobetula	2
Ligneux bas	8	Subalpin Inso Moyenne	115	Cellule paysagère chaméphytique de la série à Picea abies et Homogyne alpina	1
Pelouse à productivité faible	8	Subalpin Inso Moyenne	97	Cellule paysagère pelousaire de la série à Picea abies et Homogyne alpina	1
Pelouse à productivité faible	9	Subalpin Inso forte	101	Cellule paysagère pelousaire de la série à Picea abies et Vaccinium vitis-idae	2
Pelouse à productivité forte	8	Subalpin Inso Moyenne	98	Cellule paysagère herbacé haut du Rumicetum pseudalpini	3
Pelouse à productivité moyenne	8	Subalpin Inso Moyenne	97	Cellule paysagère pelousaire de la série à Picea abies et Homogyne alpina	3
Pelouse à productivité moyenne	9	Subalpin Inso forte	101	Cellule paysagère pelousaire de la série à Picea abies et Vaccinium vitis-idae	1

L'indice de confiance dépend évidemment de la nature des corrélations que l'on peut établir entre les types de pré-UVC et les UTV. Au regard de ces corrélations, 4 catégories sont reconnues :

- catégorie 1 : relation unique ou presque entre une pré-UVC et une UTV
- catégorie 2 : relation multiple, mais avec un lien dominant entre une pré-UVC et une UTV
- catégorie 3 : relation multiple sans lien dominant
- catégorie 4 : relation inexploitable, les liens sont trop nombreux

En fonction de la catégorie, l'indice de confiance de la qualification peut-être précisé :

- confiance « haute » pour la catégorie 1 ;
- confiance « moyen » pour la catégorie 2 mais nécessitant une vérification *in situ* ;
- confiance « moyen » pour la catégorie 3 nécessitant une vérification *in situ* ;
- confiance « faible » pour la catégorie 4 nécessitant une vérification *in situ*.

Ce sont surtout les 3 premières catégories qui ont été exploitées sur le territoire d'étude, les pré-UVC de la catégorie 4 n'ont en fait pas été qualifiées.

Cartographie *ex situ*

La cartographie *ex situ* a été réalisée à partir du tableau de correspondance et les différentes cartographies et campagnes de relevés réalisés antérieurement sur le massif de Belledonne. La cartographie *ex situ* a permis de qualifier environ 80% des pré-UVC de la zone d'étude.

Cette qualification doit être suivie par une phase de vérification de terrain qui a pour objectifs :

- la validation/correction d'un maximum d'UVC qualifiées ;
- qualification *in situ* d'un maximum d'UVC non qualifiées.

Vérification de terrain

Le travail de vérification de terrain consiste donc à vérifier mais aussi à corriger ou préciser les UVC qualifiées. La nature des modifications et des vérifications sur le terrain porte essentiellement sur :

- la cohérence entre l'unité typologique de niveau 2 qualifiée et celle observée sur le terrain ;
- la composition syntaxonomique moyenne ramenée automatiquement par le rattachement à une UTV de niveau 2, qui peut être modifiée si besoin (ajout/suppression d'un syntaxon et précision des coefficients d'abondance dominance) ;
- la pertinence du contour de l'UVC.

Les UVC vérifiées *in situ* passe en indice de fiabilité « haute », le mode d'observation doit cependant être précisé : depuis l'intérieur de l'UVC, depuis sa périphérie, à la jumelle.

En complément, suite aux corrections et validations apportées par la vérification de terrain, les rattachements des UVC à des unités typologiques de niveau 3 (en partie automatique via les UTV de niveau 2) sont vérifiés et complétés en *ex situ* en mobilisant toutes les données disponibles nécessaires.

La saison de terrain a permis de vérifier environ 60% de la surface (la saisie des cartes est encore en cours et ne permet pas de donner un chiffre plus précis). 40 % des UVC qualifiées *ex situ* n'ont pu être visitées lors de la phase de vérification de terrain et elles représentent donc la part *ex situ* de la cartographie. Cependant, des données complémentaires peuvent être mobilisées pour corriger ou préciser ces informations typologiques et ainsi augmenter le degré de confiance de l'extrapolation.

Par exemple, les UVC en « forêts lâches » (poste typologique du fond physiologique) combinée au compartiment 8 du fond environnemental (« compartiment Subalpin en insolation moyenne ») peuvent être qualifiée de l'UTV de niveau 2 n° 100 (proposition dans le tableau ci-dessous).

Type physiologique de l'UVC	code_compartment écologique	Intitulé_compartment écologique	code_cellule_paysagère	Intitulé cellule paysagère	Catégorie
Forêt lâche	8	Subalpin Inso Moyenne	100	Cellule paysagère forestière de la série de la forêt à Pinus cembra et Rhododendron ferrugineum	3

L'indice de confiance est moyen puisqu'il peut y avoir confusion avec la cellule paysagère de pré-bois de la série de *Homogyno alpinae – Picetum abietis*. L'UVC présente une relation multiple sans lien dominant avec 2 UTV différentes.

La mobilisation des relevés de végétations existants montre que l'UVC est concernée par un relevé. Celui-ci permet alors de confirmer la présence de la cellule paysagère 100 et de passer la confiance à : « confiance moyenne mais nécessitant une vérification *ex situ* ».

Ainsi, plusieurs sources de données ont permis d'augmenter l'indice de confiance de certaines UVC qualifiées qui n'ont pu être visitées sur le terrain, ce qui contribue à augmenter quelque peu la fiabilité de la cartographie *ex situ*.

Parmi ces sources de données, il a été possible de remobiliser des relevés de végétations effectués les années antérieures à 2016 ainsi qu'une partie des résultats des travaux de modélisation de la distribution des habitats sur le massif de Belledonne, menée par l'IRSTEA en collaboration avec le CBNA (cf 5.2.3).

En bref,

La cartographie *ex situ* a été déployée sur l'ensemble de la surface du site. Cette étape a pu être envisagée en amont de la phase de terrain car le massif de Belledonne est relativement bien connu, homogène sur le plan géologique, et a déjà fait l'objet de travaux CarHAB en 2012 et 2013.

La phase de vérification de terrain a permis de valider, corriger ou préciser la qualification pour environ 60% de la zone d'étude. Cette surface devient alors une cartographie *in situ* et augmente de fait les indices de confiance des UVC concernées au maximum (la confiance finale étant nuancée grâce à la précision de la « nature de l'observation de terrain »).

La remobilisation de relevés de végétations antérieurs à 2016 ou de données issues des travaux de modélisation sur le massif de Belledonne a permis d'augmenter le niveau de confiance de la cartographie *ex situ*, qui donc ne représente plus qu'environ 40% de la surface totale de la zone d'étude.

G2	Méthodologies de modélisation de la distribution spatiale des végétations naturelles et semi-naturelles des milieux ouverts d'altitude
Rédacteurs :	Marie Le Roux, Vincent Thierion, Denis Maréchal (Irstea) Thomas Sanz, Marc Isenmann (CBNA)
Contacts :	sandra.luque@irstea.fr , t.sanz@cbn-alpin.org , m.isenmann@cbn-alpin.org

Dans le cadre du programme CarHAB, l'Institut National de Recherche en Science et Technologie pour l'Environnement et l'Agriculture, centre de Grenoble (Irstea), en partenariat avec les Conservatoires botaniques nationaux alpin et du Massif Central, a développé et mis en œuvre des méthodes d'analyses spatiales pour réaliser une cartographie probabiliste, à large échelle, des niches (ou compartiments) écologiques des communautés végétales. Ces études ont été réalisées pour des milieux ouverts d'altitude, dans les Alpes et le Massif Central, compte tenu qu'ils présentent, en certains lieux, des difficultés d'accessibilité pour réaliser la cartographie *in situ*. Les tests de cartographies par modélisation ont été réalisés pour les végétations, séries et géoséries mais ils n'ont pas pu être réalisés pour les cellules paysagères.

Les cartographies de la végétation par modélisation spatiale ont été réalisées à partir de différents types de données : des relevés d'espèces d'une part et des variables écologiques d'autre part. Sa mise en œuvre est variable selon la disponibilité des données et des caractéristiques de chaque site. Cette méthode offre une certaine répliquabilité et adaptabilité en milieu d'altitude et permet aussi de réaliser des cartographies à très large échelle (massif, département, région écologiquement homogène). Cependant, cette méthode est exigeante en terme de traitement des données d'observation, de calibration et nécessite, à plusieurs étapes, d'être confrontée avec les connaissances de terrain pour tester la validité des modèles.

Les années d'expériences et de mise en œuvre de modélisations spatiales en vue de réaliser des cartographies de végétation en milieu d'altitude ont été synthétisées dans la présente fiche technique. Elle a pour objectif de donner au lecteur une trame de mise en œuvre de la cartographie de la végétation par la modélisation spatiale dans différents contextes écologiques. Cette méthode peut être mise en œuvre dans le cadre du programme CarHAB mais aussi pour d'autres types d'études où la cartographie de la végétation serait nécessaire.

Présentation

Principe général

La modélisation de la distribution spatiale appliquée au vivant s'appuie sur la théorie de la niche écologique définie par l'ensemble des conditions biotiques et abiotiques dans lesquelles une population peut se développer (Hutchinson 1957). La niche écologique est ainsi définie au sein d'un hyper-volume contenant autant de dimensions que de gradients environnementaux structurants la répartition de l'espèce ou groupe d'espèces (Fig. 1).

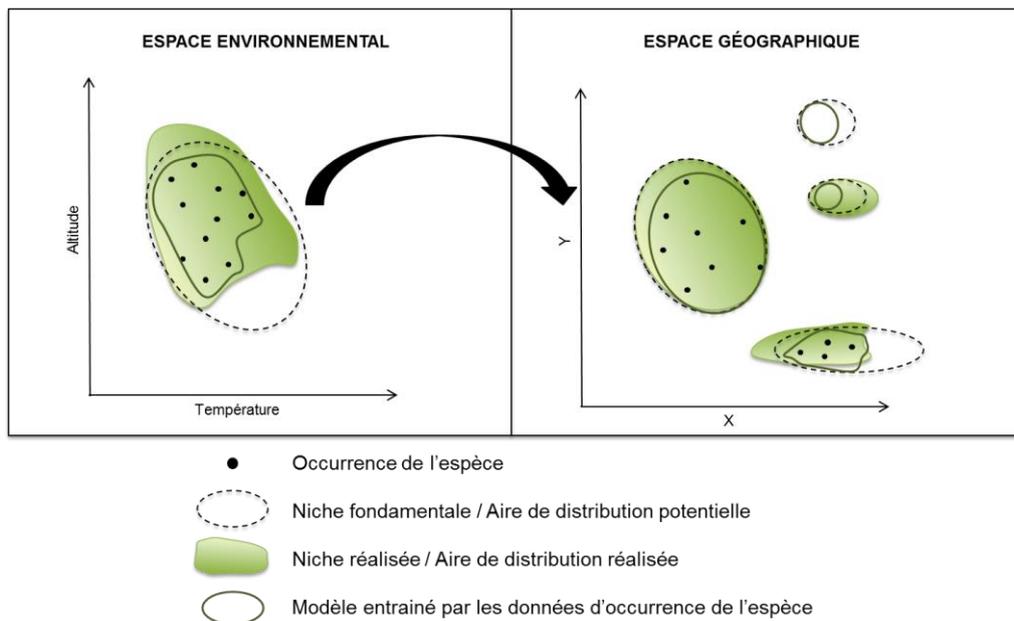


Figure 1: Modélisation de la distribution spatiale des niches écologiques (d'après Pearson *et al.* 2007)

Les modèles statistiques, quant à eux, sont entrainés pas des données d'occurrence des espèces. La représentation géographique de ces modèles sur quelques gradients environnementaux spatialisés ne traduit pas une niche fondamentale ou réalisée des espèces mais une niche écologique potentielle (Figure 1). Cette niche ou compartiment écologique modélisé est donc fortement dépendant de l'exhaustivité des données d'occurrence des espèces et du caractère informatif des gradients environnementaux utilisés.

Objectif pour la cartographie

Les méthodes de modélisation spatiale sont largement appliquées aux espèces végétales et sont très efficaces pour localiser leurs zones de présence potentielle (Redon 2012). En effet, celles-ci ne se déplaçant que par générations successives et processus d'adaptations longs, elles sont directement dépendantes des conditions environnementales du lieu où elles se développent.

