



La carte des physionomies des milieux ouverts

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 de la carte des physionomies 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 milieu 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.

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 cartographiques et les utilisateurs.

Il s'agit d'une nomenclature purement physionomique 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 physionomique 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 de la carte des physionomies 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



La carte des physionomies des milieux ouverts

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 rocailleux Ligneux bas mixte Ligneux bas dense Fourré – Fruticée	
Ligneux haut	Forêt lâche	
Culture	Culture	

Cette typologie se décline en trois niveaux (tableau 1). Le niveau 1 correspond aux grands ensembles physionomiques 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 physionomique inclut principalement des végétations correspondant à la strate arbustive haute, plus proche de la physionomie d'un fourré ou d'une fruticée. Globalement, le type physionomique "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.

La classification semi-automatique d'images satellitaires

À la différence de l'approche manuelle développée par l'IGN pour la cartographie de la physionomie des milieux forestiers, la physionomie 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 conduits 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 physionomie), 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.



La carte des physiologies des milieux ouverts

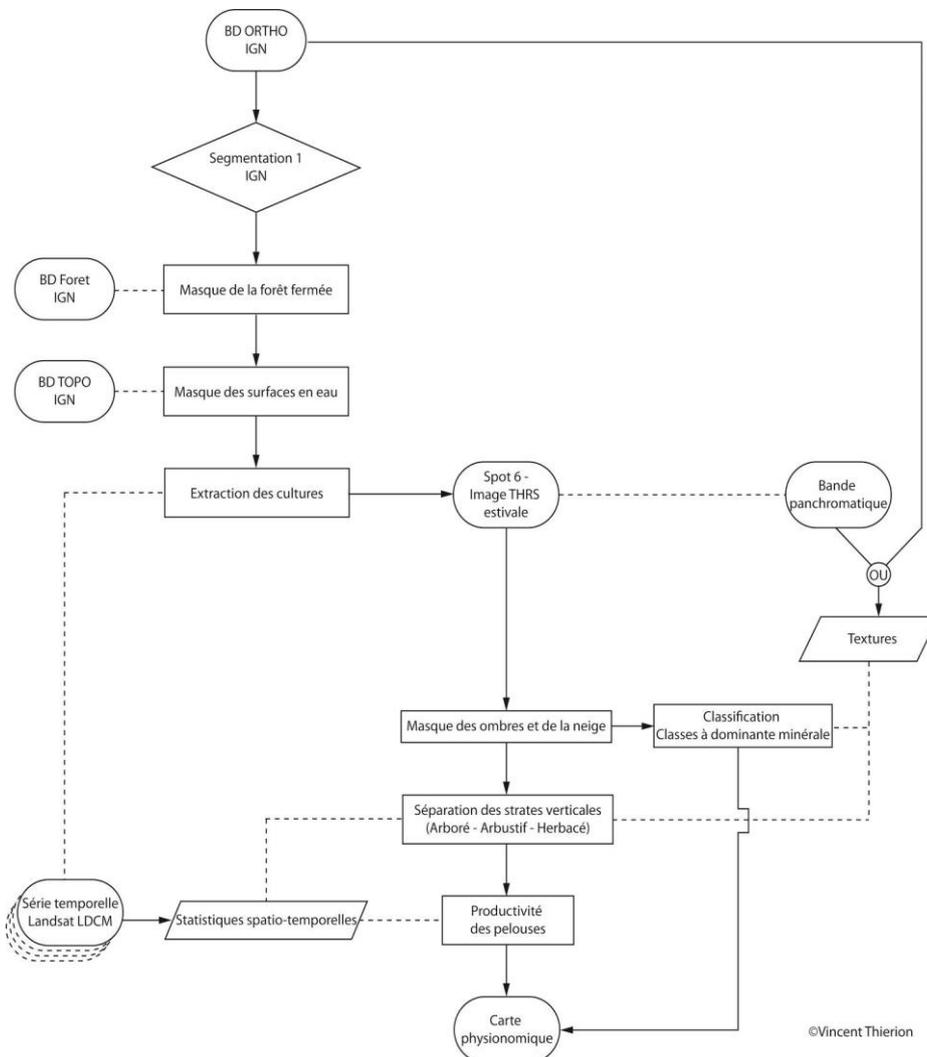


Figure 1 : Organigramme de la méthode de télédétection des milieux ouverts

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.



