



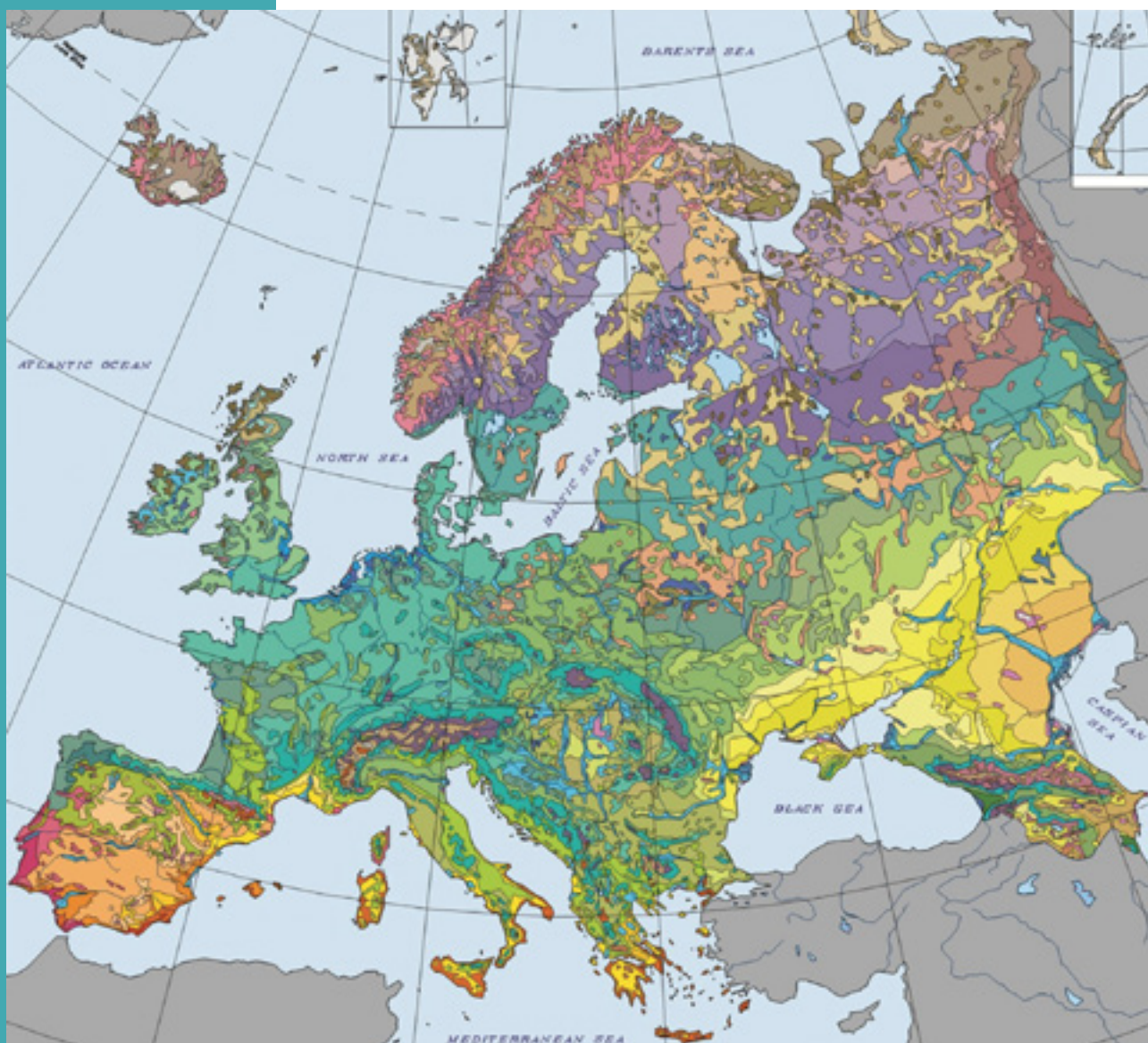
MUSÉUM
NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

Direction de la Recherche,
de l'Expertise et de
la Valorisation

Service du Patrimoine Naturel Direction
Déléguée au Développement Durable, à la
Conservation de la Nature et à l'Expertise

Service du Patrimoine Naturel

Cartographie des habitats terrestres en Europe : une vue d'ensemble



Muséum national d'Histoire naturelle – Service du Patrimoine Naturel

36 rue Geoffroy Saint-Hilaire

CP 41 - 75231 Paris Cedex 05

+33 (0)1 71 21 46 35

spn.mnhn.fr

Suivi éditorial : Sébastien Languille (MNHN-SPN)

Traduction de la version anglaise : Jean Ichter (MNHN-SPN)

Relecture : Vincent Gaudillat (MNHN-SPN), Laurent Poncet (MNHN-SPN), Dominique Richard (CTE/DB), ainsi que Sandra Luque (IRSTEA), Samuel Alleaume (IRSTEA) et Arnault Lalanne (MEDDE) pour leurs contributions respectives

Conception graphique : Anne-Flore Cabouat - epigraf.fr

Citation recommandée : Ichter, J., Evans, D., Richard, D., 2015. Cartographie des habitats terrestres en Europe: une vue d'ensemble. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris. 150 p. Rapport technique n°1/2015.

ISBN MNHN : 978-2-85653-778-7

Dépot légal : novembre 2015

Diffusion gratuite



MUSÉUM
NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

Direction de la Recherche, de l'Expertise et de la Valorisation

Service du Patrimoine Naturel Direction Déléguée au Développement Durable, à la Conservation de la Nature et à l'Expertise

Service du Patrimoine Naturel

Cartographie des habitats terrestres en Europe : une vue d'ensemble

Coordination

Dominique Richard (CTE/DB), Laurent Poncet (MNHN), Rania Spyropoulou (AEE), Ivone Pereira Martins (AEE)

Traduit de :

Ichter, J., Evans, D., Richard, D., 2014 Terrestrial Habitat mapping in Europe - an overview. Technical Report n°1/2014. MNHN-EEA, Luxembourg. p 100.

ISBN 978-92-9213-420-4 / ISSN 1725-2237 / doi:10.2800/11055

La présente version en français a été coordonnée par le MNHN et les auteurs principaux. Malgré tout le soin apporté à la traduction, de légères adaptations du texte original ont parfois été nécessaires pour faciliter la lecture.

www.eea.europa.eu/publications/terrestrial-habitat-mapping-in-europe

Sommaire

Préface des directeurs de l’AEE et du MNHN	7
Auteurs et contributeurs	8
Résumé analytique	10
1. Introduction : contexte et objectifs	13
1.1. La cartographie des habitats et les politiques de biodiversité en Europe	13
1.2. Objectifs et structures du rapport	14
1.3. Références clés	15
2. Origines et concepts de la cartographie de la végétation	16
2.1. Historique de la cartographie de la végétation	16
2.2. Concepts employés en phytosociologie	16
2.3. Les principaux types de cartographie de la végétation	18
2.4. Les cartes de la végétation de l’Europe	21
2.5. Références clés	22
3. Les systèmes de classification comme outils pour la cartographie de la végétation	23
3.1. Les systèmes de classification basés sur la caractérisation des communautés végétales	23
3.2. Les classifications basées sur les concepts d’habitat et de biotope	26
3.3. Les correspondances entre typologies et les difficultés d’interprétation	29
3.4. L’identification et la caractérisation des habitats par la télédétection	32
3.5. Références clés	38
4. L’enquête sur les expériences de cartographie des habitats en Europe: vue d’ensemble	39
4.1. Matériels et méthodes	39
4.2. Synthèse bibliographique	40
4.3. Etendue de l’enquête européenne	42
4.4. Analyses des éléments clés des projets sélectionnés	42
4.5. Références clés	57
5. L’enquête sur les expériences de cartographie des habitats en Europe: les méthodologies de cartographie	58
5.1. Différentes typologies pour différents objectifs	58
5.2. Les cartes de végétation potentielle naturelle et des séries de végétation	61
5.3. Fonds cartographiques et variables environnementales	62
5.4. Inventaire et évaluation des cartographies existantes	64
5.5. Cartographie des mosaïques et des complexes d’habitat	65
5.6. La télédétection et la modélisation des habitats	67
5.7. Les inventaires de terrain	67
5.8. La mise à jour des cartes	68
5.9. Validation des données et contrôles qualité	69
5.10. Références clés	73

6. Usages et applications de la cartographie des habitats.....	74
6.1. La conservation du patrimoine naturel	74
6.2. Les politiques d'aménagement du territoire	81
6.3. La cartographie des écosystèmes et de leurs services	90
6.4. Références clés	91
7. Approche historique de la cartographie de la végétation et des habitats dans différents pays d'Europe.....	92
7.1. Allemagne	92
7.2. Bulgarie	93
7.3. Espagne	94
7.4. Estonie	94
7.5. France	95
7.6. Italie	96
7.7. Lettonie	97
7.8. Lituanie	98
7.9. Les pays nordiques : Danemark, Finlande, Islande, Norvège et Suède	99
7.10. Royaume-Uni	99
7.11. Slovaquie (et l'ex-Tchécoslovaquie)	100
8. Conclusion.....	101
Liste des cartes, figures et photos.....	102
Bibliographie.....	103
Liste des organisations.....	123
Liste des acronymes.....	126
Annexe 1 Liste des projets.....	128
Annexe 2 Questionnaire.....	130
Annexe 3 Fiches descriptives de 14 projets sélectionnés.....	132
Annexe 4: Synthèse des approches les plus communément utilisées pour la cartographie et la modélisation de la distribution des espèces et des habitats	148

Préface des directeurs de l'AEE et du MNHN

L'identification, la description, la classification et la cartographie des habitats naturels et semi-naturels gagnent en reconnaissance dans le domaine des politiques environnementales. Bien que la science botanique reste au cœur de la démarche, la cartographie des habitats trouve de plus en plus d'applications pour l'aménagement des territoires, et représente souvent une étape nécessaire pour la mise en œuvre de programmes de conservation de la nature et de la biodiversité. La végétation de nos forêts, prairies, landes et montagnes sont le reflet des conditions écologiques d'un territoire donné. Elle intègre également les changements de ces conditions sous les influences de l'homme et de l'environnement. Une connaissance fine de l'état et de la répartition des habitats est donc un élément important pour prendre des décisions de planification à long terme. Des instruments clés tels que la directive Habitats et la Convention de Berne nécessitent implicitement des cartographies d'habitats. Il en va de même pour la stratégie de la biodiversité pour 2020 de l'UE, dont l'objectif est d'assurer la restauration et le maintien des écosystèmes et des services écosystémiques. Les initiatives en Europe sont nombreuses et variées, allant du local à l'échelle nationale. Toutefois, les informations sur les méthodes utilisées et l'organisation des projets sont peu accessibles, en particulier en ce qui concerne la planification et les financements.

Ce rapport est la première étude et analyse des initiatives de cartographies de la végétation et des habitats terrestres à travers l'Europe et prenant en compte les aspects méthodologiques et de gestion de projet. Il montre l'évolution des concepts et des techniques, ainsi que les initiatives en cours pour harmoniser l'information au niveau européen. Cette étude a été initiée afin de fournir des retours d'expériences au projet national de cartographie des habitats en France, CarHAB. Elle a été conduite par le Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN) à la demande du Ministère français de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. Ce travail a été rapidement considéré par l'Agence européenne pour l'environnement (AEE) comme pertinent pour l'ensemble des pays européens, ce qui a conduit à l'élaboration de la présente publication.

Ce rapport est ainsi le résultat d'une collaboration fructueuse entre le Service du Patrimoine Naturel du MNHN - le Centre national de référence français pour la biodiversité - et le Centre thématique européen sur la diversité biologique (CTE / DB) de l'AEE, coordonné par le MNHN à Paris. Il a impliqué plus de 70 spécialistes européens, sur la cartographie des habitats et de la végétation, qui ont contribué aux différentes sections du rapport. Une consultation, à travers le Réseau européen d'informations et d'observations de l'AEE (Eionet), a fourni de précieuses informations complémentaires, en particulier pour les pays où peu d'informations étaient disponibles.

C'est un plaisir pour nous de présenter et de promouvoir cet exemple de synergie entre les niveaux nationaux et européens, donnant tout son sens au partenariat entre l'Agence européenne pour l'environnement et le réseau européen d'information et d'observation Eionet, dont le MNHN est un membre clé.