Sur un site donné, il est alors possible de mettre en œuvre des cartographies de distributions potentielles des différents compartiments écologiques des communautés végétales en présence.

Choix du site d'étude

Pour que la modélisation puisse aboutir à une carte finale des végétations, les sites d'étude doivent posséder les données suivantes :

- des relevés de végétation réalisés dans des compartiments écologiques homogènes sur l'ensemble du site d'étude ;
- des variables écologiques spatialisées valides, structurantes du point de vue de la végétation, à une résolution adaptée à l'échelle de travail.

Selon les types de milieux ciblés (par exemple végétation de plaine, d'altitude, milieux forestiers, ouverts...) le site

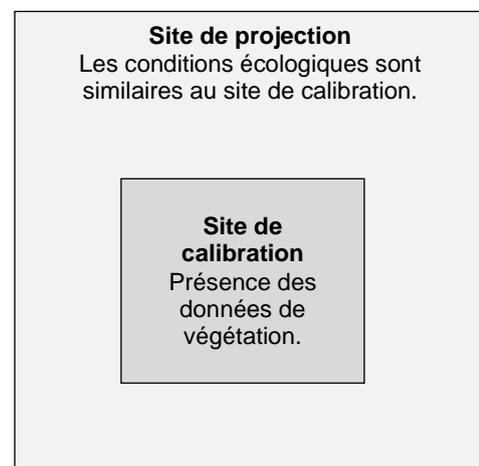


Figure 2: Définition du site d'étude

d'étude peut être restreint par des masques de modélisation (Redon *et al.* 2012).

Ensuite, une fois les modèles calibrés sur le site d'étude (ou site de calibration), ils peuvent être projetés sur un site plus large (site de projection) à partir des variables environnementales spatialisées sur l'ensemble de ce site (Fig. 2). Cette représentation spatiale plus large ne sera possible que si le site de calibration est représentatif des conditions écologiques du site de projection.

Méthode générale

Pour atteindre l'objectif de cartographie des compartiments écologiques il est nécessaire de bien sélectionner et traiter les données d'observation et les variables environnementales qui constituent les données d'entrée aux modèles et dont dépendra la qualité du résultat cartographique (§ 1 et 2). Le nombre de compartiments traités dépendra du site. En effet, plus les conditions écologiques rencontrées sur le site seront nombreuses, plus le nombre de compartiments sera élevé (Fig. 3,1). Le choix des variables environnementales dépendra des caractéristiques morphologiques et climatiques du site ainsi que de leur disponibilité et doivent être assez informatives pour caractériser l'ensemble des conditions écologiques rencontrées sur le site (Fig. 3,2).

Diverses approches de modélisation existent pour établir une relation mathématique entre la présence des communautés végétales et la combinaison des gradients environnementaux correspondants. A partir des données d'observation et des variables environnementales des modèles sont calibrés selon l'algorithme le plus adapté (Fig. 3,3). Cette étape comporte plusieurs sous-parties de calibration et validations statistiques et écologiques décrites au paragraphe 3.

Après avoir combiné les résultats de distribution des compartiments modélisés, une étape de fusion avec des données de physiologie de la végétation issues de la télédétection peut être envisagée (Fig. 3,4). Cette étape dépend de la nature des données initiales caractérisant les compartiments écologiques et de la cartographie finale recherchée. Pour illustrer cette étape de construction de la cartographie finale de la végétation, des exemples sont présentés au paragraphe 4.

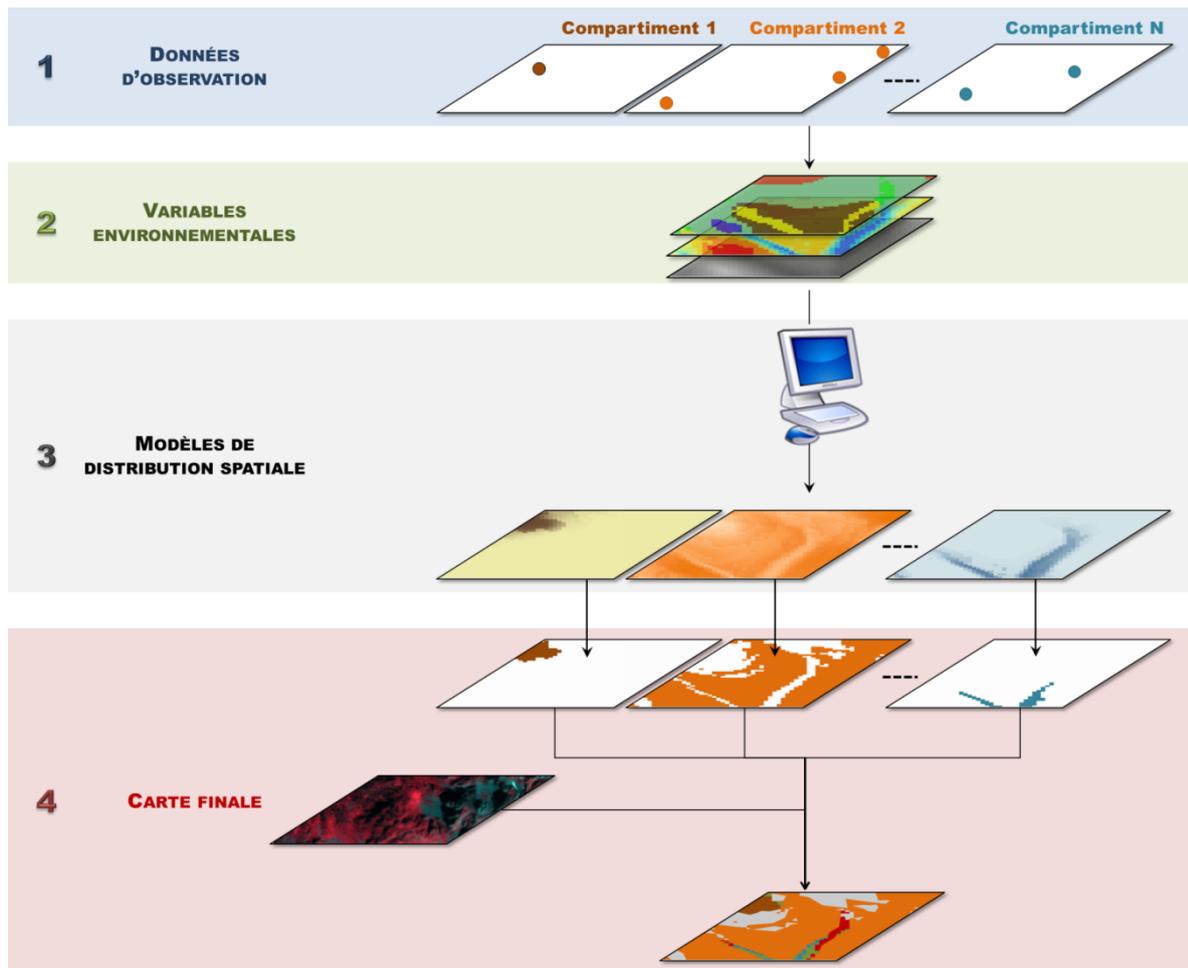


Figure 3: Etapes de la modélisation de la distribution spatiale de la végétation

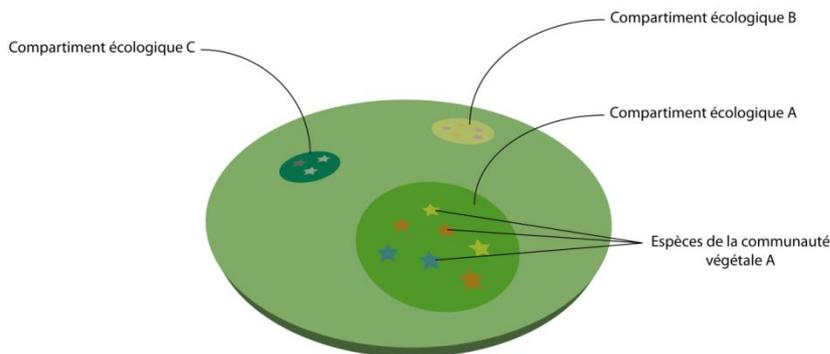


Figure 4: Définition des compartiments écologiques, objets des modèles (Maréchal *et al.* 2014)

Sources des données

Pour aboutir à une cartographie centrée sur les compartiments écologiques, les données à utiliser sont des données de présence de la végétation qui peuvent être assemblées par analyses statistiques. Mais dans les cas où la mise en œuvre de cet assemblage n'est pas possible (base de données pas assez renseignée ou non homogène, assemblages d'espèces ne pouvant pas être mis en œuvre), d'autres types de données de végétation peuvent être utilisées. Dans ce cas, les résultats de modélisation s'intéresseront à des niches écologiques d'espèces ou de communautés végétales différentes qui traduiront eux aussi une certaine homogénéité des conditions écologiques rencontrées mais à diverses échelles d'observations. Le type de donnée à utiliser dépend donc du

type de cartographie finale recherchée (Tab. 1) mais aussi de la disponibilité des données qui peut varier selon les régions.

Tableau 1 : Données d'entrée et objets cartographiés.

Donnée d'entrée	Résultat de la carte finale	Résultat de la carte finale (après couplage, cf. Fiche N°4)
Espèce	Espèce	*
Alliances	Alliances	*
Habitats	Habitats	*
Regroupement d' « espèces centrales »	« Modules »	Alliances/Habitats
Séries, géoséries	Séries, géoséries	

* Pour ces catégories le redécoupage par des données issues de télédétection ne peuvent pas augmenter le niveau d'information obtenu.

1. Données d'observation

Préparation des données de végétation

Les données de végétation utilisées en entrée des modèles sont des points de relevés ponctuels géo référencés.

Si les données sont déjà des points de présence de la végétation elles doivent être regroupées par communautés végétales représentatives du site, ou si le regroupement n'est pas possible elles sont conservées ainsi pour une cartographie d'espèce ou de groupe d'espèces.

Si les données sont sous forme de polygones, une conversion des données est nécessaire. Plusieurs méthodes de conversion existent, tel que générer un nombre de points aléatoires proportionnel à la surface des polygones ou selon une grille régulière. Dans les zones du site d'étude non couvertes par des polygones, des points d'absences (pseudo-absences) doivent être créés de manière aléatoire ou systématique (Le Roux, 2015).

Les coordonnées X et Y de chaque point sont extraites puis une colonne est renseignée pour chaque objet tel que 1 correspondra à sa présence et 0 à son absence (Tableau 2).

Tableau 2: Préparation des données d'observation

X	Y	Compartiment 1	Compartiment 2	Compartiment 3	...	Compartiment N
845215	6415223	0	1	0	...	0
845556	6415879	1	0	0	...	0
845562	6414778	0	0	0	...	1
...
845699	6525647	1	0	0	...	0

Exemple de regroupement d'espèces

Une analyse issue de la théorie des graphes permet de regrouper chaque relevé d'espèces dans des « modules » ou compartiments phyto-écologiques homogènes (Maréchal *et al.* 2014 ; Mikolajczak *et*

al. 2015). Dans cette approche, c'est la co-occurrence des espèces présentes sur les relevés qui est utilisée comme indication de proximité écologique entre chacune des espèces. Le réseau d'espèce est ainsi une manière de représenter la co-occurrence des espèces, l'importance de leurs liens traduisant l'importance de leurs affinités écologiques. Le nombre de modules créé dépendra du site et de la pertinence des modules identifiés (Figure 5).