La carte des physionomies des milieux ouverts

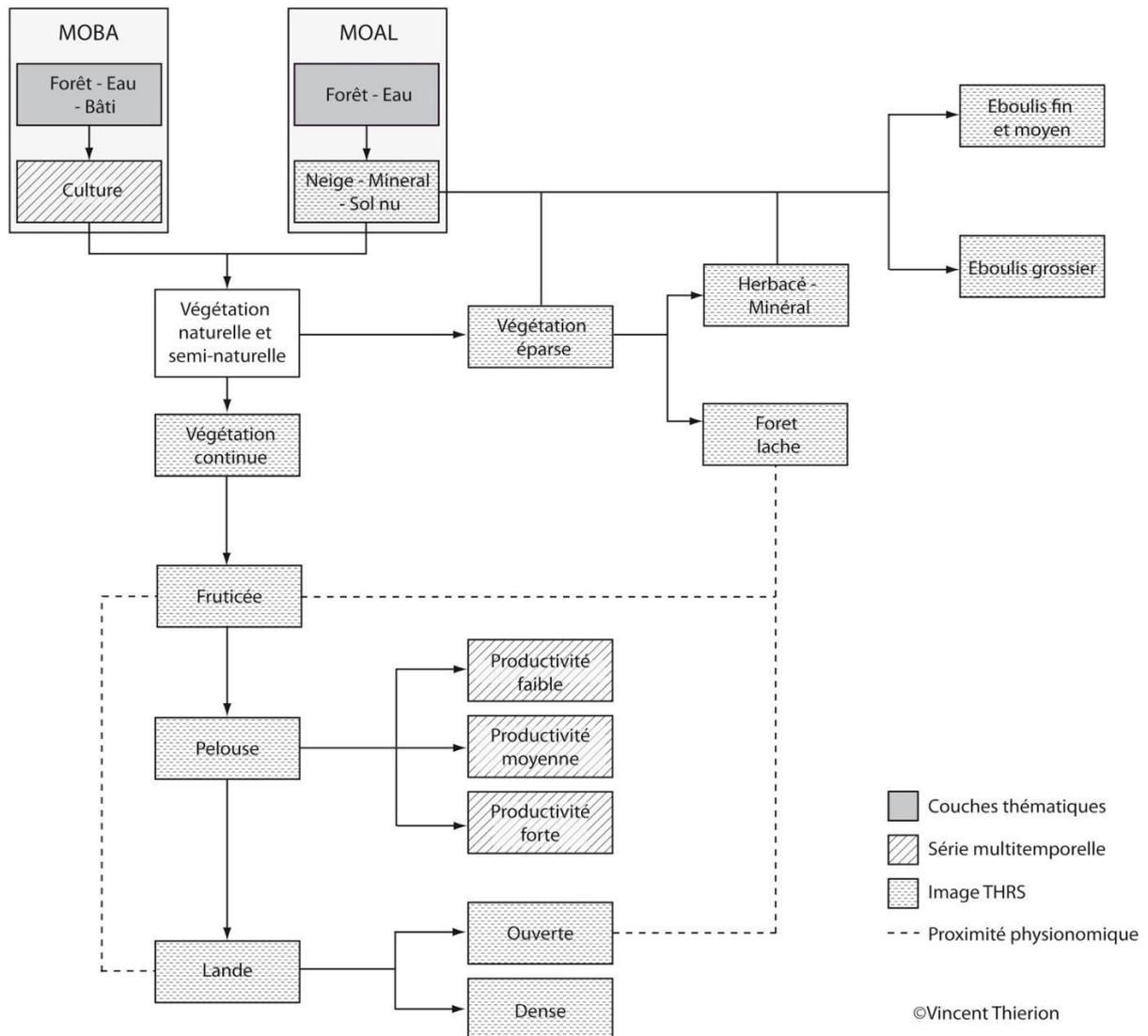


Figure 2 : Ontologie de classification et typologie physionomique des milieux ouverts d'altitude

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 la carte des physionomies 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 répliation 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 carte des physionomies des milieux ouverts

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 télédéacteur, voire à terme l'écologue, adapte les seuils spectraux proposés dans le modèle général (ontologie) pour cartographier rapidement et fidèlement la physionomie 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* de la carte des physionomies.

Échantillonnage physionomique 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 de la carte des physionomies durant la phase test (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 d'échelle (1/25 000) ;



La carte des physionomies des milieux ouverts

- 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 physionomique.

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.

Rédaction : Vincent Thierion, Samuel Alleaume (IRSTEA)



La carte des physionomies des milieux ouverts

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 physionomique 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 de la carte des physionomies 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
Couche polygonale	zone : site test ou numéro du département 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

Remobilisation de cartes de végétation existantes



La carte des physionomies des milieux ouverts

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 physionomique définie en amont (traduire des codes Corine Biotopes en physionomie) ;
- 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 physionomique, éventuellement à l'aide d'une table de correspondance. Cette étape est primordiale et nécessite une bonne connaissance des nomenclatures utilisées par la carte des physionomies.
- 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 reprojection 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 physionomiques 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.

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 attributaire.
- 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 attributaire.



La carte des physionomies des milieux ouverts

- 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.