Hans Bruyninckx, Directeur exécutif de l'Agence européenne pour l'environnement

Thomas Grenon, Directeur général, Muséum national d'Histoire naturelle

Auteurs et contributeurs

AUTEURS PRINCIPAUX

Jean Ichter (MNHN), Douglas Evans (CTE/DB), Dominique Richard (CTE/DB)

COORDINATION

Dominique Richard (CTE/DB), Laurent Poncet (MNHN), Rania Spyropoulou (AEE), Ivone Pereira Martins (AEE)

CONTRIBUTION À LA PUBLICATION

Laura Savio (MNHN), Guillaume Grech (MNHN), Vincent Gaudillat (MNHN), Pia Schmidt (AEE)

CONTRIBUTEURS

Chapitre 2 - Origines et concepts de la cartographie de la végétation

Franco Pedrotti (UNICAM, Italy)

Chapitre 3 - Les systèmes de classification comme outils pour la cartographie de la végétation

John S. Rodwell (Consultant, Royaume-Uni)

Milan Chytrý (PřF MU, République tchèque), Stephan M. Hennekens, Rob G. H. Jongman,

Joop H. J. Schaminée (Alterra, Pays-Bas)

Daniela Gigante, Flavia Landucci, Edoardo Panfili, Roberto Venanzoni (Univ. Perugia, Italie)

Vincent Gaudillat (MNHN, France)

Samuel Alleaume, Christina Corbane, Michel Deshayes, Sandra Luque, Mathilde Redon (IRSTEA, France)

Chapitre 4 - L'enquête sur les expériences de cartographie des habitats en Europe: vue d'ensemble

Veronika Oušková (AOPK ČR, République tchèque)

Loïc Commagnac (IGN, France)

Jordi Carreras, Albert Ferré (GEOVEG, Espagne)

Zsolt Molnár, Ferenc Horváth (MTA ÖBKI, Hongrie)

Laurent Poncet, Frédéric Vest (MNHN, France)

Pierangela Angelini, Laura Casella (ISPRA, Italie)

Stephan M. Hennekens, Joop H. J. Schaminée (Alterra, Pays-Bas)

Chapitre 5 - L'enquête sur les expériences de cartographie des habitats en Europe: les méthodologies de cartographie

Panayotis Dimopoulos (Univ. de Grèce occidentale, Grèce)

Milan Chytrý (PřF MU, République tchèque) Javier José Loidi Arregui (UPV/EHU, Espagne)

Bernard Etlicher, Pierre-Olivier Mazagol, Céline Sacca (EVS-ISTHME Univ. St Etienne, France)

Anaïs Just, Guilhem Debarros, Jérôme Millet (FCBN, France)

Laura Savio (MNHN, France)

Marc Isenmann (CBNA, France)

Vincent Parmain (ONF, France)

Veronika Oušková (AOPK ČR, République tchèque)

Desiré Paelinckx, Steven De Saeger, Jeroen Vanden Borre, Thierry Onkelinx Patrik Oosterlynck (INBO, Belgique)

Chapitre 6 – Usages et applications de la cartographie des habitats

Javier José Loidi Arregui (UPV/EHU, Espagne)

Desiré Paelinckx, Steven De Saeger, Jeroen Vanden Borre, Thierry Onkelinx, Patrik Oosterlynck, Jeroen Vanden Borre, Desiré Paelinckx, Gerald Louette (INBO, Belgique)

Panayotis Dimopoulos (Univ. de Grèce occidentale, Grèce)

Jean-Marc Couvreur, Lionel Wibail (SPW, Belgique)

John S. Rodwell, Susan Gubbay (Consultant, Royaume-Uni)

John A.M. Janssen (Alterra, Pays-Bas)

Franz Essl (Umweltbundesamt, Autriche)

Pierangela Angelini, Laura Casella (ISPRA, Italie)

Tomáš Tichý - AOPK ČR, République tchèque

Peter Veen (KNNV, Pays-Bas)

Dobromil Galvánek (Consultant, Slovaquie)

Arnault Lalanne (MEDDE, France)

Anders Bryn (NHM / Skog og landskap, Norvège)

Bálint Czúcz, Molnár (MTA ÖBKI, Hongrie)

Chapitre 7 – Approche historique de la cartographie de la végétation et des habitats dans différents pays d'Europe

Iva Apostolova (IB/BAS (ИБ/БАН), Bulgarie) Jaanus Paal (Univ. Tartu, Estonie)

Thierry Gauquelin (IMBE, France)

Axel Ssymank, Uwe Riecken, Peter Finck & Lothar Schröder (BfN, Allemagne)

Carlo Blasi (Univ. la Sapienza, Italie)

Liene Auniņa (LDF, Lettonie)

Valerijus Rašomavičius (BILAS, Lituanie)

Guðmundur Guðjónsson (NÍ, Islande)

Anders Bryn (NHM / Skog og landskap, Norvège)

Helle Skånes (Univ. Stockholm, Suède)

Niina Käyhkö (Univ. Turun, Finlande)

Milan Valachovič (SAV, Slovaquie)

Javier José Loidi Arregui (UPV/EHU, Espagne)

John S. Rodwell (Consultant, Royaume-Uni)

Résumé analytique

La cartographie de la végétation bénéficie d'une longue et riche histoire en Europe, avec des cartes publiées à différentes échelles et utilisant des typologies variées. La cartographie des habitats est plus récente et s'est développée de manière importante suite à l'adoption en 1992 de la Directive « Habitats » qui a généré de nouveaux besoins en termes d'information. Dans la perspective de la stratégie de l'Union européenne pour la biodiversité à l'horizon 2020, ce rapport offre une vue d'ensemble des approches et des concepts liés à la cartographie de la végétation et des habitats ainsi qu'une présentation exhaustive des principales méthodes et projets menés à travers l'Europe. Il inclut également une approche historique du développement de la cartographie des habitats et de la végétation par pays.

Les premières cartes de végétation en Europe ont été produites dans un cadre scientifique. La cartographie de la végétation a débuté au milieu du 19^e siècle, la plus ancienne carte recensée à grande échelle date de 1869 aux Pays-Bas. La plupart des développements ont eu lieu au 20^e siècle et l'essor de la cartographie de la végétation est lié à celui de la phytosociologie, science qui étudie les communautés végétales. Les cartes les plus anciennes sont généralement à petite échelle et couvrent des pays entiers ou de grandes régions. Elles sont plutôt physionomiques, illustrant des types de formations végétales définis par les espèces dominantes.

Plus récemment, des cartes de végétation ont été produites pour aider à la mise en œuvre de politiques d'aménagement du territoire dans un objectif de conservation du patrimoine naturel. Les cartes basées sur les concepts de la phytosociologie sont courantes et prennent différentes formes. Elles peuvent illustrer l'état de la végétation actuelle mais également la végétation potentielle naturelle. La végétation potentielle naturelle est un concept introduit par le phytosociologue allemand Reinhold Tüxen en 1956 et peut être définie comme la végétation qui devrait se développer (communauté terminale) en l'absence de toute influence humaine sur le site et dans ses environs immédiats.

Parmi les principales initiatives récentes, ce rapport présente, entre autres, des cartographies d'Espagne, de République tchèque et d'Italie sous forme d'études de cas détaillées. Une autre réalisation importante a été la publication en 2000 d'une carte de la végétation potentielle naturelle de l'Europe à l'échelle du 1/2 500 000 par une équipe multinationale.

Différents systèmes de classification de la végétation et des habitats sont utilisés pour la cartographie. Ce rapport met en évidence le rôle de *European Vegetation Survey* (EVS) dans le développement de normes communes à travers l'Europe pour la classification de la végétation et la gestion des jeux de données. EVS est un groupe de travail de l'*International Association for Vegetation Science* (IAVS). Une révision de la synthèse des végétations en Europe publiée par EVS en 2002 est sous presse.

La notion d'habitat naturel et semi-naturel

Dans ce rapport, l'évolution de la notion d'habitat est discutée ; depuis les premières définitions qui correspondraient aujourd'hui à la notion de biome, jusqu'à l'utilisation au sens de la directive européenne « Habitats » où les habitats sont définis comme des zones terrestres ou aquatiques qui se distinguent par des caractéristiques géographiques, abiotiques et biotiques, qu'elles soient naturelles ou semi-naturelles. La première classification complète des habitats européens est CORINE Biotopes en 1991. La classification Paléarctique, publiée en 1996, a étendu la couverture géographique. Elles ont été ensuite remplacées par EUNIS, la classification des habitats de l'Agence européenne de l'environnement (AEE). Cette dernière propose des critères pour caractériser chacun des habitats en lien avec les niveaux supérieurs de la classification. Parmi les principaux développements, un système de correspondances permet de relier diverses classifications. Cela permet en particulier de relier les communautés végétales et les types d'habitats, et d'aider à faire le lien entre classifications nationales et européennes. Ces correspondances contribuent à faire d'EUNIS un langage commun pour les habitats. Ceci se traduit notamment par son utilisation dans le cadre de la directive européenne « INSPIRE » qui vise à permettre le partage de l'information spatiale sur l'environnement entre les organismes publics et d'en faciliter l'accès au public.

La télédétection occupe une place de plus en plus importante dans la cartographie de la végétation. Les premières applications étaient basées sur des photographies aériennes, mais désormais de nombreux projets ont accès à de l'imagerie satellite et à une grande variété de capteurs. Certaines expériences de cartographie utilisent la télédétection afin de segmenter le paysage en polygones homogènes en support au travail de terrain, tandis que d'autres produisent des cartes directement en combinant des images issues de la télédétection avec différents jeux de données spatialisés. Cette dernière approche en est encore au stade expérimental mais la

technologie est en constante progression. La combinaison d'outils issus de la télédétection et de relevés de terrain semble offrir les meilleurs résultats. Pour ce faire une collaboration étroite entre écologues et télédéTECTEURS est requise.

Une enquête sur les expériences de cartographie de la végétation en Europe a été menée par le Service du patrimoine naturel (SPN) du Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN) et le Centre thématique européen sur la Diversité biologique (CTE / DB) de l'AEE. Basée sur une synthèse bibliographique, elle a permis d'identifier 163 projets de cartographie. Parmi ceux-ci, 65 ont été considérés prioritaires pour une analyse détaillée car ils concernaient de grandes superficies et utilisaient une typologie basée sur une approche phytosociologique ou compatible. Ces critères ont été proposés afin d'identifier des expériences phares dans le cadre du programme national de cartographie des habitats de France, CarHAB.

Un questionnaire a été envoyé à des experts de 40 pays européens. Les informations recueillies ont été stockées dans une base de données et validées par les experts du réseau Eionet de l'AEE via les Centres nationaux de référence (CNR) pour la biodiversité, ainsi que pour la forêt et l'agriculture.

Parmi les 317 références bibliographiques identifiées, 49 % sont des livres, 37 % des publications scientifiques et 14 % des actes de conférences et de la littérature grise. La majorité des projets sont de portée nationale (66 %) ; 3% seulement transnationaux et 25 % régionaux. Les niveaux d'interopérabilité et de compatibilité entre les cartographies de différentes régions d'un même pays sont très variables. Dans certains pays, les projets de cartographie des habitats sont concentrés sur les aires protégées, ce qui représentent parfois une partie significative du territoire national, comme en Bulgarie ou en Grèce.

Seulement 20 % des projets cartographient tous les types d'habitats (naturels, agricoles et artificiels), la majorité (52 %) ne représentent que les habitats naturels et semi-naturels et 21% uniquement les habitats d'intérêt patrimonial (par exemple, les habitats listés à l'annexe I de la directive « Habitats »). Les cartographies de certains types d'habitats (par exemple, les prairies ou les forêts) sont nombreuses, mais ne concernent que 7 % des projets retenus dans notre enquête car ils couvrent des superficies limitées. La durée des projets de cartographie est variable, mais la plupart (42 %) ont une durée inférieure à 5 ans. Les projets ont tendance à être de plus longue durée dans les pays de grande superficie. Nos résultats suggèrent que les projets réalisés sur des durées insuffisantes sont susceptibles de produire des résultats de qualité insuffisante, tandis que les projets de longue durée (jusqu'à plusieurs décennies) peuvent rencontrer des difficultés pour être achevés.

Les techniques de télédétection ont été plus largement utilisées au cours des dernières années et cette tendance devrait se poursuivre. Cependant plus de la moitié des projets inventoriés sont basés sur des enquêtes de terrain. Certains projets ont été pionniers quant à l'utilisation d'outils nomades. Ceux-ci sont utiles aux opérateurs de terrain dans la saisie des données et rendent caduque l'étape de transcription des relevés de terrain, supprimant ainsi une source potentielle d'erreur.

Les usages de la cartographie d'habitat

L'utilisation de cartographies d'habitats et de végétation est très importante pour la mise en œuvre de la directive « Habitats ». La carte des régions biogéographiques utilisée pour la mise en place des réseaux Natura 2000 et Émeraude est basée sur les cartes de végétation potentielle naturelle. En outre, de nombreux États membres ont établi leur liste de sites Natura 2000 sur la base de cartes de végétation ou d'habitats existantes ou spécialement commandées. Les cartographies d'habitats sont également importantes pour le rapportage au titre de l'article 17 de la directive « Habitats ». En effet, les États membres doivent fournir des cartes de distribution, complétées par des informations sur la superficie totale et les tendances des habitats d'intérêt communautaire. Des informations similaires sont également requises pour l'établissement de listes rouges des habitats, généralement au niveau national mais également en cours de développement au niveau européen. La liste rouge européenne des habitats contribuera à la liste rouge mondiale des écosystèmes conduite par l'UICN. Par ailleurs les cartes d'habitats sont appelées à jouer un rôle important dans la cartographie et l'évaluation des services écosystémiques, sachant que les écosystèmes peuvent être considérés comme des regroupements d'habitats.