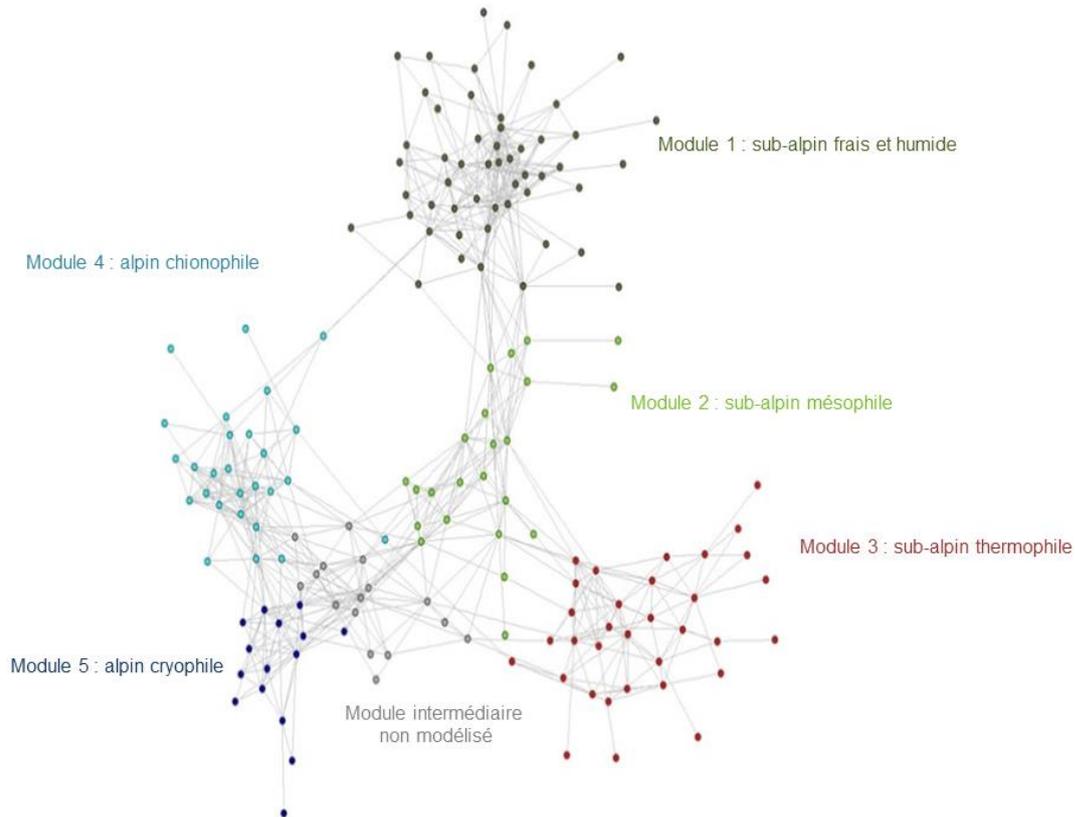


Figure 5 : Espèces relevées sur les massifs de Belledonne, Ecrins, Grandes-Rousses organisés en réseau par la théorie des graphes selon leur degrés de co-occurrence (source des données : CBNA ; d'après Mikolajczak *et al.* 2015)

2. Données environnementales

Construction du lot de données

Les compartiments écologiques sont modélisables à partir d'un jeu de données environnementales minimal regroupant les principaux gradients structurants suivants :

- altitude,
- humidité,
- topographie,
- insolation.

Selon les particularités des sites ou pour des compartiments très spécifiques des variables supplémentaires sont nécessaires. Par exemple :

- sur les sites où les influences climatiques sont importantes pour caractériser les compartiments écologiques : distance au littoral, information de position géographique, vent dominant... ;
- présence d'eau libre ;
- type de pâturage ;

- présence de structure rocheuse particulière.

Les informations climatiques sont indirectement prises en compte par le Modèle Numérique de Terrain (MNT) et ses dérivés. En effet, les données de température et de précipitation telles qu'elles sont disponibles actuellement (à faible résolution) sont souvent fortement corrélées à l'altitude surtout en milieu de montagne. Ainsi, elles deviennent facultatives lorsqu'une donnée d'altitude est présente dans le jeu de données environnementales.

Sources des données

La plupart des données peuvent être construites à partir du MNT issu de la BD Alti[®] de l'Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN) grâce à l'utilisation de systèmes d'information géographique (SIG). D'autres données d'occupation du sol peuvent être déduites des BD Carto[®] de l'IGN ou encore de bases de données internes spécifiques à certains sites (ex. carte d'habitat Natura 2000) (Tab. 3).

Tableau 3 : Sources des données environnementales

Source	Variable
MNT (IGN)	Altitude
	Humidité
	Topographie
	Insolation
	Climat
SIG	Position géographique
Météo France	Vent
BD Carto [®] (IGN)	Eau libre
	Distance au littoral
Base de données locales	Autres données spécifiques

Préparation des données

La résolution d'étude est fixée par la variable ayant la plus faible résolution. Les données environnementales sont alors toutes transformées en raster à la résolution d'étude et dans un même système de projection. Elles doivent aussi être découpées selon le même périmètre du site d'étude pour que chaque donnée ait strictement le même nombre de pixels en entrée des modèles.

Les données peuvent être de deux types :

- variable continue : modèle numérique de terrain, durée d'insolation annuelle...
- variable catégorielle (à plusieurs modalités) : type de topographie (fond de vallon, pente, plateau...), eau libre (présence/absence).

Dans certains cas il est possible de transformer des variables catégorielles en variables continues. La transformation inverse est aussi possible mais nécessite de fixer des seuils pour créer les différentes modalités (ce qui peut parfois être problématique car un seuil fixé peut ne pas être valable en tous point de l'espace).

3. Modèles de distribution

Les modèles probabilistes

La plupart des modèles statistiques sont disponibles sur le logiciel de statistique R 3.1 (R development team, 2015). D'autres algorithmes tels que Maxent (Phillips *et al.* 2005) ou l'ENFA (Hirzel *et al.* 2002) ont leur propre interface de modélisation. Un package (Biomod2) a été développé sous R et permet de calibrer et projeter simultanément différents types de modèles statistiques pour pouvoir choisir le plus performant (Thuiller 2003).

La plupart des modèles peuvent intégrer indifféremment des variables continues ou catégorielles mais certains seront plus ou moins adaptés selon le type de données environnementales utilisées. Par exemple, les régressions linéaires sont bien adaptées à l'utilisation des variables continues. Les classificateurs par contre, seront plus adaptés aux variables catégorielles (annexe 1 et Redon 2012).

Validation statistique

La calibration des modèles s'effectue en général à l'aide de 70% des données d'observation. Les 30% restant sont utilisés pour valider les modèles. La totalité des points peuvent aussi être utilisés pour la calibration des modèles notamment pour réaliser la projection cartographique. Dans ce cas la validation pourra aussi se faire à partir de points de terrain. Cette validation statistique repose sur la quantification des vraies présences et des vraies absences (Tab. 5), c'est-à-dire la capacité de prédire correctement les observations réservées à la validation.

Tableau 5 : Définition des paramètres de validation

Valeur de la probabilité calculée	Présence	Absence
> Cutoff*	vraies présences	fausses présences
< Cutoff*	fausses absences	vraies absences

* valeur seuil permettant de considérer qu'une valeur de probabilité calculée correspond à une présence ou une absence.

Des calculs simples permettent d'évaluer la performance des modèles tels que :

Sensibilité=Fréquence de Vraies Présences

Spécificité= Fréquence de Vraies Absences

La courbe ROC (Receiver Operating Characteristic) ou AUC (Area Under the Curve) combine ces deux valeurs et permet d'estimer la puissance de classification du modèle entre vraies présences et vraies absences (Fig. 6).

Il existe aussi de nombreuses autres valeurs statistiques permettant d'évaluer divers aspects des modèles tel que le True Skill Statistic (TSS) qui évalue la différence entre le modèle calibré et un modèle aléatoire (TSS=sensibilité+spécificité-1), ou encore le Kappa de Cohen qui mesure l'accord entre observations et modélisation.

Plus ces valeurs calculées sont proches de 1 plus le modèle est statistiquement fiable et proche de la réalité (Tab. 6).

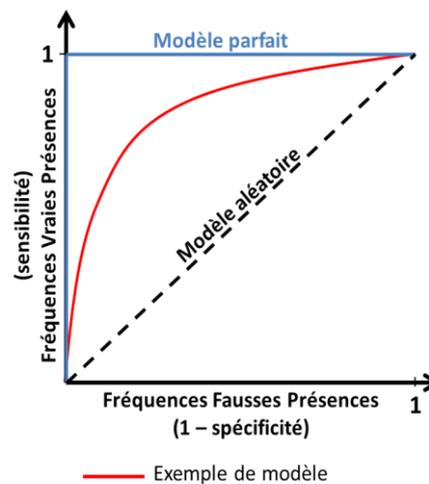


Figure 6 : Interprétation de la courbe ROC (d'après Decout 2007).

Tableau 6 : Signification des valeurs des validations statistiques

Précision du modèle	AUC	Kappa/TSS
Excellente	0.9-1	0.8-1
Bonne	0.8-0.9	0.6-0.8
Correcte	0.7-0.8	0.4-0.6
Faible	0.6-0.7	0.2-0.6
Mauvaise	0.5-0.6	0-0.2

Validation « experte »

Les validations statistiques doivent être complétées d'une validation dite « experte ». L'ensemble des autres résultats des modèles doivent être analysés et confrontés à la dimension écologique des objets modélisés :

- Courbes de réponse sur les variables structurantes (Fig. 7) : les probabilités de présence moyennes des objets modélisés sont calculées en fonction des gradients de chaque variable. L'analyse de ces courbes met en avant les traits écologiques de chaque espèce et groupe d'espèces. La confrontation de ces résultats à la connaissance des caractéristiques écologiques de chaque espèce ou groupe permet d'évaluer la validité des modèles.
- Cartographies (Fig. 7) : les modèles sont projetés sur l'ensemble du site d'étude par combinaison des variables environnementales. Ces cartographies sont ensuite proposées aux experts pour qu'ils confirment ou non ces résultats en fonction de leurs connaissances et observations de terrain.

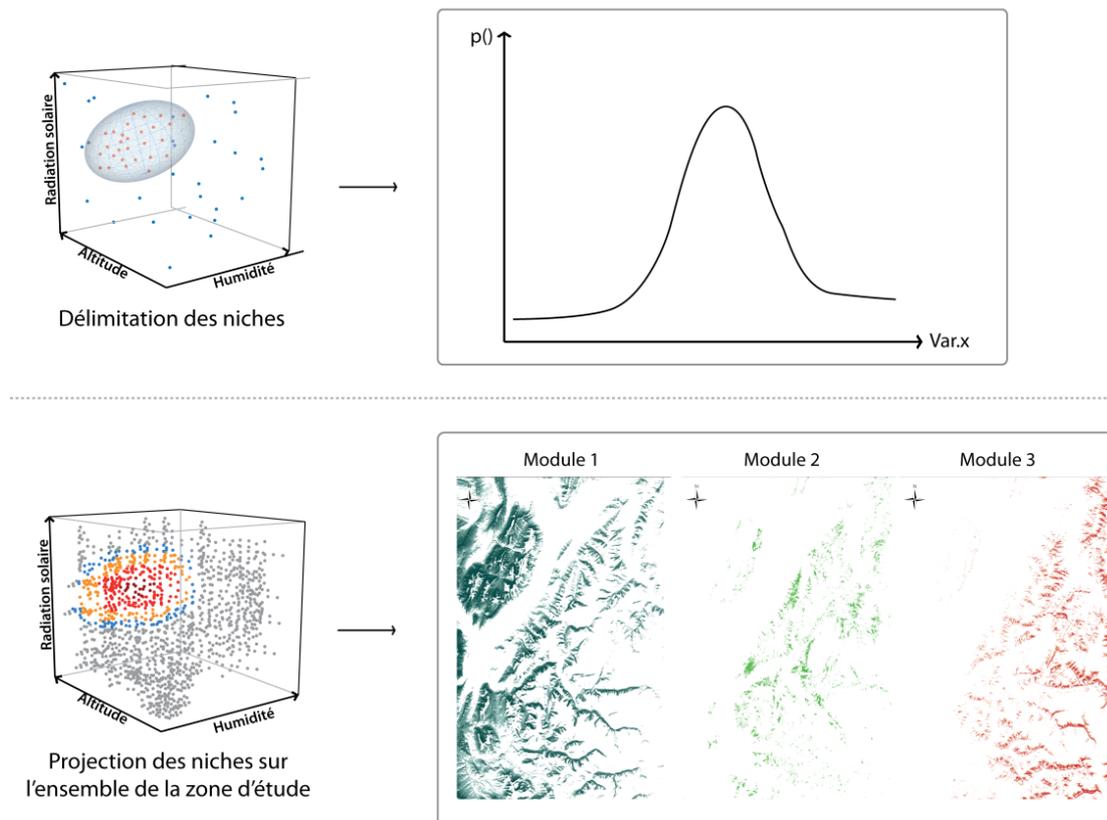


Figure 7 : Résultats des modèles, support de la « validation experte ». 1. courbes de réponses, 2. projections des compartiments (d'après Maréchal *et al.* 2014)

4. Carte de végétation

Combinaison des cartes probabilistes

Pour obtenir une carte de l'ensemble des compartiments écologiques du site, les projections cartographiques des modèles peuvent être combinées pour créer une carte unique (Fig. 14 & 17). Une conversion des modèles de distribution probabilistes en distribution binaire présence/absence des sorties cartographiques est nécessaire. Plusieurs méthodes permettent de fixer un seuil de probabilité discriminant la présence et l'absence :

- **Méthode visuelle** : sélection d'un seuil arbitraire permettant de s'approcher au plus près de la répartition des compartiments observés sur le terrain. C'est une méthode très dépendante du niveau de connaissance du site et qui peut être biaisée par un effet observateur.