Enfin les cartographies d'habitats sont également une source d'information très utile pour l'aménagement du territoire, en particulier pour les études d'impacts environnementales et les évaluations requises en vertu de l'article 6 de la directive « Habitats » pour protéger le réseau Natura 2000. Différentes cartographies ont été utilisées pour l'élaboration de réseaux écologiques depuis l'échelle régionale jusqu'à l'échelle continentale avec le Réseau écologique paneuropéen (PEEN). Les cartographies d'habitats seront enfin très importantes pour la mise en œuvre de la stratégie des infrastructures vertes de la Commission européenne.

1. Introduction : contexte et objectifs

RÉSUMÉ DU CHAPITRE

Les habitats peuvent être définis de plusieurs manières (voir Bunce et al. 2012), mais le terme se réfère généralement à une combinaison d'espèces et de facteurs physiques (par exemple type de sol et climat) en un lieu donné. La définition de la classification des habitats EUNIS (Système d'information européen sur la nature) de l'Agence européenne pour l'environnement (voir paragraphe 3.2.1) est couramment utilisée: « un espace où des animaux ou des plantes vivent, caractérisé premièrement par ses particularités physiques (topographie, physiologie des plantes ou des animaux, caractéristiques du sol, climat, qualité de l'eau, etc.) et secondairement par les espèces de plantes et d'animaux qui y vivent » (Davies, Moss et Hill, 2004). La végétation est caractérisée par les communautés végétales, qui sont généralement définies par leur composition floristique. La végétation peut être considérée comme un synonyme d'habitats dans les systèmes terrestres ; en effet, les communautés végétales (en particulier pour les milieux naturels et semi-naturels) sont largement déterminées par l'environnement physique, même si elles sont souvent modifiées par les modes de gestion.

1.1. La cartographie des habitats et les politiques de biodiversité en Europe

La cartographie de la végétation et des habitats bénéficie d'une longue histoire en Europe. Les cartes de végétation les plus anciennes étaient généralement produites à des fins scientifiques, dans le but d'accroître les connaissances sur notre environnement. Plus récemment, les cartes d'habitats sont de plus en plus utilisées dans un cadre politique pour l'aménagement du territoire ou la conservation de la biodiversité.

L'adoption de la Directive Habitats (92/43/CEE) a, directement ou indirectement, initié une part importante des projets de cartographie décrits dans cette publication. Les États membres de l'UE s'engagent à identifier et à désigner des sites pour une liste d'habitats (énumérés à l'annexe I de la directive) à inclure dans le réseau Natura 2000. La même directive enjoint les États membres à faire un rapportage sur l'état de conservation de ces habitats tous les six ans ; cela nécessite une connaissance fine de la répartition géographique de ces habitats. La désignation des sites du réseau Emerald (l'équivalent de Natura 2000 pour les pays non membres de l'UE), soutenue par la Résolution n°3 (1996) de la convention de Berne du Conseil de l'Europe sur la création du Réseau écologique paneuropéen (REP), nécessite également des connaissances sur la distribution et l'étendue des habitats.

Plus récemment, la stratégie pour la biodiversité de l'UE à l'horizon 2020¹ comporte trois objectifs qui nécessitent des connaissances sur les habitats : Cible 1, mettre pleinement en œuvre les directives Oiseaux (2009/147/CE) et Habitats ; Cible 2, maintenir et restaurer les écosystèmes et leurs services ; et Cible 3, accroître la contribution de l'agriculture et de la sylviculture au maintien et à l'amélioration de la biodiversité. L'action 5, en soutien à la cible 2 sur l'entretien et la restauration des écosystèmes, demande aux États membres de cartographier et d'évaluer l'état des écosystèmes². Pour cette action, les écosystèmes sont définis comme des groupes d'habitats interconnectés, ce qui signifie que des informations fiables sur leur distribution sera nécessaire, et cela au-delà des habitats énumérés à l'annexe I de la directive Habitats et dans les aires protégées. De même, la promotion de la stratégie pour les infrastructures vertes (action 6 de la cible 2), lancée en mai 2013 par la Commission européenne, nécessite des informations sur

1. Voir également <http://www.biodiversity.europa.eu/policy>

2. « Les États membres, avec l'aide de la Commission, devront cartographier et évaluer l'état des écosystèmes et de leurs services sur leur territoire national d'ici à 2014, évaluer la valeur économique de ces services, et de promouvoir l'intégration de ces valeurs dans la comptabilité et dans les systèmes de rapportage aux échelles européennes d'ici à 2020 » (Commission européenne, 2011).

les habitats afin d'évaluer la structure spatiale des espaces naturels et semi-naturels. Ce type d'approche a été appliqué à différentes échelles pour des initiatives de développement de réseaux écologiques, en réponse à des politiques nationales ou européennes. Par exemple, le Réseau écologique paneuropéen (PEEN) a été développé dans le cadre de la stratégie pour la diversité biologique et paysagère paneuropéenne du Conseil de l'Europe (Jongman *et al.*, 2011).

1.2. Objectifs et structures du rapport

Ce rapport technique a pour but de proposer une synthèse des expériences européennes de cartographie de la végétation et des habitats terrestres. Le Service du patrimoine naturel (SPN) du Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN) et le Centre thématique européen sur la diversité biologique (CTE/DB) ont réalisé un inventaire systématique des projets de cartographie d'habitats et de végétation à travers une synthèse bibliographique (317 références) et un questionnaire envoyé à des experts de 40 pays européens (voir annexe 1). Cette synthèse européenne a été initiée dans le cadre du programme national de cartographie des habitats, CarHAB (voir encadré en fin de chapitre), et devrait fournir un ouvrage de référence utile pour tout projet national ou régional de cartographie des habitats (Ichter *et al.*, sous presse). Les informations contenues dans l'inventaire ont été validées par les centres nationaux de référence à travers une consultation du Réseau européen d'information et d'observation sur l'environnement (Eionet) organisée par l'AEE.

Les origines, les concepts et les applications des différentes cartographies des habitats ainsi que les cartes de végétation de l'Europe sont décrits dans le chapitre 2. Le chapitre 3 présente les différents systèmes de classification, et les initiatives d'harmonisation au niveau européen. Les retours d'expériences de l'utilisation d'outils issus de la télédétection et de modélisations d'habitats sont également présentés, avec des références clés sur le sujet. Le chapitre 4 précise la méthodologie et les résultats du questionnaire, suivi d'une analyse des résultats pour 65 projets sélectionnés parmi 163 recensés. Le chapitre 5 propose une analyse détaillée des méthodes de cartographie identifiées lors de l'enquête. Des exemples d'usages et d'applications de la cartographie des habitats, souvent dans le cadre de politiques de l'UE, sont présentés dans le chapitre 6. Le chapitre 7 fournit une perspective historique de la cartographie de végétation et des habitats dans différents pays européens. La liste des 65 projets recensés lors de l'enquête figure à l'annexe 2. L'annexe 3 comprend des fiches descriptives d'un certain nombre de projets considérés d'intérêt particulier, pouvant notamment servir de références pour de futurs projets de cartographie. L'annexe 4 présente une vue d'ensemble des approches les plus couramment utilisées pour la modélisation des habitats et de leur distribution.

Encadré 1.1 - CarHAB, un programme national de cartographie des habitats de France

La cartographie de la végétation en France a commencé dans les années 1930, et c'est un domaine encore très actif avec plus de 1 800 cartes inventoriées à ce jour (voir section 5.3). Cependant, au niveau national, la connaissance sur la répartition des habitats naturels et semi-naturels à grande échelle (par exemple au 1/25 000) reste incomplète. En 2011, le gouvernement français a lancé un ambitieux projet de cartographie des habitats terrestres de la France - le projet CarHAB. Cette information est cruciale pour satisfaire l'engagement de la France de produire un rapport sur l'état de conservation des habitats et espèces d'intérêt communautaire.

CarHAB représente un programme phare de la stratégie nationale pour la biodiversité. L'objectif est de produire une carte de la végétation de la France à l'échelle du 1/25 000 d'ici à 2025, et illustrant à la fois la végétation réelle et potentielle. Les dernières technologies issues de la télédétection et de la modélisation sont utilisées pour produire des couches de base avant un important déploiement sur le terrain. Les résultats seront utilisés comme outil stratégique de planification territoriale pour analyser les infrastructures vertes, produire une liste rouge nationale des habitats et améliorer le réseau national d'aires protégées.

Face à l'importance de ce projet, le ministère en charge de l'environnement a souhaité bénéficier d'un retour d'expérience de projets similaires en Europe. Ainsi, un inventaire systématique des projets de cartographie des habitats et de la végétation a été réalisé par le MNHN et le CTE/DB, afin d'identifier les principaux programmes au niveau européen. Cet état-de-l'art pourrait être utile, non seulement au programme français CarHAB, mais également à tout projet de cartographie des habitats sur de vastes territoires³ (Ichter *et al.*, sous presse).

3. http://spn.mnhn.fr/spn_rapports/archivage_rapports/2013/SPN%202013%20-%201%20-%20SPN-2013-01_RAPPORT_final_Synthese_europeenne_vf.pdf

1.3. Références clés

European Commission. (2011). *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Our life insurance, our natural capital: an EU biodiversity strategy to 2020*. COM (2011) 244. Bruxelles/Brussel: European Commission.

Ichter J., Savio L. & Poncet L. (2012). *Synthèse des expériences européennes de cartographie de la végétation (Programme CarHAB)*. SPN MNHN, MEDDE, Paris.

Jongman, R. H. G., Bouwma, I. M., Griffioen, A., Jones-Walters, L. & Van Doorn, A. M. (2011). The Pan European Ecological Network (PEEN). *Landscape Ecology*, 26, 311–326.

2. Origines et concepts de la cartographie de la végétation

RÉSUMÉ DU CHAPITRE

Ce chapitre présente l'histoire de la cartographie de la végétation en Europe, les grandes catégories de cartes publiées et les concepts utilisés.

Dans une grande partie de l'Europe, la végétation a été appréhendée et classifiée selon les principes et les méthodes de la phytosociologie (Dengler, Chytrý & Ewald, 2008). L'unité de base de la végétation en phytosociologie est l'association végétale. Les associations sont regroupées au sein d'unités supérieures : l'alliance, l'ordre et la classe. Les unités phytosociologiques ou syntaxa sont nommées par convention d'après les noms scientifiques des plantes associées (voir Tableau 3.1 L'approche phytosociologique de classification de la végétation).

Ce chapitre se termine par un aperçu des cartes de végétation réalisées à l'échelle de l'Europe entière.

2.1. Historique de la cartographie de la végétation

La cartographie de la végétation a débuté au milieu du 19^e siècle, mais s'est rapidement développée à partir du début du 20^e siècle. La production des premiers véritables documents cartographiques a été précédée par une longue période d'études botaniques, phytogéographiques et phytosociologiques qui a permis le développement de théories. L'essor de la cartographie géobotanique a été stimulé par plusieurs rencontres internationales, en particulier celles de Stolzenau en 1959 (Tüxen, 1963), Toulouse en 1961 (Gaussen, 1961), Saint-Pétersbourg en 1975 (Sochava et Isachenko, 1976), Klagenfurt en 1979 (Ozenda, 1980-1982), Grenoble en 1980 et 1996 (Ozenda, 1981, Michalet et Pautou, 1998), Varsovie en 1990 (Falinski, 1991), et České Budějovice en 1997 (Bredenka *et al.*, 1998).

De nombreux journaux scientifiques dédiés à la cartographie ont également vu le jour ; notamment le Bulletin du service de la carte phytogéographique, édité par L. Emberger (Montpellier) qui a débuté en 1956 (publication désormais discontinuée), les Documents pour la carte de la végétation des Alpes, puis les Documents de cartographie écologique (1963-1987) édités par P. Ozenda (Grenoble), Geobotaniceskoe Kartografirovanie (cartographie géobotanique) édité par V.B. Sochava et E.M. Lavrenko (Saint-Pétersbourg) à partir de 1963 et le Supplementum Cartographiae Geobotanicae (1988 - ...) édité par J.B. Falinski (Białowieża - Varsovie). De nombreuses publications spécialisées sur la cartographie de la végétation, illustrant les aspects théoriques et pratiques, ont également été produites ; par exemple les travaux de Sochava (1962), Küchler (1967), Ozenda (1986), Küchler & Zonneveld (1988), Falinski (1990-1991), Alexander & Millington (2000) et Pedrotti (2013). Certaines publications géobotaniques contiennent également des chapitres sur la cartographie ; par exemple, les travaux de Braun-Blanquet (1928, 1951 et 1964), Ozenda (1964 et 1982), Borza & Boşcaiu (1965), Puscaru-Soroceanu (Ivan & donita, 1975), Ivan (1979), Dierschke (1994), Cristea *et al.* (2004) et d'autres. Une synthèse plus accessible et moins spécialisée sur la cartographie de la végétation et son histoire a été publiée par De Laubenfels (1975).

Tout au long de cette période, la production de cartes de la végétation n'a cessé de croître et de s'améliorer, autant sur le fond que sur la forme, ce qui a rendu possible la publication en 2000 de la carte de la végétation naturelle de l'Europe, dirigée par Udo Bohn (Bohn *et al.*, 2000-2003) (voir section 2.3).

2.2. Concepts employés en phytosociologie

Les classifications les plus détaillées et les plus complètes des types de végétation en Europe sont celles issues de la phytosociologie, la discipline qui étudie les patrons de co-occurrence d'espèces au sein de communautés végétales. La phytosociologie est basée sur le concept d'association végétale défini par

Braun-Blanquet (1928) comme un groupement végétal plus ou moins stable et en équilibre avec le milieu ambiant, caractérisé par une composition floristique déterminée dans laquelle certains éléments exclusifs ou à peu près (espèces caractéristiques) révèlent par leur présence une écologie particulière et autonome. Pour caractériser les associations végétales, les phytosociologues établissent des relevés exhaustifs de la composition floristique sur de petites parcelles homogènes puis comparent statistiquement ces relevés afin d'établir des classifications hiérarchiques ascendantes (voir paragraphes 3.1.1 et 3.1.3). L'évolution du concept d'association végétale a été notamment discutée récemment par Biondi (2011).

Une série de végétation correspond à l'ensemble des associations qui pourraient survenir sur un territoire donné, écologiquement homogène, avec les mêmes conditions physiques (c'est-à-dire le mésoclimat, le type de sol, la géomorphologie), et dont le stade dynamique (par exemple herbacé, arbustif, arboré) dépend des modes de gestion et des événements extrêmes (par exemple les tempêtes) (voir Figure 2.1). Ces successions sériales sont parfois appelées chronoséquences. Les séries de végétation sont nommées d'après leur stade le plus mature (ou tête de série), qui correspond le plus souvent à la végétation naturelle potentielle (VNP). Sous le même mésoclimat et dans des conditions de sol mésiques, la VNP correspond à une seule végétation zonale (série dite climatophile). Dans le cas des sols azonaux, les facteurs édaphiques (par exemple une saturation ou une carence hydrique) induisent des séries de végétation différentes au sein du même mésoclimat, on parle alors de séries édaphophiles. Enfin, dans des conditions écologiques extrêmes (par exemple les falaises, les éboulis ou les dunes mobiles), la succession végétale peut être bloquée et ne jamais atteindre la forêt climacique régionale, il s'agit d'une curtasérie (série limitée à deux ou trois associations) ou d'une permasérie (série avec une seule association).

À l'échelle paysagère, une géosérie est un système de séries de végétation le long d'un gradient environnemental ; les géoséries forment généralement des motifs répétitifs au sein d'une même unité biogéographique. La figure 2.2 montre un exemple de paysage végétal dans les pré-Apennins au centre de l'Italie. La terminologie utilisée pour la phytosociologie dynamique et paysagère est parfois complexe et une partie de la littérature n'est pas disponible en anglais (voir Rivas-Martinez 2005 ; Lazare 2009 et Biondi 2011). Pour aller plus loin, Kent (2012) présente une vue d'ensemble sur la phytosociologie, tandis que Géhu (2006) donne des définitions des concepts et des termes utilisés.

Figure 2.1 Exemple d'une série à *Quercus pubescens* en Italie



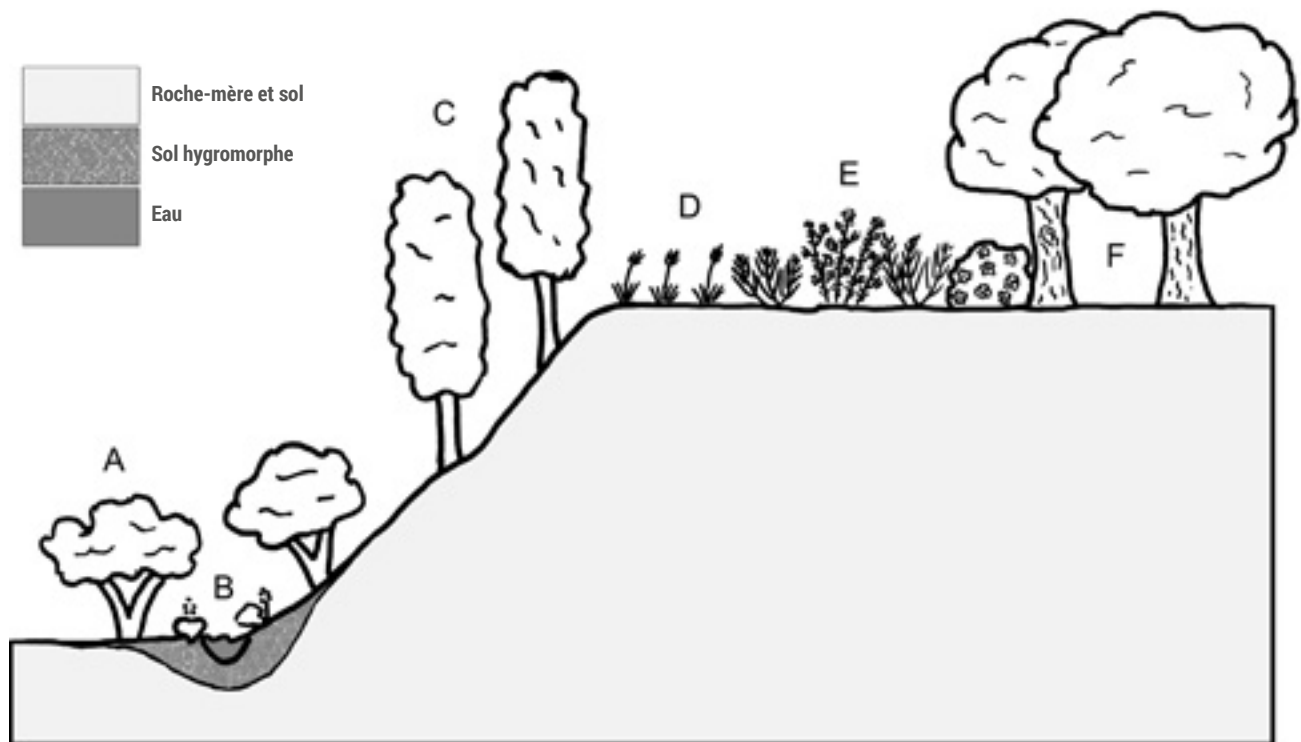
1 : Communauté prairiale à *Clinopodium vulgare* et *Carex flacca*

2 : Fourré : *Junipero communis*-*Pyracanthenum coccineae*

3 : Forêt (tête de série) : *Rosa sempervirentis*-*Quercetum pubescentis*

Source : MNHN, d'après Taffetani (2009)

Figure 2.2 Exemple d'une géosérie en phytosociologie paysagère dans le centre de l'Italie



- A : *Aro italici-Alno glutinosae sigmetum* (série sur sol hygromorphe dite série édaphohygrophile)
- B : *Petasitetum hybridi* (communauté herbacée riveraine de la série A)
- C : *Fraxino excelsioris-Acer obtusati rusetosum hypoglossi sigmetum* (série de forêt de pente mésophile)
- D : Groupement à *Clinopodium vulgare* et *Carex flacca* (communauté prairiale de la série F)
- E : *Junipero communis-Pyracanthetum coccineae* (fourré à Genévrier commun et Buisson ardent de la série F)
- F : *Roso sempervirentis-Quercetum pubescentis sigmetum* (série de sommet de colline sur substrat sec dite série édaphoxérophile)

Source : MNHN, d'après Taffetani (2009)

2.3. Les principaux types de cartographie de la végétation

Il existe de nombreux types de cartes de la végétation, répondant à des objectifs divers. Tout d'abord, les cartes peuvent mettre en évidence différentes caractéristiques des communautés végétales : leur composition floristique, leur structure, leur écologie (ou synécologie), leurs relations dynamiques (ou syndynamique) ou leur distribution géographique (ou synchorologie). Chacun de ces aspects de la végétation peut être représenté de manière différente sur une carte. Deuxièmement, les cartographies varient en fonction de l'échelle utilisée et du choix des unités de végétation représentées sur la carte. Enfin, une carte de la végétation dépend des conceptions théoriques des différentes écoles géobotaniques qui influent sur la manière d'interpréter, de classifier et de représenter les communautés végétales.

Pour ces raisons notamment, les typologies cartographiques utilisées par les auteurs peuvent varier de manière importante : chaque auteur est influencé par différents critères et met l'accent sur certains aspects de la carte au détriment d'autres. Dans cette section, nous ne présentons que les principaux types de cartes de la végétation. La question des classifications de la végétation sera discutée en section 3.1. Les catégories de cartes de la végétation énumérées ci-après tiennent compte de l'évolution de la pensée géobotanique depuis le milieu du 19^e siècle. Les cartes considérées comme « fondamentales » sont listées en premier : elles font référence aux classifications de la végétation et représentent donc le point de départ pour la production d'autres types de cartes (par exemple, les cartes dynamiques ou les cartes phytoécologiques).

En suivant Pedrotti (2013), les principaux types de carte de la végétation sont listés ci-après.

2.3.1. Les cartes physionomiques

Les cartes physionomiques illustrent la structure physique des formations végétales (forêts, fourrés, prairies, etc.) sur la base des principales formes de croissance (arborées, arbustives, herbacées, etc.) des espèces dominantes. Les cartes produites illustrent la végétation de manière générique, comme les forêts de feuillus, les forêts de conifères, les formations sclérophylles, etc.

2.3.2. Les cartes phytosociologiques

Les cartes phytosociologiques représentent les associations végétales et les séries de végétation. On peut distinguer différents niveaux d'intégration et donc de représentation cartographique (voir les figures 2.3 et 2.4). Il est également possible de distinguer des sous-catégories de cartes phytosociologiques, en particulier les cartes phytosociologiques représentant la végétation actuelle (c'est-à-dire basées sur les unités syntaxonomiques), les cartes phytosociologiques intégrées (c'est-à-dire les cartes de séries de végétation, également appelées *sigmeta* ou sigmassociations) et les cartes phytosociologiques de végétation potentielle (c'est-à-dire les cartes des unités syntaxonomiques climaciques). Les cartes des géoséries ne sont pas considérées comme des cartes de végétation au sens strict, mais plutôt comme des cartes de grands complexes de végétation à l'échelle paysagère (voir Figure 2.2 Exemple d'une géosérie en phytosociologie paysagère dans le centre de l'Italie).

2.3.2.1. Les cartes phytosociologiques de végétation actuelle

Les cartes phytosociologiques de végétation actuelle représentent la végétation observée au moment de la cartographie sur le terrain. Ces cartes montrent la répartition spatiale des unités de végétation correspondant à différents niveaux hiérarchiques de la classification phytosociologique (syntaxa), à savoir les associations, sous-associations, variantes, faciès, alliances, ordres et classes ; ce sont les cartes phytosociologiques dites classiques.

2.3.2.2. Les cartes phytosociologiques intégrées

Les cartes phytosociologiques intégrées, également nommées cartes symphytosociologiques, représentent les séries de végétation (ou *sigmeta*, sigmassociations, synassociations selon les concepts de Tüxen (1979), Rivas-Martínez (1985) et Géhu (1991)). En termes de cartographie, elles consistent à représenter l'ensemble des associations qui composent la série de végétation. Cette cartographie est différente de la catégorie suivante (voir 2c) qui se limite à la représentation de l'association tête de série ou communauté terminale.

2.3.2.3. Les cartes phytosociologiques de végétation potentielle

Ces cartes se réfèrent au concept de végétation potentielle naturelle (VPN) de Tüxen (1956), redéfinie par Westhoff et van der Maarel (1973) comme la végétation finale (communauté terminale) qui se développerait en un lieu donné si toutes les influences humaines sur le site et ses environs immédiats s'arrêtaient, et si le stade terminal devait être atteint en une fois. Plus récemment, la définition de la VPN a été complétée par Kowarik (1987) qui a mis l'accent sur l'influence des changements anthropiques irréversibles. Leuschner (1997) va plus loin et a approfondi la dimension temporelle, en proposant une notion de végétation potentielle adaptée à un certain type d'habitat. Le concept de VPN a souvent été discuté et parfois critiqué, voir notamment Jackson (2013) et Mucina (2010). La notion de végétation potentielle dépend également fortement des modifications au niveau du sol liées aux successions végétales. De nombreuses cartes biogéographiques en Europe (voir carte 5.2) et dans le monde (Miyawaki *et al.*, 1989) sont basées sur la VPN ou des concepts proches (par exemple la végétation naturelle reconstruite, les séries de végétation et les géoséries).

2.3.2.4. Les cartes de dynamique de la végétation

Les cartes de dynamique de la végétation ont pour but d'illustrer les variations temporelles de la végétation, en particulier leur dynamique. Les cartes peuvent être établies selon des critères très divers selon les écoles de pensée. Les cartes des tendances dynamiques de la végétation montrent les processus écologiques des phytocénoses au moment de l'inventaire de terrain. On peut considérer qu'elles représentent l'état dynamique de la végétation. Ces processus dynamiques incluent les notions de fluctuation, de successions primaires et secondaires, de sénescence, de régénération et de régression (Falinski, 1986).

2.3.3. Les cartes de l'état de conservation de la végétation

Les concepts de naturalité, d'hémérobie et d'anthropisation de la végétation sont employés de manière assez variable selon les auteurs. Un exemple de ce type de carte est la carte d'hémérobie des forêts autrichiennes (Grabherr, 1998).