- **Quantiles** : une autre méthode consiste à sélectionner uniquement les enveloppes géographiques de plus forte probabilité de présence. Une classification est proposée ci-dessous (Redon *et al.* 2012) :

Valeur de probabilité	Description
0 - 0.1	Mauvaise prédiction, l'espèce ou groupe peut être considéré comme absent
0.1 - quantile 70	Mauvaise prédiction (habitat peu favorable)
Quantile 70 - quantile 85	Bonne prédiction (habitat favorable)
Quantile 85 - valeur maximale	Très bonne prédiction (habitat très favorable)

- **Seuils statistiques** : les valeurs seuils générées pour le calcul des statistiques de validation (*cutoff* : seuil déterminant les vraies/fausses présences ou vraies/fausses absences) peuvent être extraites pour la création de carte de distribution binaire.

- **Conversion par différentiel** : cette méthode consiste à comparer deux à deux les probabilités calculées des compartiments. Ainsi les compartiments **dominants** (de plus forte probabilité de présence) sont conservés ou des **chevauchements** sont générés si les compartiments ont des probabilités proches (Figure 8). Cette méthode permet de réduire la quantité de chevauchements et de limiter les zones de vide. Plus la différence de probabilité de présence de deux compartiments différents est élevée, plus le compartiment dominant sera considéré comme **stable**.

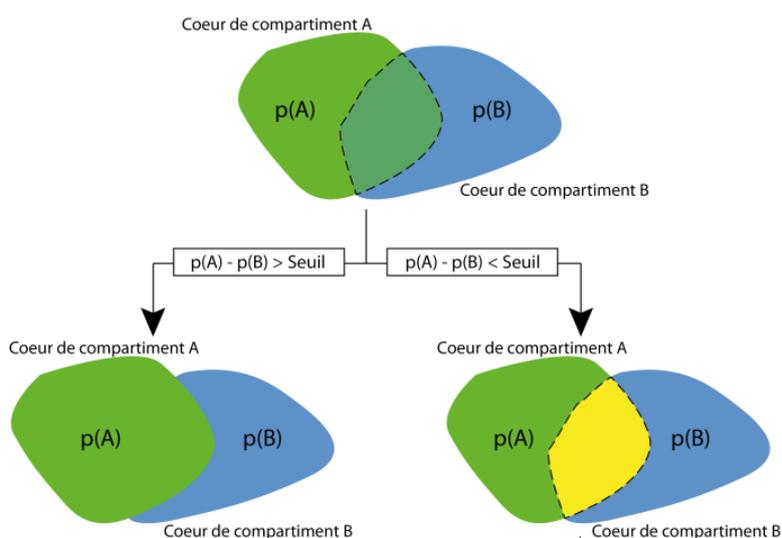


Figure 8 : Combinaison des compartiments phyto-écologiques par différentiel (Maréchal *et al.* 2014).

Dans le cas d'un chevauchement, il est parfois question de **transition écologique** correspondant à une réalité de terrain. Souvent, ces types de chevauchements sont présents entre deux compartiments écologiques proches dont des plages de valeurs favorables se superposent le long d'un gradient écologique donné (tels que les gradients d'acidité, d'humidité et d'altitude) (Fig. 9).

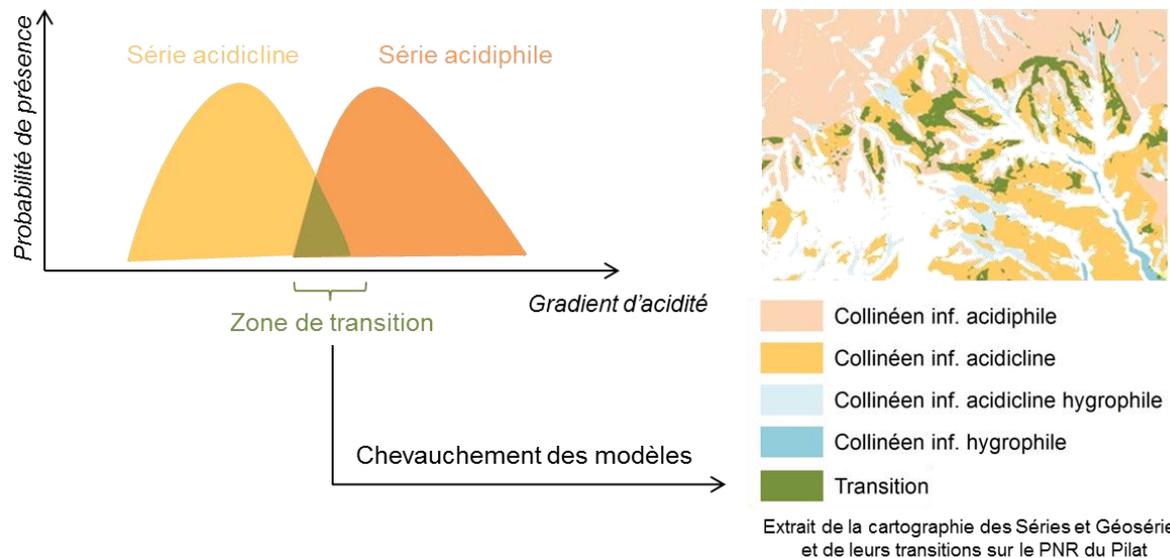


Figure 9 : Zone de transition entre séries traduits par des chevauchements de compartiments (d'après Le Roux 2015)

Détection de la structure végétale

En complément de la modélisation des conditions écologiques, la cartographie finale de la végétation implique la détection de la physionomie de la végétation. La méthode à privilégier dans le cadre d'une cartographie régionale est la télédétection. Il est nécessaire d'intégrer les différentes composantes de la physionomie, à savoir sa délimitation, sa structure et sa phénologie par le recours à une approche de télédétection multi-sources par classification orientée-objet expertisée et multi-échelles (Fig. 10).

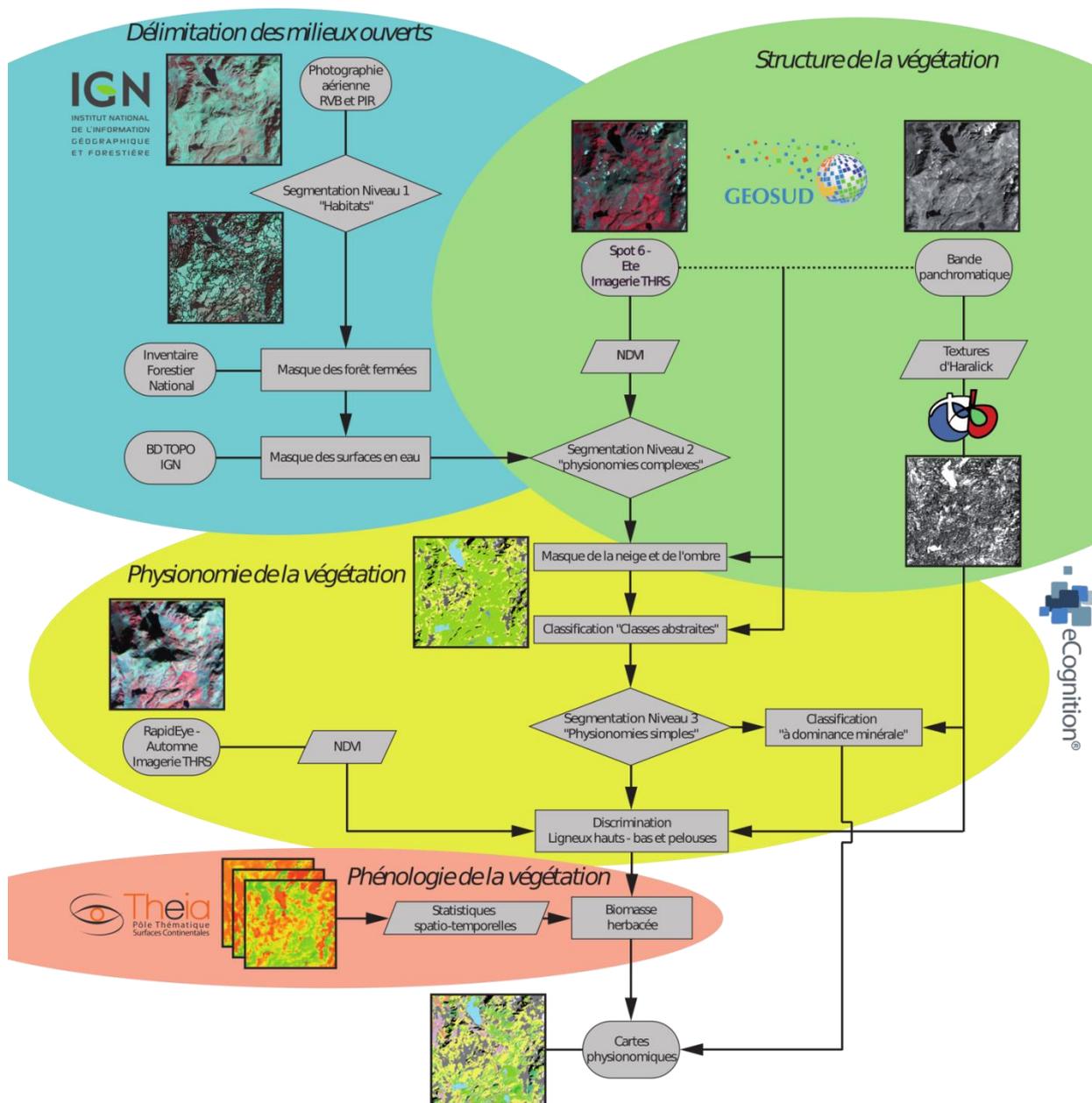


Figure 10 : Flux de traitements de la classification multi-sources orientée-objet expertisée et multi-échelles de la physiologie de la végétation des milieux ouverts d'altitude (NDVI : Normalized Difference Vegetation Index; THRS : Très Haute Résolution Spatiale; RVB : Rouge Vert Bleu; PIR : Proche Infrarouge) (Thierion *et al.*, 2015b).

L'approche orientée-objet permet, en effet, d'intégrer des images satellitaires hétérogènes et indépendantes, en termes de résolution spatiale et spectrale (imagerie THRS vs. série temporelle). Elle permet, de plus, de déterminer une ontologie de classification basée sur un principe de classification par règles (méthode expertisée). Une telle approche offre un cadre méthodologique facilitant la reproductibilité de la classification de la végétation dans un cadre opérationnel, tel que celui des conservatoires botaniques.

Finalement, il permet d'intégrer des données annexes, telles que des compartiments écologiques, afin d'établir une cartographie probabiliste des végétations.

Couplage avec les résultats de télédétection

Les types de structure végétale (physionomie) issus de la télédétection (Fig. 10) et les résultats de modélisation combinés permettent d'obtenir une cartographie probabiliste des végétations (Fig. 15). La caractérisation des habitats s'appuie sur l'intégration des conditions écologiques (compartiment) au sein des polygones physiologiques suivant le principe de la logique floue. Basée sur les courbes d'appartenance des probabilités de modélisation de chaque compartiment écologique, la logique floue permet de déterminer une probabilité d'occurrence des différentes végétations à modéliser (Fig. 11).