Les figures 2.3 et 2.4 illustrent deux approches pour produire des cartes phytosociologiques de végétation potentielle :

- > l'approche inductive classique, correspondant à une carte phytosociologique intégrée. Elle est basée sur la collecte des données sur le terrain, la classification des données et l'interprétation par des experts ;
- > des méthodes plus récentes combinant des approches inductives et déductives avec des analyses de paysage préalables aux relevés (syn-)phytosociologiques sur le terrain.

Figure 2.3 L'approche inductive de cartographie des séries de végétation

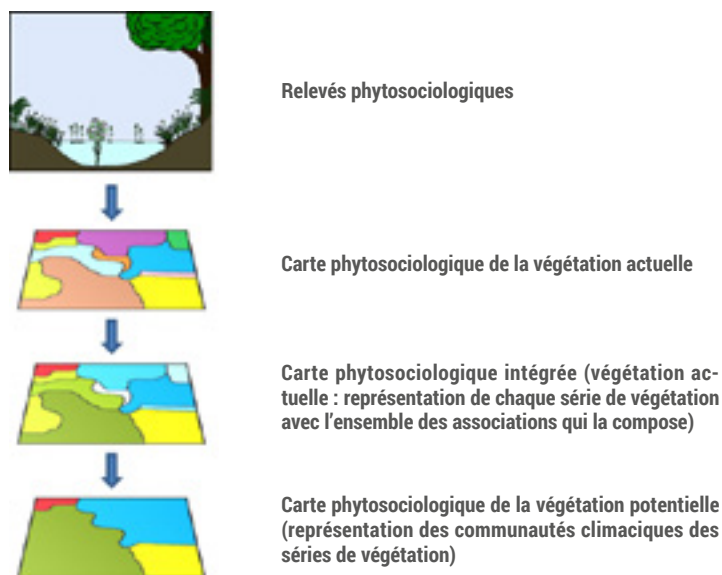
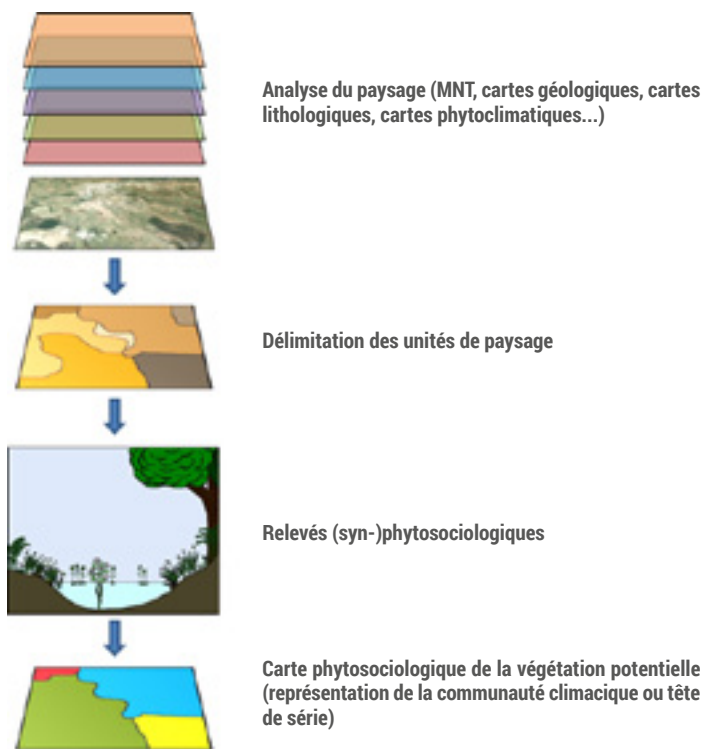


Figure 2.4 Combinaison d'approches inductives et déductives pour la cartographie des séries de végétation



Source : MNHN, d'après Rivas-Martínez, 1985 ; Géhu, 1991 ; Blasi et al., 2005 ; et Pedrotti, 2013.

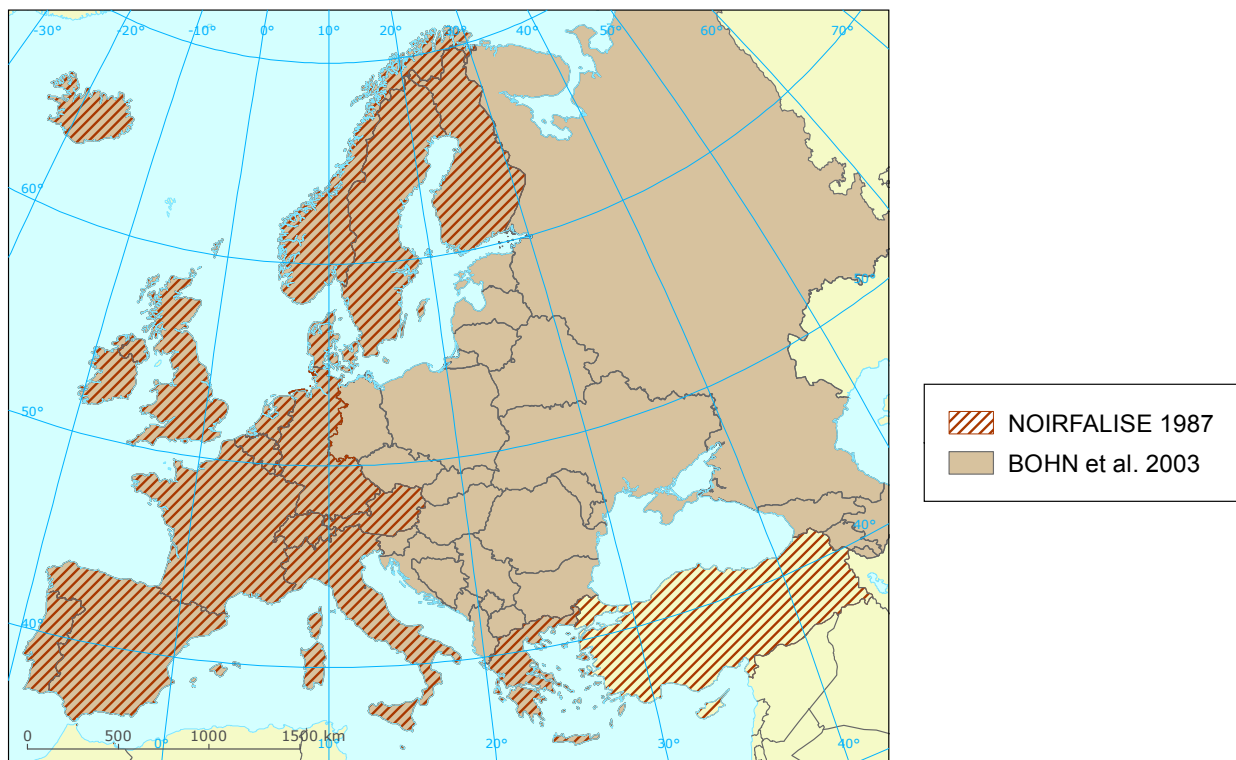
2.4. Les cartes de la végétation de l'Europe

Deux projets de cartographie de la végétation de l'Europe à des échelles intermédiaires (par exemple 1/2 500 000) ont été réalisés sur la base de la VPN telle que définie par Tüxen (1956). La première publication a été réalisée en 1979 pour le Conseil de l'Europe (CdE) à l'échelle du 1/3 000 000 (Ozenda *et al*, 1979) puis mise à jour en 1987 (Noirfalise, 1987). La carte du CdE a pour objectif de représenter la composition et la répartition des végétations naturelles climaciques et édaphiques, réelles ou potentielles. Cette carte a été numérisée par la suite par l'équipe du projet CORINE biotopes.

Le second projet, paneuropéen, a impliqué plus de 100 scientifiques dans 31 pays d'Europe qui ont collaboré à la production de cartes nationales sous un format commun, ainsi qu'à la rédaction de la légende et des textes explicatifs (Bohn *et al.*, 2000-2003). Le résultat est publié sous forme de 9 cartes au 1/2 500 000, d'un CD-ROM interactif et de couches SIG. La légende est constituée de différents niveaux hiérarchiques où les 700 unités cartographiques sont regroupées dans 19 grands types de formations. Chaque unité cartographique est documentée avec des informations sur la composition et la structure des principaux types de végétation naturelle, leur distribution, leur écologie, l'occupation du sol, la structure du paysage, les communautés végétales actuelles et les enjeux en termes de conservation de la nature. Les données associées à la carte comprennent des correspondances vers les classifications nationales ainsi que les végétations de remplacement en fonction des différents modes de gestion, souvent selon la classification phytosociologique (Rodwell *et al.*, 2013).

La couverture des deux cartes est représentée sur la carte 2.1 : la carte de Bohn *et al.* couvre une zone plus large, mais elle n'inclut ni Chypre et ni la Turquie contrairement à la carte Conseil de l'Europe.

Carte 2.1 Couverture des cartes de la végétation naturelle de l'Europe



Source : MNHN, CTE/DB

Le projet de la Carte de la végétation arctique circumpolaire (CVAC) est issu d'une initiative internationale organisée par la Conservation de la faune et de la flore arctique (CFFA), un groupe de travail du Conseil de l'Arctique. L'objectif est de cartographier la végétation et les caractéristiques associées de la région circumpolaire. Des images infrarouges fausses couleurs issues d'un radiomètre avancé à très haute résolution (AVHRR) ont été utilisées comme base cartographique. Une image composite a été créée en sélectionnant les pixels de réflectance maximale à partir de données satellitaires de 1993 et 1995. Au Canada, au Groenland, en Islande, en Norvège, en Russie et aux Etats-Unis, des méthodes de cartographie communes ont permis de compiler des informations sur les zones bioclimatiques, les roches-mères, la géologie de surface, l'acidité du matériau originel, les sols, l'hydrologie, les classifications de la végétation

par télédétection, les Indices de végétation par différence normalisé (NDVI), les études de la végétation existantes, et l'expertise régionale des scientifiques cartographes (CAVM team, 2003). Plusieurs cartes ont été produites, y compris la végétation, les zones bioclimatiques et la biomasse aérienne.

La carte de la végétation utilise une typologie en cinq grandes catégories physiologiques : landes, toundras dominées par les graminées, toundras dominées par des arbustes prostrés, toundras à arbustes dressés et zones humides. Ces catégories sont divisées en 15 unités de cartographie de la végétation qui sont nommées selon les types fonctionnels dominants, à l'exception des zones de montagnes où les complexes de végétation sont nommés selon le substrat rocheux (complexes de montagne carbonatés ou non-carbonatés).

Plus récemment, CFFA a initié un projet international visant à produire une carte de la végétation circumboréale dans le but de produire une carte mondiale du biome de la forêt boréale avec une légende commune (Talbot & Meades, 2011).

2.5. Références clés

- Bohn, U., Neuhäusl, R., Gollub, G., Hettwer, C., Neuhäuslová, Z., & Weber, H. E. (2000-2003). *Karte der natürlichen Vegetation Europas - Maßstab 1: 2.500.000. Teil 1: Erläuterungstext mit CD-Rom; Teil 2: Legende; Teil 3: Karten.* (U. Bohn & R. Neuhäusl, Eds.). Münster: Bundesamt für Naturschutz, Landwirtschaftsverlag.
- Pedrotti, F. (2013). *Plant and vegetation mapping. Geobotany Studies* (pp. 1-294). Berlin/Heidelberg: Springer Verlag.
- Dengler, J., Chytrý, M., & Ewald, J. (2008). Phytosociology. Pages 2767-2779 in Jørgensen S. E. & Fath, B. D. (Eds.). *Encyclopedia of ecology*. Elsevier, Oxford.
- Kent, M. (2012). *Vegetation description and data analysis: a practical approach*. Wiley-Blackwell, Chichester.
- Rivas-Martínez, S. (2005). Notions on dynamic-catenal phytosociology as a basis of landscape science. *Plant Biosystems*, 139(2), 135-144.

3. Les systèmes de classification comme outils pour la cartographie de la végétation

RÉSUMÉ DU CHAPITRE

Toutes les cartes de la végétation ou des habitats sont basées sur un système de classification. Pour la végétation, il s'agit généralement des synsystèmes phytosociologiques, tandis que les classifications d'habitats, plus récentes, ont été produites aux niveaux national, régional et international (par exemple les catalogues des biotopes de République tchèque, les types de végétation nordiques et CORINE Biotopes). Ce chapitre traite des systèmes de classification utilisés pour la cartographie de la végétation et des habitats dans différents pays, ainsi que des initiatives en cours pour une harmonisation à l'échelle européenne. La classification des habitats EUNIS, proposée comme une norme européenne dans le cadre de la directive INSPIRE de l'UE (directive 2007/2/CE), est également présentée ainsi que ses correspondances avec d'autres typologies. Enfin, ce chapitre traite des typologies d'habitats employées pour les suivis, les approches statistiques et la modélisation de la distribution des habitats utilisés dans le cadre des projets BioHAB et EBONE.