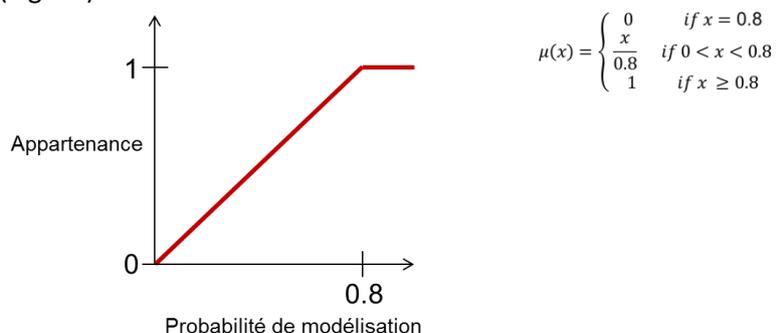


Figure 11 : Courbe d'appartenance des conditions écologiques pour la cartographie des habitats (Thierion *et al.*, 2015a).

Chaque habitat est défini à dire d'expert par la combinaison d'une (de) physionomie(s) et d'un (de) compartiment(s) écologique(s) (Tab. 7).

Tableau 7 : Correspondances entre les types de structure végétale issus de la télédétection et les compartiments écologiques issus de la modélisation (Thierion *et al.*, 2015a).

Physionomie	Compartiment	Subalpin frais	Subalpin mésophile	Subalpin thermophile	Alpin chionophile	Alpin cryophile
Paroi stérile et végétalisée		Androsacion vandellii / Asplenion septentrionalis (H3.11)		Androsacion vandellii / Asplenion septentrionalis (H3.11)	Androsacion vandellii / Asplenion septentrionalis (H3.11)	Androsacion vandellii / Asplenion septentrionalis (H3.11)
Eboulis - rocher stérile et végétalisé		Androsacion alpinae / Dryopteridion abbreviatae (H2.31)	Androsacion alpinae / Dryopteridion abbreviatae (H2.31)	Senecionion leucophylli (H2.51), Androsacion alpinae / Dryopteridion abbreviatae (H2.31)	Androsacion alpinae / Dryopteridion abbreviatae (H2.31)	Androsacion alpinae / Dryopteridion abbreviatae (H2.31)
Herbacé faible à moyen phytomasse		Calamagrostion villosae (E5.511)	Nardion strictae (E4.311)	Festucion variae (E4.333)	Salicion herbaceae (E4.11)	Caricion curvulae (E4.3411)
Herbacé à forte phytomasse		Calamagrostion villosae - Adenostylon alliariae (E5.511)	Nardion strictae (E4.311)	Festucion variae (E4.333)	Salicion herbaceae (E4.11)	Caricion curvulae (E4.3411)
Landes (rocailleuses et mixte)		Rhododendro ferruginae - Vaccinon myrtilli (F2.221)	Rhododendro ferruginae - Vaccinon myrtilli (F2.221)	Juniperion nanae (F2.23)		Caricion curvulae (E4.3411)
Fourrés - Fruticées		Alnion viridis (F2.3111)	Alnion viridis (F2.3111)	Juniperion nanae (F2.23)		
Forêt lâche		Cembraies et mélezins à landes fraîche et hautes herbes - Boulaies, Pessière ou cembraies plus ou moins claire à landes subalpines (G3.1B)	Cembraies et mélezins à landes fraîche et hautes herbes - Boulaies, Pessière ou cembraies plus ou moins claire à landes subalpines (G3.1B)	Pinèdes à crochets sèches, rares cembraies sèches (G3.23 / G3.32)		

En attribuant une probabilité d'occurrence à chaque végétation, l'approche par logique floue offre une flexibilité dans l'interprétation de la cartographie par les cartographes de terrain à l'échelle de chaque polygone cartographié. Deux indices d'aide à la décision ont été introduits (Fig. 12):

- Indice de **stabilité** : différence entre les deux meilleures probabilités d'occurrence;
- Indice de **similarité** : similarité écologique et physiologique des deux habitats les plus probables.

Il en résulte 4 situations d'aide à la décision (Figure 12) :

- **Dominance** : une végétation a une probabilité d'occurrence beaucoup plus élevée que les autres.
- **Alerte** : deux végétations ont des probabilités d'occurrence proches et une similarité physiologico-écologique faible.
- **Transition** : deux végétations ont des probabilités d'occurrence proches et une similarité physiologico-écologique forte.

- **Incertaine** : en fonction des exigences opérationnelles du décideur (seuils de stabilité et de similarité), cette situation correspond à une forte incertitude dans le processus de modélisation.

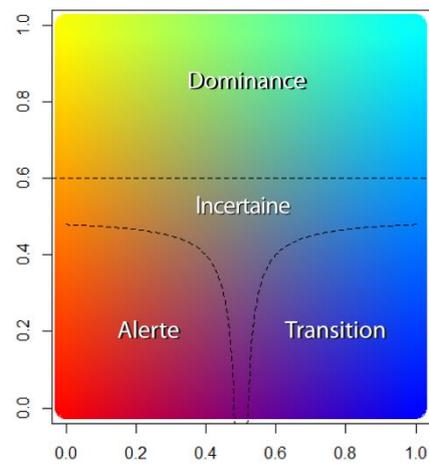


Figure 12 : Légende de l'incertitude cartographique des habitats, exprimée suivant les indices de stabilité et de similarité. 4 situations d'aide à la décision sont identifiables : Dominance, Alerte, Transition, Flou. Leurs frontières sont modulables et à définir par l'utilisateur final (Thierion *et al.*, 2015a).

Les figures 15 et 16 illustrent la cartographie des habitats obtenue par cette méthode ainsi que l'incertitude spatialisée de ce processus de cartographie.

EXEMPLES DE CARTES

À PARTIR DES ALLIANCES

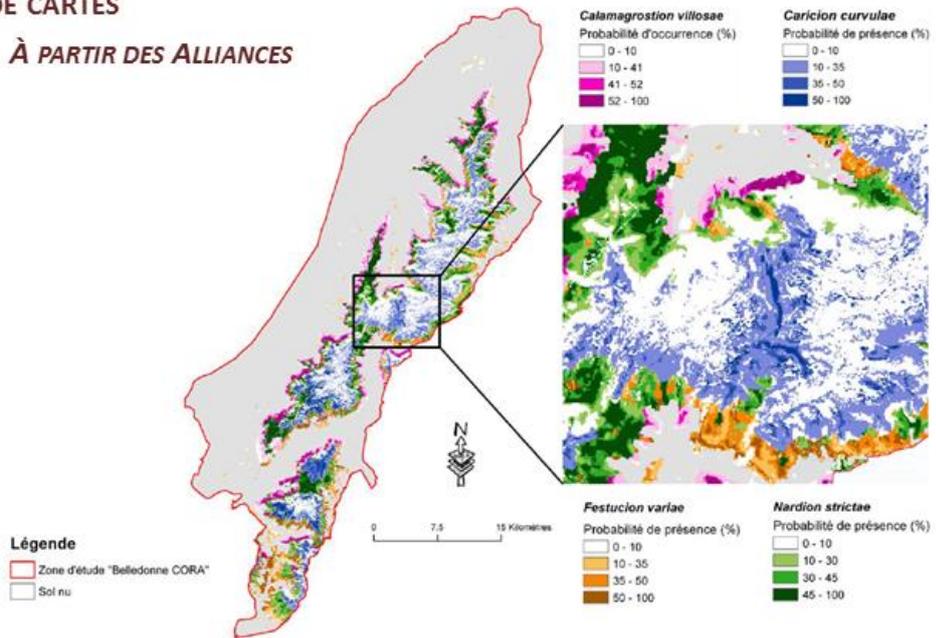


Figure 13 : Croisement des prédictions de quatre alliances sur le territoire du massif de Belledonne (Redon *et al.* 2012)

À PARTIR DES « MODULES »

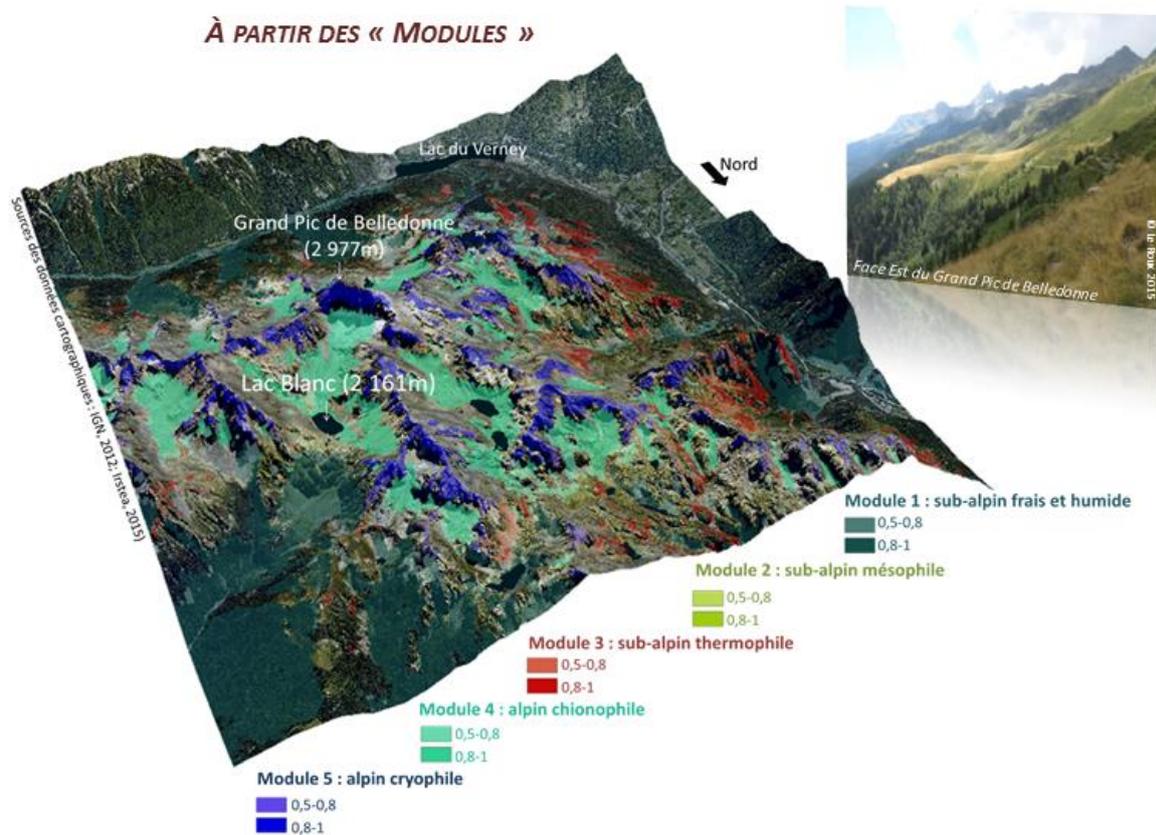


Figure 14 : Cartographie des cœurs des 5 modules (massif de Belledonne)