3.1. Les systèmes de classification basés sur la caractérisation des communautés végétales

3.1.1. L'approche phytosociologique pour la classification de la végétation

Le siècle dernier a vu apparaître un corpus très important de littérature phytosociologique avec différentes classifications de la végétation à travers l'Europe et au-delà, ainsi qu'une variété d'écoles de pensée: par exemple l'école nordique (Uppsala) et celle de Braun-Blanquet (Zurich-Montpellier). Comme souligné au chapitre 7.8, l'école nordique a été développée dans une région à relativement faible diversité spécifique, où le concept de fidélité est plus difficilement applicable et où les espèces dominantes et les formes de vie sont plus importantes pour la classification des communautés végétales (Becking, 1957; Lawesson, Diekmann & Eilertsen, 1997). À certains égards, l'approche développée par Poore et McVean en Ecosse combine certains aspects de ces deux écoles (Poore & McVean, 1957; McVean & Ratcliffe, 1962). L'approche Braun-Blanquet, dite 'Sigmatiste' (d'après la Station internationale de géobotanique méditerranéenne et alpine, le laboratoire de Braun-Blanquet), est devenue dominante au cours des dernières années. Néanmoins la délimitation des types de végétation reste controversée et incomplète en raison d'un certain nombre de contraintes théoriques et méthodologiques (voir, par exemple, Ewald 2003, Mucina 1997 et Pignatti 1990).

Sur le même modèle que les espèces, il existe des règles formelles pour nommer les associations végétales et les organiser au sein d'unités syntaxonomiques supérieures (comparables aux familles, genres et espèces). Le système hiérarchique des syntaxa régi par le Code international de nomenclature (Weber *et al.*, 2000) est basé sur quatre niveaux principaux: l'association, l'alliance, l'ordre et la classe. De nombreux auteurs reconnaissent également des sous-rangs (par exemple la sous-association ou la sous-alliance). Cette approche est résumée dans le tableau 3.1.

Tableau 3.1 L'approche phytosociologique de la classification de la végétation

Niveau	Suffixe	Exemple	Description
Classe	-etea	<i>Quercus robur</i> -Fagetea sylvaticae Br.-Bl. & J. Vlieger in J. Vlieger 1937	Forêts mésophiles d'Europe tempérées, d'Anatolie, du Caucase et de Sibérie méridionale
Ordre	-etalia	<i>Fagetalia sylvaticae</i> Pawlowski in Pawlowski et al. 1928	Forêts caducifoliées collinéennes et montagnardes, acidiclinales à calcicoles d'Europe
Alliance	-ion	<i>Fagion sylvaticae</i>	Hêtraies et hêtraies-sapinières acidiclinales à calcicoles d'Europe occidentale, centrale et nordique
Association	-etum	<i>Festuca altissimae</i> - <i>Abietetum albae</i> Rivas Mart. 1968	Hêtraies-sapinières à <i>Festuca altissima</i> des Vosges (France)

Source : d'après Mucina et al. (en prép.) et Gégout et al. (2007)

3.1.2. Initiatives vers une harmonisation des classifications de la végétation en Europe

Bien que les approches phytosociologiques soient les plus communément employées en Europe, certains pays utilisent d'autres approches de classification de la végétation comme illustré au chapitre 7.

Afin d'obtenir un niveau d'homogénéité acceptable, *European Vegetation Survey* (EVS) (voir encadré p. 23) a proposé une première synthèse des unités de végétation en Europe au niveau des alliances (928), des ordres (233) et des classes (80). *The diversity of European vegetation* (Rodwell et al., 2002) a été publié avec le soutien du Centre national de référence néerlandais pour l'agriculture, la nature et la pêche. Ce document a fourni un cadre pragmatique pour la description des unités syntaxonomiques avec des correspondances vers la classification des habitats EUNIS.

Depuis quelques années, une révision importante de la synthèse des alliances phytosociologiques a été réalisée par un groupe d'experts de l'EVS sous la direction de L. Mucina. Le projet *EuroVegChecklist* (Mucina et al., en prép.) est une version mise à jour, complétée sur le plan syntaxonomique et géographique, et comprenant une vaste synonymie. Il synthétise 1028 alliances, 276 ordres et 80 classes de végétation, dont certaines inédites. Comme pour la publication précédente, l'important travail de synonymie permet d'explorer différents noms, statuts et niveaux syntaxonomiques.

Encadré 3.1 - European Vegetation Survey, un nouvel esprit pour la science de la végétation en Europe

European Vegetation Survey (EVS) est un groupe de travail de l'Association internationale pour la science de la végétation (IAVS), initié en 1992 et réunissant des phytoécologues intéressées par l'étude et la classification de la végétation en Europe et au-delà.

Les objectifs de l'EVS sont les suivants :

- › élaborer des standards de données pour la production d'information phytosociologique ;
- › encourager les programmes nationaux d'inventaire et de suivi de la végétation à travers l'Europe et au-delà ;
- › développer des logiciels et un réseau d'échange de données sur la végétation ;
- › produire une synthèse des végétations d'Europe ;
- › organiser des rencontres scientifiques ;
- › encourager les collaborations internationales de recherche pour l'étude et le suivi de la végétation ;
- › soutenir les publications sur les concepts, les méthodes et les résultats d'inventaires de la végétation.

Plus d'information sur l'EVS disponible sur le site web <http://euroveg.org/>



3.1.3. Les bases de données de relevés de végétation : état de l'art et perspectives

Les parcelles d'échantillonnage de la végétation (communément appelées relevés) représentent la source la plus vaste et la plus importante de données de terrain sur la végétation en Europe. Ces relevés constituent la base du système hiérarchique de la classification phytosociologique de la végétation. Ils ont ainsi contribué à compléter les inventaires et les cartographies de sites ainsi que les synthèses des végétations aux niveaux régional et national.

Diverses enquêtes, en particulier dans le cadre de l'EVS, ont fourni un aperçu de l'évolution du nombre de relevés de végétation à travers l'Europe au cours des 90 dernières années (Rodwell, 1995 ; Ewald, 2001 ; Schaminée *et al.*, 2009). Les dernières estimations (basées sur des données provenant de 32 pays) suggèrent que plus de 4,3 millions de descriptions de la végétation ont été enregistrées. La plupart de ces relevés se trouvent dans les pays d'Europe centrale et occidentale, en particulier l'Allemagne, la France et les Pays-Bas, mais un nombre très important de relevés a également été estimé pour la République tchèque, l'Espagne, l'Italie, l'Autriche, la Pologne et le Royaume-Uni (Schaminée *et al.*, 2009).

Le développement d'outils informatiques compatibles, un des objectifs centraux de l'EVS, a grandement favorisé le développement de bases de données nationales et régionales sur la végétation. Cela a favorisé la création de réseaux d'échanges de données, facilité les collaborations scientifiques et accompagné l'émergence de synthèses et de révisions des végétations au niveau supranational au cours des 20 dernières années. Le logiciel majeur pour le développement de base de données, TURBOVEG (Hennekens & Schaminée, 2001), est désormais accepté comme une norme internationale pour la saisie, le stockage, la gestion et la récupération de données. Il est utilisé dans plus de 30 pays en Europe et dans le monde (Schaminée & Hennekens, 1995). En complément à TURBOVEG, le logiciel JUICE (Tichý, 2002) a ajouté un large éventail d'outils d'analyse de jeux de données pouvant comprendre des milliers de relevés.

Schaminée *et al.* (2009) ont montré que plus de 1,8 million de relevés avaient déjà été numérisés, dont 75% se trouvent dans des bases de données centralisées au niveau national ou régional. Parmi tous les relevés stockés, 59% sont disponibles au format TURBOVEG. D'autres projets d'envergure ont été initiés par des membres de l'EVS pour localiser et récupérer des relevés de végétation, et centraliser le stockage de ces données. L'Index global des bases de données de végétation (GIVD, *Global Index of Vegetation-Plot Databases*) (Dengler *et al.*, 2011) a été développé afin de fournir une méta-ressource sur les bases de données dont les gestionnaires sont, en principe, disposés à partager les données stockées. À ce jour, 83 bases de données européennes, couvrant plus de 1,6 millions de relevés ont été enregistrées. La plate-forme GIVD a également contribué à mettre en évidence des lacunes dans la distribution et/ou la disponibilité des relevés de végétation. Une autre initiative récente, EVA est une base de données centralisée de relevés phytosociologiques dans laquelle des données de République tchèque, d'Allemagne, d'Italie, des Pays-Bas, d'Autriche, de Pologne, de Slovaquie, de République tchèque, de Slovaquie, du Royaume-Uni et de certains pays nordiques et baltes ont déjà été intégrées (Chytrý *et al.*, 2012). Dans cette archive, chaque relevé est associé à un identificateur mondial unique (GUID, Global Unified Identifier), et un contrôle de version sera mis en place pour dater les mises à jour.

Encadré 3.2 - Étude de cas : VegItaly

VegItaly (<http://www.vegitaly.it>) est un projet à long terme coordonné par la Société italienne pour la science de la végétation (SISV) et la Société botanique italienne (SBI). Il permet la compilation de données recueillies par des chercheurs utilisant différentes approches. VegItaly fait partie du projet GIVD (www.givd.info/ID/EU-IT-001) et reprend la définition de base de données de la végétation proposée par le GIVD et le groupe de travail Éco-informatique de l'Association internationale de la science de la végétation (Schaminée *et al.*, 2009 ; Dengler *et al.*, 2011 ; Venanzoni *et al.*, 2012). Il apporte ainsi une base solide à la recherche scientifique.

VegItaly a été conçu et développé comme un sous-projet de l'initiative *open-source* 'anArchive for Botanical Data' (www.anarchive.it), une géodatabase en ligne de gestion des données floristiques et sur les végétations (Venanzoni *et al.*, 2012). Le projet anArchive, initié en 2000, a pour objet la gestion des herbiers et des données floristiques des universités de Pérouse, Sienne et Camerino (Panfili *et al.*, 2004). Plus tard, le besoin de disposer d'un système intégré de synthèse des données floristiques et phytosociologique à l'échelle nationale pour l'inventaire et le suivi de la biodiversité a conduit à l'élaboration de la base de données VegItaly. Plusieurs améliorations structurelles et applicatives ont permis d'élargir les champs d'applications pour les utilisateurs et de faciliter les requêtes (Gigante *et al.*, 2012). Un nombre croissant d'universités ont rejoint le projet (Landucci *et al.*, 2012).

Vegltaly est également l'un des membres fondateurs du projet EVA (voir <http://euroveg.org/eva>), une initiative récente de l'EVS (Chytrý *et al.*, 2012).

Principaux objectifs et avantages

Les objectifs du projet sont de :

- › construire une base de données nationale des végétations intégrant des données historiques et actuelles, publiées ou non ;
- › établir des normes pour la collecte et l'archivage de données compatibles avec les standards nationaux et internationaux ;
- › créer une base robuste pour les recherches syntaxonomiques, synécologiques et géobotaniques, en particulier les classifications de la végétation à grande échelle, les analyses statistiques, spatiales et temporelles de données floristiques et de la végétation pour le suivi des changements environnementaux et des écosystèmes ;
- › faciliter le partage de données et les comparaisons entre pays européens ;
- › créer une interface web pour la consultation et la diffusion des données.

Une base de données nationale des végétations est un instrument fondamental pour l'amélioration de la recherche en sciences de la végétation. Les grandes bases de données permettent la production de synthèses et d'études sur de vastes zones géographiques, et ouvrent les portes à des coopérations scientifiques nationales et internationales.

Le respect des standards en matière de collecte et de stockage des données est un facteur important pour le partage des données au niveau national et international, pour la création d'infrastructures communes et pour faciliter l'application de politiques communes comme prévu par la directive européenne INSPIRE.

Organisation et détails techniques

Vegltaly utilise un logiciel et des applications open-source. Il dispose d'un serveur Web pour le chargement de données, d'applications client pour le stockage et la gestion de données, et d'une interface web pour la visualisation, l'exploration et l'extraction de données. L'accès et la consultation de la base de données sur internet sont gratuits pour les données publiques, tandis que la récupération et l'utilisation des données sont régies par des règles fixées par les propriétaires des données.

Situation actuelle et perspectives

À l'heure actuelle, Vegltaly intègre les données de 18 universités italiennes et comprend environ 31 100 relevés de végétation publiés (74%) et non publiés (26%). Les types de végétation herbacés (56%), forestiers (35%) et arbustifs (6%) sont les plus représentés. Malgré l'augmentation continue du nombre de relevés, les données actuellement stockées dans la base de données sont encore incomplètes et ne représentent pas l'ensemble des types de végétation d'Italie. En outre, de nouvelles fonctionnalités et des améliorations seront bientôt disponibles, par exemple la représentation cartographique des données en ligne et l'exportation dans un format commun pour faciliter les échanges de données avec d'autres bases régionales, nationales et internationales (Wiser *et al.*, 2011 ; Martellos *et al.*, 2011).

3.2. Les classifications basées sur les concepts d'habitat et de biotope

Traditionnellement, les cartes publiées représentent la végétation, généralement définie par la composition spécifique ou la physionomie. De plus en plus, en particulier depuis l'entrée en vigueur en 1992 de la directive communautaire Habitats, les cartes produites sont basées sur les concepts d'habitat et de biotope.