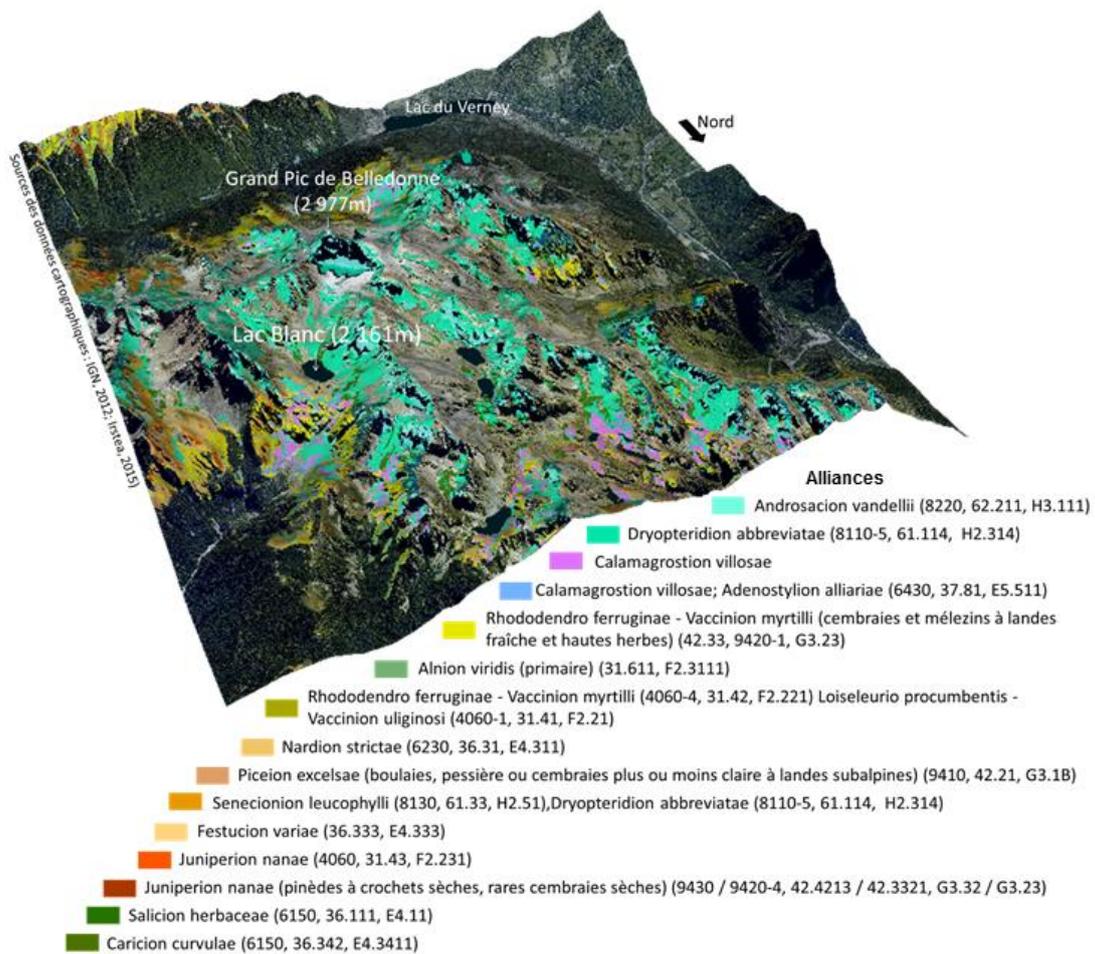


Figure 15 : Carte des végétations issue de l'intégration des compartiments écologiques avec la physionomie de la végétation (massif de Belledonne)

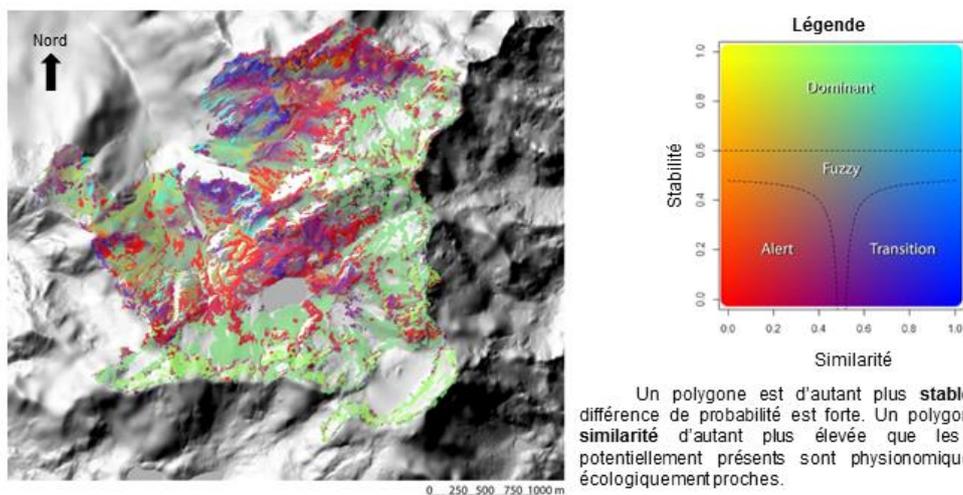


Figure 16 : Analyse de l'incertitude phytosociologico-écologique du processus de modélisation sur la zone du Lac Blanc (Thierion *et al.*, 2015a).

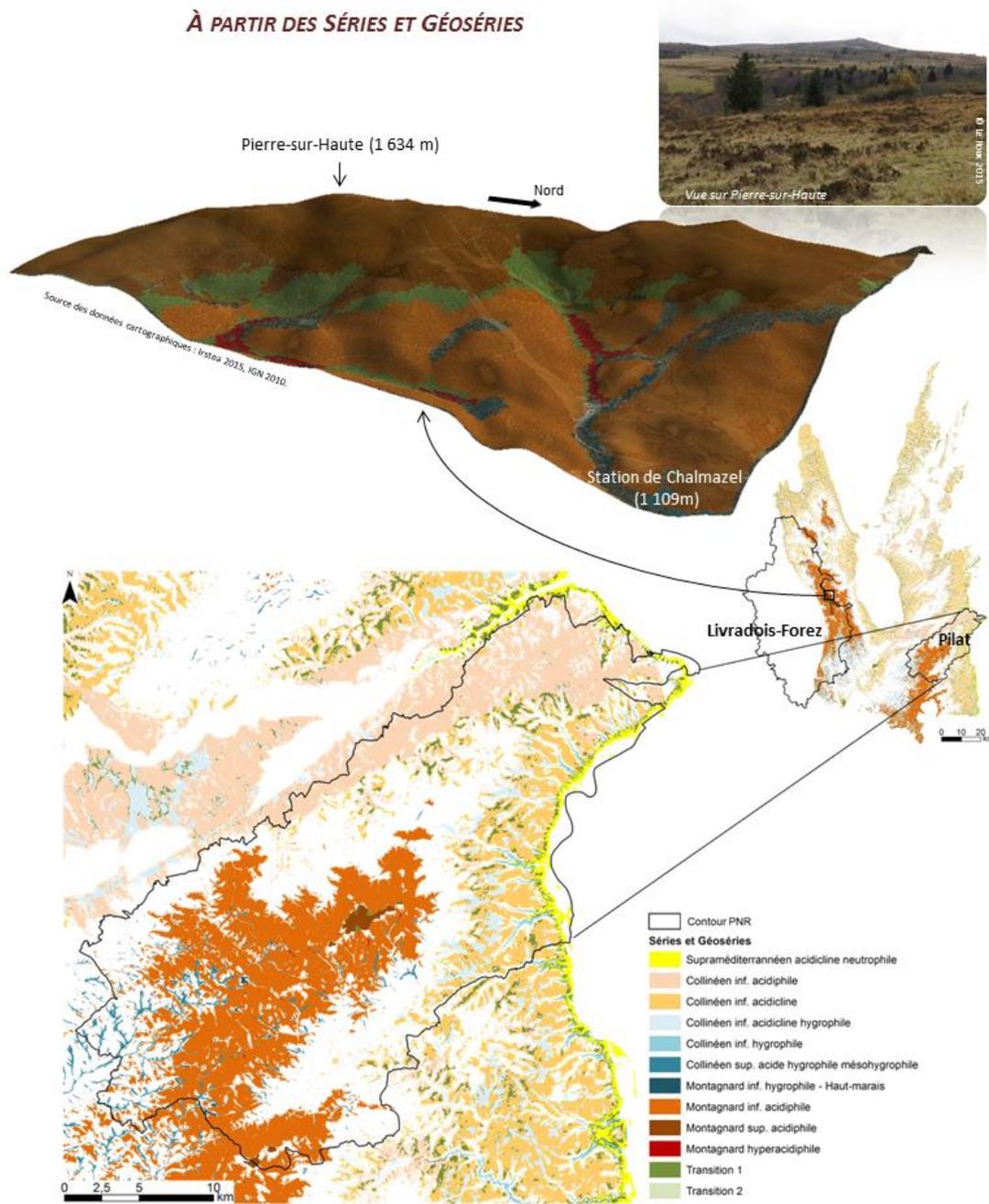
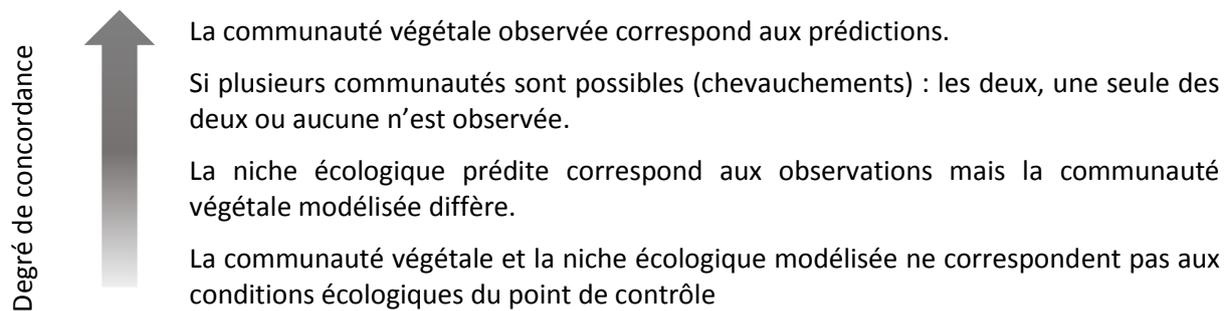


Figure 17 : Cartographie d'une partie des Séries et Géoséries et de leurs transitions sur une partie du Massif Central (Le Roux, 2015)

Validation de terrain

Outre les validations statistiques et expertes des résultats de modélisation, la cartographie finale nécessite d'être testée sur le terrain pour évaluer sa validité. Pour cela, des points de contrôle sélectionnés au préalable sont visités pour confronter les distributions modélisées avec les observations de terrain (Fig. 18). La sélection des points de contrôle peut être réalisée de plusieurs manières mais elle devra être représentative de toutes les situations écologiques présentes sur le site (Redon *et al.*, 2012). Sur les points de contrôle, il s'agira d'évaluer le degré de proximité de l'habitat observé avec le ou les habitats modélisés (Thierion *et al.*, 2015a). En effet, plusieurs cas de figures peuvent se présenter :



Cette validation de terrain permet alors de quantifier la validité de la carte et sa concordance avec les observations de terrain en mesurant le taux de bonnes ou mauvaises prédictions.



Séries et Géoséries

- Supraméditerranéen acidiline neutrophile
- Collinéen inf. acidiphile
- Collinéen inf. acidiline
- Collinéen inf. acidiline hygrophile
- Collinéen inf. hygrophile
- Collinéen sup. acide hygrophile mésohygrophile
- Montagnard inf. hygrophile - Haut-marais
- Montagnard inf. acidiphile
- Montagnard sup. acidiphile
- Montagnard hyperacidiphile
- Transition 1

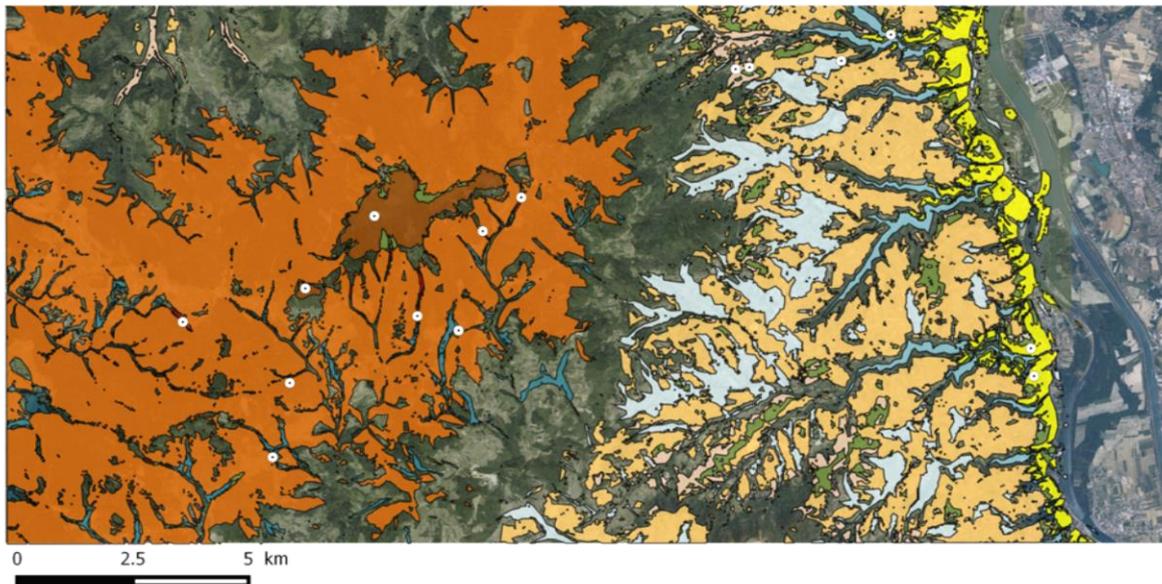


Figure 18 : Extrait de la carte d'une partie des séries et géoséries sur le PNR du Pilat et quelques points de contrôle de la carte finale (Le Roux, 2015)

BIBLIOGRAPHIE

Chalumeau, A., Bioret, F., 2013, Méthodologie de cartographie phytosociologique en Europe : approches symphytosociologique et géosymphytosociologique. Synthèse bibliographique. Rapport Institut de Géoarchitecture – Université de Bretagne occidentale, Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 124p.

Decout, S., 2007. Effets des patrons d'organisation spatiale du paysage sur l'habitat d'une espèce animale à gestion conservatoire : le cas de l'habitat de reproduction du tétras-lyre (*Tetrao tetrix* L.) dans un contexte d'expansion des aulnaies vertes (*Alnus alnobetula* (Ehrh.) C. Koch).

Disponible sur : <http://cemadoc.irstea.fr/cemoa/PUB00021971>

Elith, J., Kearney, M., Phillips, S., 2010. The art of modelling range-shifting species. *Methods Ecol. Evol.* 1, 330–342.

Géhu, J.-M., 2006. Dictionnaire de sociologie et synécologie végétales – Berlin Stuttgart : J. Cramer, 899p.

Guisan, A., Theurillat, J.P., Kienast, F., 1998. Predicting the potential distribution of plant species in an alpine environment. *J. Veg. Sci.* 9, 65–74.

Guisan, A., Zimmermann, N.E., 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecol. Model.* 135, 147–186.

Hirzel, A., Hausser, J., Chessel, D., Perrin, N., 2002. Ecological-niche factor analysis: how to compute habitat-suitability maps without absence data? *Ecology* 83, 2027–2036.

Hutchinson, G.E., 1957. Concluding remarks, Cold Spring Harbor Symposium. *Quant. Biol.* 22, 415–427.

Le Roux, M., 2015. Modélisation de la répartition des séries et géoséries sur le Massif Central. Irstea-Grenoble.

Disponible sur : <http://cemadoc.irstea.fr/cemoa/PUB00046135>

Maréchal, D., Mikolajczak, A., Sanz, T., Isenmann, M., Luque, S., 2014. Modélisation des compartiments phyto-écologiques des milieux ouverts d'altitude par la théorie des graphes et les modèles de distribution d'espèces. Irstea - Grenoble.

Mikolajczak, A., Maréchal, D., Sanz, T., Isenmann, M., Thierion, V., Luque, S., 2015. Modelling spatial distributions of alpine vegetation: A graph theory approach to delineate ecologically-consistent species assemblages. *Ecol. Inform.* doi:10.1016/j.ecoinf.2015.09.005

Pearson, R.G., Raxworthy, C.J., Nakamura, M., Peterson, A.T., 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *J. Biogeogr.* 34, 102–117.

Redon, M., 2012. Synthèse bibliographique sur les expériences de modélisation de la végétation en Europe et en France. Irstea - Grenoble.

Disponible sur : <http://cemadoc.irstea.fr/cemoa/PUB00046141>

Redon, M., Isenmann, M., Sanz, T., Luque, S., 2012. Prédiction de la distribution d'alliances de végétation des milieux ouverts d'altitude à l'aide de l'approche dite du maximum d'entropie. Irstea - Grenoble. Disponible sur : <http://cemadoc.irstea.fr/cemoa/PUB00046138>

Thierion, V., Maréchal, D., Mikolajczak, A., Isenmann, M., Sanz, T., Luque, S., (2015a), Coupling physiognomy and ecological compartments to map the potential distribution of alpine habitats in the French Alps, 24th workshop European Vegetation Survey, Rennes, France, 4-8 Mai 2015

Thierion, V., Marechal, D., Isenmann, M., Sanz, T., Luque, S., (2015b), A multitemporal and multiresolution classification of vegetation physiognomies using object-based image analysis, 24th workshop European Vegetation Survey, Rennes, France, 4-8 Mai 2015

Thuiller, W., 2003. BIOMOD – optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. *Glob. Change Biol.* 9, 1353–1362.

Annexe 1 : Caractéristiques des principales approches de modélisation présentes dans la plateforme de modélisation Biomod2

Type	Algorithme	Technique(s)	Pour	Contre	Bibliographie de référence	
Régressions	GLM	Modèle linéaire généralisé	Modèles linéaire, quadratique, polynomial (avec ou sans interactions)	Combine les différents types de régression (logistique, linéaire, Poisson). Compréhension facile. Prédictions dans les limites des valeurs observées.	Doit suivre une fonction de distribution (« Model Driven »). Peu flexible.	<i>Guisan et al., 2002; Pearce and Ferrier, 2000; Vincent and Haworth, 1983; Guisan, 1998</i>
	GAM	Modèle additive généralisé	Modèles additifs (avec ou sans interactions)	Plus flexible que les GLMs. Variété de méthodes de lissage. « Data driven ».	« Over-fitting ». Difficultés de paramétrage.	<i>Yee and Mitchell, 1991; Guisan et al., 2002; Pearce and Ferrier, 2000</i>
	MARS	Régression multivariée par spline adaptative	Modèle de régression non paramétrique (non-linéaire avec interactions)	Plus souple que les modèles linéaires. Compréhension facile. Efficace pour un grand nombre de données.	« Over-fitting ».	<i>Friedman, 1991</i>
	FDA	Analyse discriminant e flexible	Régression multi-réponse en utilisant des notations optimales (méthode de classification basée sur des régressions multiples non paramétriques)			<i>Hastie et al., 1994; Manel et al., 1999</i>
Arbres décisionnels	CTA	Arbre de classification	Classification et regression			<i>Breiman et al., 1984</i>
	RF	“Random Forest”	Classification et régression		« Over-fitting ».	<i>Breiman, 2001</i>
Régressions et arbres décisionnels	GBM	Modèle linéaire généralisé (boosting)	Combinaison de régressions, arbres décisionnels et "boosting"		« Over-fitting ».	<i>Jerome H. Friedman, 1999</i>

Enveloppes environnementales	SRE	Enveloppe rectilinéaire	Equivalent à Bioclim. Modèles d'enveloppe climatique, GARP-simulation	Simple et compréhensible.	Peu flexible	<i>Busby, 1991;</i> <i>Nix, 1986 ;</i> <i>Walker and Cocks, 1991;</i>
	Apprentissage	Maxent	Maximum d'entropie	Maximum d'entropie: linéaire, quadratique, produit, seuil, caractéristiques binaires	Réglage facile. Grande flexibilité.	« Over-fitting ».
	ANN	Réseau de neurones	Régression non-linéaire, phases d'apprentissage.	Puissant pour les relations non linéaires.	«Boîte noire ». Courbes de réponse difficilement interprétables.	<i>Pearson et al., 2002</i>

H1	Mobilisation des données de la cartographie CarHAB dans le cadre du programme d'inventaire permanent des ZNIEFF
Rédacteur :	Sylvain Bellenfant
Contacts :	sylvain.bellenfant@mnhn.fr

Les données collectées dans le cadre du programme CarHAB peuvent être mobilisées pour l'inventaire permanent des Zones Naturelles d'Intérêts Ecologique Floristique et Faunistique (ZNIEFF). D'une part, les contours numérisés des UVC peuvent guider la délimitation du périmètre des ZNIEFF. D'autre part les données de qualification des UVC : séries de végétation, cellules paysagères, syntaxons des synrelevés et taxons des relevés phytosociologiques peuvent être analysées pour renseigner une ZNIEFF.

L'extension de la ZNIEFF N° 240031592 dans le Pays fort, sur la commune de la Chapelotte est ici prise en exemple. (voir présentation du Pays Fort dans le guide pratique § 5.1.1).

Utilisation du fond physiologique et du fond environnemental pour délimiter la ZNIEFF

La délimitation s'appuie sur le fond physiologique produit dans le cadre du programme (fig. 1). Les éléments de paysage dominants la ZNIEFF 240031592 correspondent aux postes typologiques 'forêt de mélange de feuillus' et 'prairies à phytomasse moyenne', du fond physiologique. La figure 1 fait apparaître l'ancien contour de la ZNIEFF et le nouveau, identifié suite à la cartographie de terrain.



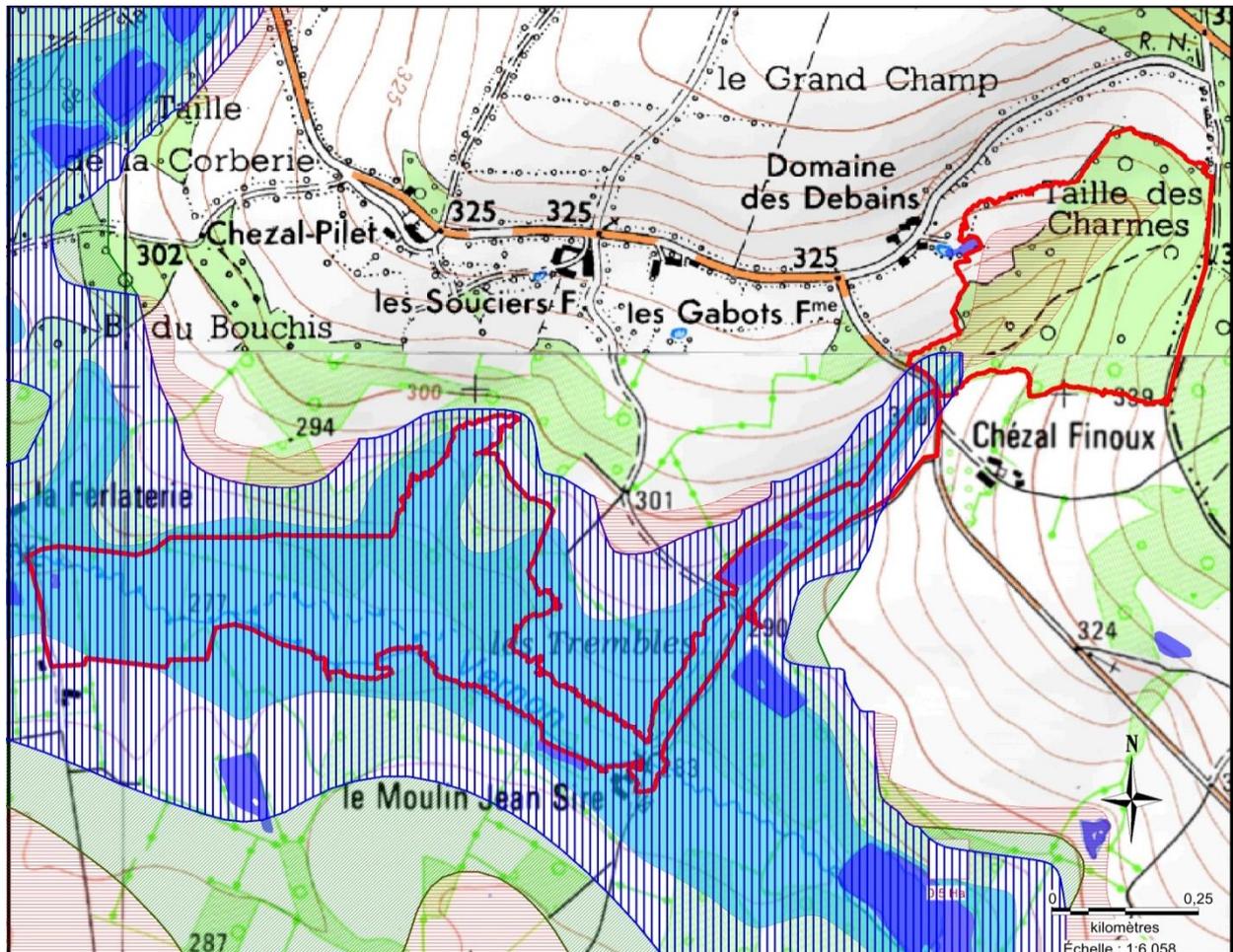
- Légende**
- Fond physiologique
 - ZNIEFF de type 1 n° 240031592
 - Nouveau périmètre
 - Ancien périmètre

Figure 1 : Fond physiologique sur la commune de la Chapelotte (IGN)

La figure 2 permet de distinguer :

- les 3 items les plus humides (sur les 10) du fond environnemental ;
- la couche thématique milieux hygrophiles (qui entre dans la composition du fond environnemental) dans laquelle les polygones sont renseignés par un type de substrat géologique.