Les typologies basées sur la classification phytosociologique sont strictement définies par les communautés végétales, tandis que les types d'habitats ou de biotopes tiennent compte des caractéristiques géographiques, abiotiques et biotiques. Selon les résultats de notre enquête (voir chapitre 4), le terme biotope est utilisé comme synonyme d'habitat en Europe centrale.

L'approche développée par les projets BioHAB et EBONE est basée sur les formes de vie des végétaux pour produire des classes générales d'habitats (CGH, *General Habitat Classes*, voir section 3.2.2). L'objectif est de réaliser des échantillonnages statistiquement robustes afin de mieux connaître la répartition des habitats.

3.2.1. Habitat et biotope : concepts et définitions

Le terme habitat est largement employé, mais il en existe de nombreuses interprétations parfois contradictoires notamment parce que cette notion est utilisée dans contextes différents avec des significations différentes. Dans le cadre des politiques de conservation de la nature, il désigne des zones ayant une certaine composition spécifique (faune et flore) et des facteurs physiques associés (par exemple, le climat et le type de sol), comme par exemple CORINE biotopes, les classifications EUNIS et des habitats du Paléarctique. C'est également le sens utilisé par la directive communautaire Habitats.

En écologie, cependant, le terme habitat était traditionnellement défini comme l'étendue spatiale d'une ressource pour une espèce particulière. La notion d'habitat au sens strict est explicitement liée à une espèce ou à un groupe d'espèces qui partagent les mêmes exigences environnementales et écologiques. Les termes biotope et écosystème sont également parfois utilisés dans des contextes similaires dans la littérature. La signification scientifique du terme habitat a évolué depuis des définitions vagues et larges jusqu'à des descriptions précises et étroites, comme le montrent les définitions suivantes (Bunce *et al.*, 2013).

Un habitat est :

- > un lieu ou un espace de vie, où vit un organisme ;
- > un endroit où une espèce vit habituellement, souvent décrit en termes de facteurs physiques tels que la topographie ou l'humidité du sol et par les formes dominantes associées, par exemple, les mares résiduelles de la zone intertidale ;
- > un espace comprenant un ensemble de ressources, de consommables et de services pour le maintien d'un organisme. Les ressources se trouvent à la jointure et/ou à l'intersection, et les liens entre les ressources sont établis par les déplacements de l'organisme.

Ces définitions sont essentiellement théoriques et descriptives. Le concept d'habitat est apparu avec la notion de biome décrite par les biogéographes classiques du 19^e siècle comme Von Humboldt (Von Humboldt & Bonpland, 1807). Leurs cartes ont illustré les principaux biomes à travers le monde (par exemple, les déserts, la toundra et la forêt tropicale), et étaient basées sur une combinaison entre la végétation observée et le climat.

Au début du 20^e siècle, Raunkiær (1904) a formalisé les structures de végétation en utilisant les types biologiques des végétaux afin de définir les régions en fonction de leur végétation réelle plutôt que par le climat.

Au début du 20^e siècle, la discipline de la science de la végétation a mis en évidence que les plantes forment des assemblages reconnaissables - ce qui a conduit à l'émergence de la science de la phytosociologie (Braun-Blanquet, 1932). Celle-ci a été ensuite adaptée pour la cartographie de la végétation (Küchler & Zonneveld, 1988). Récemment, Bunce *et al.* (2008) ont adapté les principes développés lors de l'inventaire des milieux naturels et semi-naturels de Grande-Bretagne (Countryside survey) pour la cartographie des habitats européens et ont fourni des règles pour l'attribution à un patch donné d'une classe d'habitat à une échelle définie. Bunce *et al.* (2008) définissent l'habitat comme *une portion de territoire pouvant être défini de manière constante sur le terrain afin de définir l'environnement principal dans lesquels vivent des organismes*. Geijzenborffer et Roche (2013) ont testé si ce système peut être utilisé en tant que variable pour les indicateurs de biodiversité et des services écosystémiques. Ceci est en droite ligne avec l'utilisation croissante de la notion de services écosystémiques, bien que les échelles d'application ne soient pas toujours les mêmes (Fisher *et al.*, 2009).

Au sens de la directive Habitats, les habitats naturels sont définis comme des *zones terrestres ou aquatiques qui se distinguent par leurs caractéristiques géographiques, abiotiques et biotiques, qu'elles soient naturelles ou semi-naturelles*. Les habitats pour lesquels des sites Natura 2000 doivent être désignés sont énumérés à l'annexe I de la directive Habitats et décrits dans le Manuel d'interprétation des habitats de l'Union européenne (Commission européenne, 2013). Bien que le manuel d'interprétation décrive les habitats listés en annexe de la directive, un certain nombre de problèmes persistent pour l'identification sur le terrain de certains types d'habitats, et par conséquent pour le choix des sites, l'évaluation des listes nationales des sites proposés et les suivis. Certains de ces problèmes sont dus à des mauvaises définitions des types d'habitats, parfois liées à des chevauchements entre habitats, d'autres à des erreurs dans la classification Paléarctique ou dans la base de données associée, PHYSIS (Evans, 2006). Cela a conduit à des différences d'interprétation entre les pays et les régions (voir paragraphe 3.3.2). L'annexe I de la directive est une sélection d'habitats issue de plusieurs classifications et n'est pas une classification en soi.

Bien que la version initiale de l'annexe I de 1992 ait été basée sur la classification CORINE Biotopes, environ 60% des types d'habitats en annexe I sont clairement liés à un ou plusieurs syntaxa phytosociologiques. L'annexe I a été adaptée au fil du temps en raison de l'élargissement de l'Union européenne de 12 à 28 États membres. À chaque élargissement de l'UE, des habitats ont été ajoutés et, le cas échéant, la description des habitats existants modifiée (Evans *et al.*, 2013).

Encadré 3.3 - Les classifications CORINE Biotopes, des habitats du Paléarctique et EUNIS

La classification CORINE Biotopes a été publiée en 1991 (Devillers, Devillers-Terschuren & Ledant, 1991) dans le cadre du projet CORINE biotopes qui vise à identifier et décrire les habitats d'importance majeure pour la conservation au sein de la Communauté européenne (comprenant alors que 12 États membres). Il s'agit d'un système de classification hiérarchique destiné à couvrir tous les types d'habitats, mais avec un focus sur les habitats naturels et semi-naturels et une couverture limitée des types d'habitats marins. Bien qu'il soit clairement basé sur des classifications phytosociologiques, CORINE Biotopes inclut également d'autres facteurs tels que la géographie, le climat et le sol, et couvre plusieurs types d'habitats non végétalisés (par exemple, les glaciers et les tunnels de lave). La version originale de l'annexe I de la directive Habitats de l'UE publiée en 1992 est une sélection issue de la classification CORINE biotopes (Evans, 2010).

CORINE Biotopes a été étendu à toute l'Europe grâce à la classification des habitats du Paléarctique (Devillers & Devillers-Terschuren, 1996) financée par le Conseil de l'Europe. Une description de chaque type d'habitat ainsi que les correspondances vers les syntaxa sont disponibles dans la base de données associée, PHYSIS. Bien que la classification des habitats du Paléarctique ait permis d'étendre la couverture géographique, la prise en compte des habitats marins est restée insuffisante et elle ne propose pas de critères permettant de distinguer de manière fiable des types d'habitats proches.

En 1995, l'AEE, à travers le Centre thématique européen pour la conservation de la nature (prédécesseur du CTE/BD), a commencé à travailler sur la classification des habitats EUNIS (Davies & Moss, 1999 ; Davies, Moss & Hill, 2004). L'objectif d'EUNIS est de disposer d'une classification hiérarchique exhaustive des habitats terrestres, d'eau douce et marins pour l'ensemble de l'Europe ainsi que pour les îles et les mers associées. Des clés de détermination sont proposées pour les trois premiers niveaux de la classification (quatre pour les habitats marins) et des correspondances vers d'autres classifications ont été développées, notamment vers les classifications nationales et régionales et vers les syntaxa au niveau alliance (voir section 3.3). L'usage de la classification des habitats EUNIS est désormais répandu parmi les praticiens et les décideurs de l'environnement à travers l'Europe et il constitue un outil de normalisation important pour l'AEE et les pays membres.

La directive européenne INSPIRE, dont l'objectif est de rendre compatibles les données et les applications spatiales de différentes sources à travers l'Europe, propose la classification des habitats EUNIS comme référence commune pour les habitats.

3.2.2. Caractérisation des habitats à des fins statistiques et de suivi

Les catégories générales d'habitats (General Habitat Categories ou GHC) ont été élaborées dans le cadre des projets BIOHAB et EBONE financés par l'UE. L'approche a été testée en Europe mais également en contexte méditerranéen hors Europe et en milieu désertique. Elle a été appliquée avec succès lors d'inventaires de terrain et pour associer des données issues de la télédétection avec des données *in situ*. Étant donné que les habitats sont une clé d'entrée pour appréhender les actions en faveur de la biodiversité et les variables liées à des changements environnementaux, une approche intégrée entre le terrain et la télédétection est considérée comme importante.

L'utilisation des GHC permet d'obtenir une bonne corrélation entre les catégories issues de la télédétection et les données de terrain sur les habitats. En télédétection, la caractérisation des différents habitats est liée aux propriétés spectrales des formes de vie végétales et non végétales. Au-delà de la reconnaissance des habitats en tant que tels, cette approche comporte un certain nombre d'avantages pratiques pour le suivi :

- > les photographies aériennes, en particulier infrarouges, peuvent être utilisées pour estimer l'étendue de l'habitat et de son évolution dans le temps (par exemple, Stahl *et al.* 2011);
- > les données issues d'images satellites peuvent être associées à des cartes d'habitats *in situ* à des niveaux d'intégration plus grands (par exemple Mùcher, 2009; et Vanden Borre *et al.* 2011; voir section 5.6);
- > des relations peuvent être établies entre les habitats et des assemblages spécifiques d'espèces ou de taxons d'importance particulière pour la biodiversité (par exemple, Petit & Usher, 1998);
- > les données sur les habitats peuvent être associées à des évolutions temporelles à l'échelle du paysage et à des assemblages de végétation, comme décrit par Haines-Young *et al.* (2007);
- > les protocoles utilisés pour intégrer les données d'habitat pour cinq grands programmes nationaux de surveillance à travers l'Europe sont maintenant disponibles (Bunce *et al.*, 2012). D'autres pourraient également être développés pour d'autres études.

3.3. Les correspondances entre typologies et les difficultés d'interprétation

3.3.1. Les correspondances entre typologies: usages et limites

Bien qu'il existe de nombreuses classifications d'habitats, il est généralement possible d'obtenir des correspondances, souvent présentés sous forme de tableaux. Malheureusement, les liens proposés sont souvent de plusieurs à plusieurs (n-n) plutôt que de un pour un (1-1). Le tableau 3.2 présente un extrait de tableau de correspondance de l'annexe I de la directive Habitats vers la classification des habitats EUNIS. Ces relations peuvent être décrites et le site EUNIS¹ utilise une série de symboles décrits par la figure 3.1.

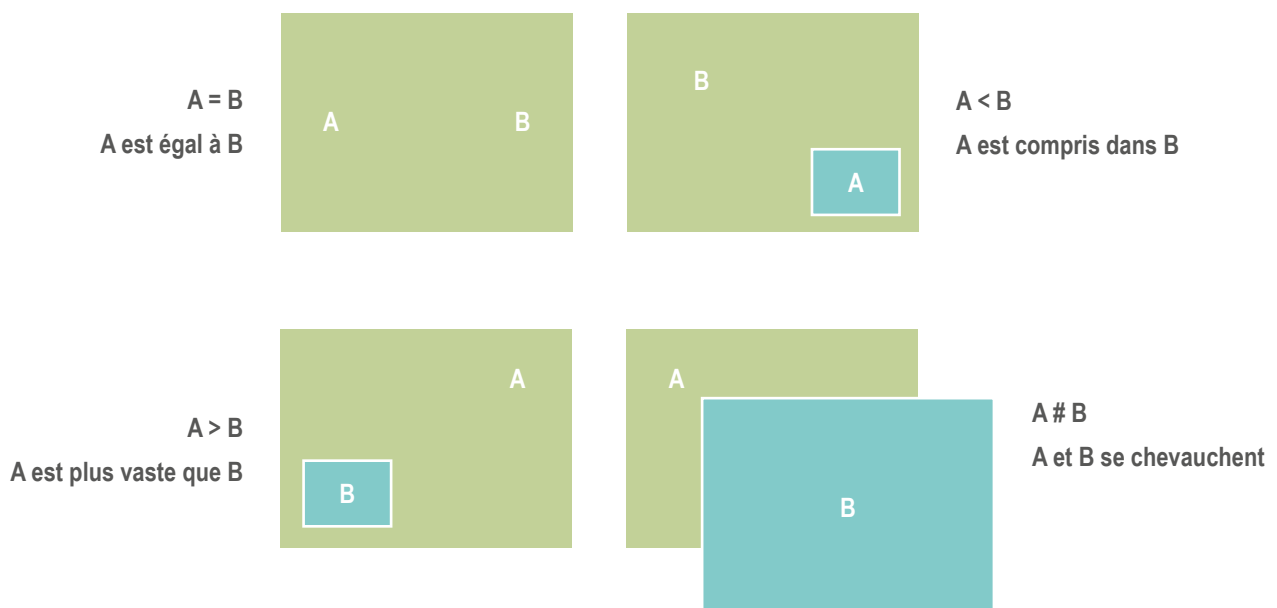
Les correspondances peuvent aider aux interprétations entre différentes classifications d'habitats, mais elles doivent être utilisées avec précaution. Dans de nombreux cas, il est plus simple de définir une correspondance fiable au niveau régional ou national qu'au niveau européen. Par exemple, l'habitat EUNIS G3.4 « Pinèdes à *Pinus sylvestris* au sud de la taïga » peut correspondre à six habitats de l'annexe I (et également à plusieurs types de forêts non couverts par l'annexe I), mais en Écosse, il ne peut être identifié qu'à l'habitat 91C0 « Forêt Calédonienne ».