La couche thématique des milieux hygrophiles du fond environnemental permet de délimiter le grand compartiment écologique hygrophile. Cette couche constitue un élément fort pour définir le nouveau périmètre de la ZNIEFF.



LEGENDE

milieux hygrophiles (EVS ISTHME)

-  Milieu hygrophile en eau permanente
-  Milieu hygrophile sur autre substrat

Fond environnemental V3-17_10a

-  Fond de vallées non encaissées
-  Bas de versants concaves
-  Zones relativement planes, replats de versants

-  ZNIEFF de type 1 n° 24003159

Figure 2 : Couche thématique milieux hygrophiles du fond environnemental (source : EVS Isthme)

Sur la cartographie des géoséries (fig. 3), il ressort que l'extension du périmètre de la ZNIEFF s'appuie sur les pré-UVC des fonds physiologique et environnemental.

Quelques adaptations sont imposées par la méthodologie de délimitation des ZNIEFF, en particulier la limite de la ZNIEFF doit englober les espaces particulièrement riches en habitats et en espèces végétales et animales déterminants pour l'inventaire ZNIEFF et s'appuyer sur des limites visibles dans le paysage (lisières, chemins etc.).

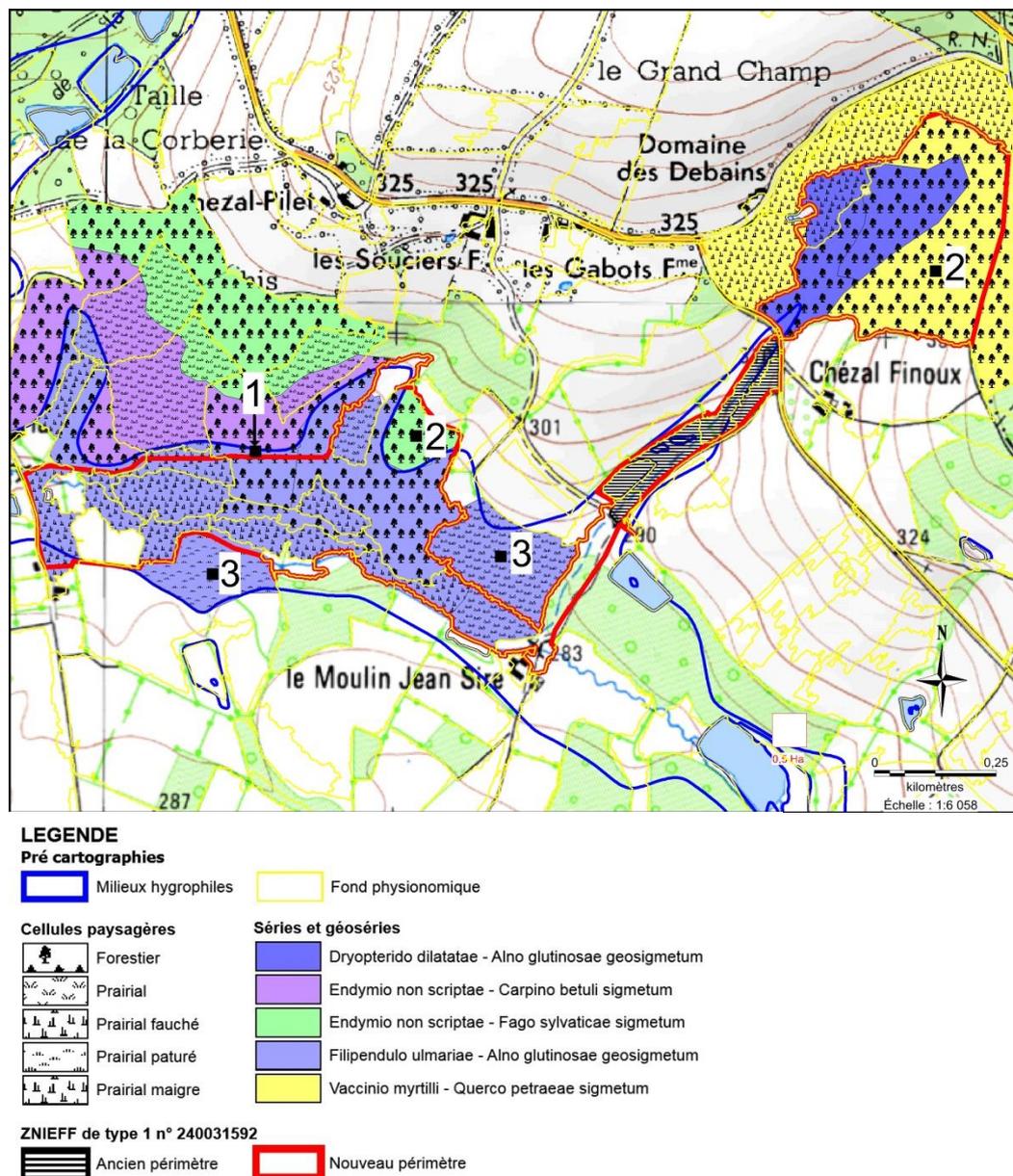


Figure 3 : Cartographie des géoséries, ancien et nouveau contour de la ZNIEFF 240031592

- a) En 1 sur la figure 3, le contour de la ZNIEFF suit approximativement la limite de la couche milieu hygrophile, de façon à englober la géosérie du *Filipendulo ulmariae - Alno glutinosae geosigmetum prov.* et la géosérie du *Dryopterido dilatatae - Alno glutinosae geosigmetum prov.* particulièrement riches en habitats et en espèces végétales déterminants pour l'inventaire ZNIEFF (aulnaies-frênaies, aulnaies marécageuses, prairies humides de fauche, sources). Les habitats associés à la série de la forêt à Charme commun et Jacinthe (*Endymio non scriptae - Carpino betuli sigmetum prov.*), plus pauvres en habitats et en espèces déterminants ont été exclus.

- b) En 2, des hêtraies (compartiment écologique mésophile) ont été intégrées au périmètre de la ZNIEFF car elles relèvent d'un habitat déterminant.
- c) En 3, des parcelles de prairies dégradées appartenant à la géosérie du *Filipendulo ulmariae - Alno glutinosae geosigmetum prov.* ont été exclues du périmètre car elles sont pauvres en habitats et en espèces végétales déterminantes pour l'inventaire ZNIEFF.

Exploitation des données syntaxonomiques et taxonomiques pour renseigner la ZNIEFF

La figure 4 détaille les données syntaxonomiques récoltées sur la partie ouest de la ZNIEFF.

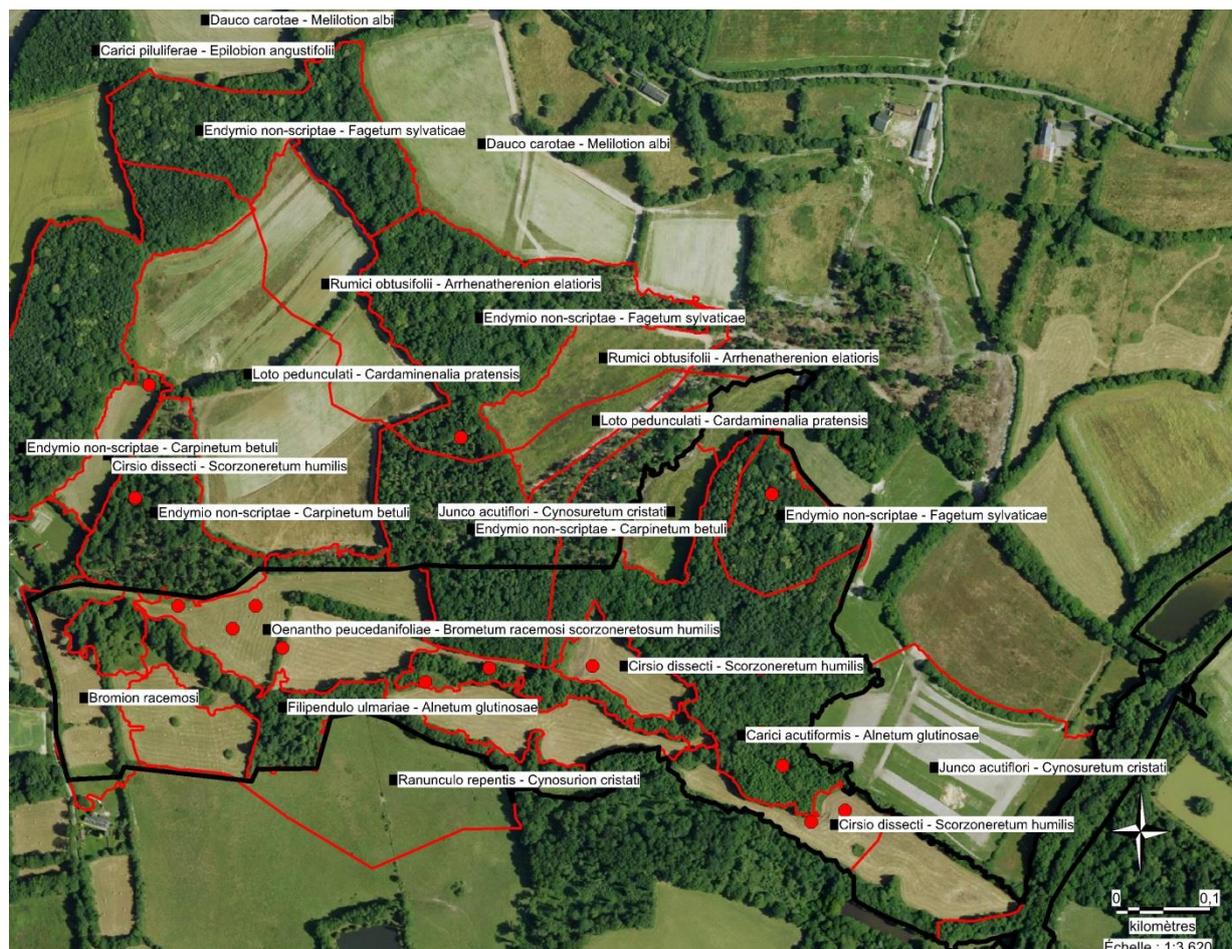


Figure 4 : Données syntaxonomiques liées à la qualification des UVC

La figure 5 montre un exemple de la diversité des données récoltées sur une UVC dans l'outil de saisie. La composition syntaxonomique des sigmarelevés peut être analysée afin de lister les habitats de la ZNIEFF, évaluer les surfaces occupées par les différents habitats etc... Enfin les taxons des relevés phytosociologiques sont exploités pour alimenter la liste des espèces déterminantes de la ZNIEFF.

Figure 5 : Formulaire de saisie dans la base de données, dont saisie d'un sigmarelevé et extrait de relevé phytosociologique.

Résultats

Les prospections de terrain réalisées à l'occasion de la cartographie CarHAB ont permis de modifier de façon importante la ZNIEFF initiale (voir figure 3) et de proposer une ZNIEFF plus vaste et organisée sur des milieux humides emblématiques du Pays Fort (prairies marécageuses, aulnaies-frênaies, aulnaies marécageuses). On remarque au final une assez bonne adéquation entre le périmètre de la ZNIEFF et la couche milieu hygrophile. Dans le cas présent, la liste des habitats selon la nomenclature CORINE biotopes n'a pas été modifiée suite à l'extension (tableau 1).

Tableau 1 : Habitats de la ZNIEFF N° 260031592 (ancien et nouveau périmètre) avec les habitats déterminants pour la ZNIEFF indiqués en gras, selon la nomenclature CORINE biotopes.

37.1 – Communautés à reine des prés et communautés associées
37.312 – Prairies à molinie acidiphile
44.31 - Forêts de frêne et d'Aulnes des ruisselets et des sources (rivulaires)
54.11 – Sources d'eaux douces pauvres en bases
31.8 - Fourrés
37.2 – Prairies humides eutrophes
38.1 – Pâtures mésophiles
38.2 – Prairies de fauche de basse altitude

Signalons aussi que les outils que sont le fond physionomique et le fond environnemental pourraient aussi être mobilisés pour établir une stratégie d'inventaire des ZNIEFF en zone humide.