1. Voir <http://eunis.eea.europa.eu/habitats.jsp>

Tableau 3.2 Extrait du tableau de correspondance entre l'annexe I de la directive Habitats et la classification des habitats EUNIS

Habitats de l'annexe I	Type de relation (voir Figure 3.1)	Habitat EUNIS
9050 Forêts fennoscandiennes à <i>Picea abies</i> riches en herbes	<	G3.A Taïga à <i>Picea</i>
	#	G3.A2 Taïga occidentale à <i>Picea</i> et à fougères
	>	G3.A3 Taïga occidentale à <i>Picea</i> et à herbes basses
	>	G3.A4 Taïga occidentale à <i>Picea</i> et à herbes hautes
9070 Pâturages boisés fennoscandiens	#	X09 Bois pâturés (avec une strate arborée recouvrant le pâturage)
9080 Bois marécageux caducifoliés de Fennoscandie	<	G1.5 Forêts marécageuses de feuillus sur tourbe acide
	#	G1.51 Boulaies à sphaignes
	#	G1.52 Aulnaies marécageuses sur tourbe acide
9110 Hêtraies du <i>Luzulo-Fagetum</i>	<	G1.6 Hêtraies
	=	G1.61 Hêtraies acidophiles médio-européennes
9120 Hêtraies acidophiles atlantiques à sous-bois à <i>Ilex</i> et parfois à <i>Taxus</i> (<i>Quercion robori-petraeae</i> ou <i>Ilici-Fagenion</i>)	<	G1.6 Hêtraies
	=	G1.62 Hêtraies acidophiles atlantiques
9130 Hêtraies de l' <i>Asperulo-Fagetum</i>	<	G1.6 Hêtraies
	=	G1.63 Hêtraies neutrophiles médio-européennes
9140 Hêtraies subalpines médio-européennes à <i>Acer</i> et <i>Rumex arifolius</i>	<	G1.6 Hêtraies
	=	G1.65 Hêtraies subalpines médio-européennes

Figure 3.1 Types de relations possibles entre différentes classifications d'habitat et symboles utilisés par le site web EUNIS



Encadré 3.4 - Les correspondances entre European vegetation survey (EVS) et EUNIS

Le développement de la classification des habitats EUNIS a représenté une opportunité fournir une correspondance solide sur le plan scientifique entre les types d'habitats reconnus au niveau européen et les définitions phytosociologiques des types de végétation. Grâce au financement du CTE/DB de l'AEE, une équipe d'EVS a développé un tableau de correspondances entre les unités phytosociologiques au niveau de l'alliance et les habitats EUNIS au niveau 3. Une publication sur le contexte scientifique de la classification des habitats EUNIS (Rodwell *et al.*, 1998) propose un aperçu complet des types de végétation européens au niveau de l'alliance, accompagné de brèves définitions de ces unités et des correspondances entre EUNIS et les syntaxa. Les fichiers de référence établis par EVS ont également fourni une synonymie partielle et une bibliographie pour les unités phytosociologiques. Rodwell *et al.* (2002) ont inclus les correspondances depuis les syntaxa vers les habitats EUNIS au niveau 3 ainsi qu'une introduction au contexte et à l'application de ce travail. Le site web d'EUNIS² a utilisé les correspondances pour montrer à quelles alliances phytosociologiques étaient liées les différentes classes EUNIS.

Avec l'élaboration de l'*EuroVegChecklist* (Mucina *et al.*, en prep.), les correspondances entre les alliances et les habitats EUNIS au niveau 3 sont en cours de révision par le CTE/DB en collaboration avec une équipe d'EVS. Après publication celles-ci seront mises en œuvre dans l'application SynBioSys Europe (système biologique syntaxonomique), une initiative d'EVS coordonnée par Alterra aux Pays-Bas. SynBioSys propose différents niveaux d'intégration biologique (Schaminée *et al.*, 2007.) : l'espèce, la communauté et le paysage (voir étude de cas 4.7), le tout relié au site web d'EUNIS.

3.3.2. Problèmes d'interprétation au niveau national et européen

L'expérience montre qu'il existe différentes façons d'interpréter les habitats ou les communautés végétales selon les échelles de travail. Par exemple, de telles différences peuvent se produire in situ entre différents experts qui peuvent affecter à un même polygone des types habitats ou des communautés végétales différents. Même lorsqu'ils ont une interprétation similaire de l'habitat dans la région, ils peuvent placer les limites entre les habitats à des endroits différents (voir par exemple Cherrill & McClean, 1999a et b; Hearn *et al.*, 2011). Les différences peuvent également résulter de l'interprétation locale des documents préparés pour une utilisation à l'échelle nationale ou européenne, et parfois dans une autre langue. Certains problèmes d'interprétation récurrents concernent des descriptions des habitats à l'annexe I de la directive Habitats – des différences sont trouvées à la fois entre pays et entre les régions d'un même pays. Par exemple, bien que le Manuel d'interprétation des habitats de l'Union européenne note clairement que le type d'habitat 9190 « Vieilles chênaies acidophiles des plaines sablonneuses à *Quercus robur* » comprend quatre associations (*Quercus-Betuletum*, *Molino-Quercetum*, *Trientalo-Quercetum roboris* et *Peucedano-Quercetum roboris*), les directives officielles en Pologne (Herbich, 2004) ne comprennent que le *Quercus-Betuletum*, bien que le *Molinio-Quercetum* soit présent en Pologne. D'autres exemples sont décrits par Bagella *et al.* (2007), Biondi, Casavecchia & Pesaresi (2010) et Evans (2006 et 2010).

2. Voir <http://eunis.eea.europa.eu/habitats.jsp>

Encadré 3.5 - Étude de cas : gestion des correspondances et des problèmes d'interprétation entre les typologies en France

En France, la série des Cahiers d'habitats (Bensettiti *et al.*, 2001-2005) constitue la base de l'interprétation des habitats d'intérêt communautaire. Le Service du patrimoine naturel (SPN) du MNHN a pour mission de veiller à ce que les correspondances entre les unités phytosociologiques et les habitats d'intérêt communautaire tiennent compte des évolutions de la connaissance, et en particulier les révisions du synsystème français.

Une révision du synsystème français peut entraîner le déplacement d'un syntaxon à un autre niveau hiérarchique, ce qui implique des changements dans la façon dont le syntaxon est associé à un habitat d'intérêt communautaire. Dans ce cas, trois options sont possibles :

- › cas 1 : le syntaxon reste rattaché au même habitat d'intérêt communautaire ;
- › cas 2 : le syntaxon doit être rattaché à un autre habitat de l'annexe I ;
- › cas 3 : le syntaxon n'est plus rattaché à aucun habitat de l'annexe I.

Exemples

Cas 1

Dans les Cahiers d'habitats, l'association des prairies du *Teucrio scordiodidis - Agrostietum stoloniferae* a été placée dans l'alliance du *Molinio arundinaceae - Holoschoenion vulgaris*, et rattachée à l'habitat 2190 « Dépressions humides intradunaires ». Suite à une révision du synsystème français, cette association a été rattachée à l'alliance du *Trifolio fragiferi - Cynodontion dactylonis*, qui n'avaient pas de correspondance avec l'habitat 2190. Toutefois, cet habitat de l'annexe I n'est pas lié à une unité de phytosociologie particulière (comme le *Molinio - Holoschoenion*), mais correspond à toutes les communautés situées dans les dépressions dunaires humides, quelle que soit leur place dans la synsystème. Ainsi, la correspondance entre *Teucrio - Agrostietum* et l'habitat 2190 a été maintenue.

Cas 2

Dans les Cahiers d'habitats, l'association forestière du *Luzulo sylvaticae - Fagetum sylvaticae* a été placée dans la sous-alliance de *Ilici aquifolii - Fagenion sylvaticae* et rattaché à l'habitat 9120 « Hêtraies acidophiles atlantiques à sous-bois à *Ilex* et parfois à *Taxus* (*Quercion robori-petraeae* ou *Ilici-Fagenion*) ». Des travaux récents sur les classifications phytosociologiques des forêts ont conclu que cette association acidiphile devrait être transférée dans la sous-alliance du *Scillo lilio-hyacinthi - Fagenion sylvaticae* (alliance du *Fagion sylvaticae*). Jusqu'à présent, les végétations appartenant à cette sous-alliance n'ont pas été considérées comme relevant d'habitats d'intérêt communautaire par les autorités françaises. Ainsi, le *Luzulo sylvaticae - Fagetum sylvaticae* n'est plus considéré comme rattaché à un habitat de l'annexe I par les scientifiques français.

L'établissement de correspondances est une tâche complexe ; il est essentiel que les opérateurs de terrain comprennent et suivent la même interprétation des habitats. Dans le cas contraire, la même végétation observée sur le terrain pourrait être affectée à différents habitats par des opérateurs différents. Ce travail est soutenu par le ministère français en charge de l'Écologie et est mené en étroite collaboration avec un large éventail d'experts, en particulier via la Fédération des Conservatoires botaniques nationaux et la Société française de phytosociologie.

3.4. L'identification et la caractérisation des habitats par la télédétection

3.4.1. La télédétection : l'identification et la classification des habitats basées sur les types physiologiques

La cartographie de la végétation sur de grandes superficies et à plus grande échelle géographique peuvent tirer de nombreux avantages de la télédétection. Historiquement, les données d'observation de la terre ont d'abord été acquises par avion : les principaux développements, avant ou pendant la seconde guerre mondiale, ont eu lieu avec l'avènement des orthophotos, les films couleurs et infrarouges. Le premier satellite civil d'observation de la terre était Landsat-1. Lancé en 1972, il a permis d'acquérir des images sur 4 bandes (bleu, vert, rouge et infrarouge) de résolution moyenne (environ 80 m) et de large amplitude (généralement 180x180 km) dans le monde entier (Strahler *et al.*, 1978). Aujourd'hui, les satellites intègrent des capteurs optiques offrant une haute résolution (HR- de 5 m à 20 m) ou très haute résolution spatiale (THR - environ 60 cm) dans le domaine du visible, et des résolutions plus grossières pour les bandes spectrales dans l'infrarouge moyen ou thermique, ou des capteurs actifs tels que les radars. Pour les données atmosphériques, le choix est encore plus large, de l'optique spatiale de très haute

résolution (environ 10 cm) ou optique à résolution spectrale très élevée (hyperspectrale), aux capteurs radars et LiDAR (*Laser Imaging Detection and Ranging*). Étant donné que différents capteurs ont différentes caractéristiques spectrales, temporelles et spatiales, la sélection des capteurs est très importante pour la cartographie de la couverture végétale.

3.4.1.1. Caractéristiques du capteur

Dans la partie visible du spectre (400-700 nm), les capteurs sont sensibles aux pigments foliaires des feuilles, et donc à la chlorophylle ou à la biomasse foliaire (indice foliaire ou LAI, la surface foliaire par m² au sol). À des longueurs d'onde plus grandes du spectre solaire, d'autres paramètres sont plus actifs : la structure foliaire de la canopée (c.-à-d. matière sèche) dans le proche infrarouge, PIR (700-1 500 nm) et la teneur en eau de la végétation dans le moyen infrarouge, MIR (1500 - 3500 nm). Plusieurs indices ont été développés afin de mieux identifier et caractériser la végétation. Le plus connu, le NDVI, utilise les bandes du rouge et du proche infrarouge (Rouse *et al.*, 1973).

Le radar et le LiDAR sont des systèmes actifs qui émettent un rayonnement à une certaine longueur d'onde et qui analysent le signal de retour après son interaction avec la végétation et le sol. Les systèmes radars par satellite et aéroportés fonctionnent avec des longueurs d'onde différentes. Les longueurs d'onde plus courtes (la bande X, 3 cm, et la bande C, 6 cm) interagissent avec les feuilles grâce à leur teneur en eau, alors que les longueurs d'onde plus grandes (la bande L, 25 cm, et la bande P, 60 cm) interagissent avec les troncs et les grosses branches des arbres et donnent ainsi des informations sur la biomasse forestière (le Toan *et al.*, 1992). Le radar, notamment le radar à ouverture synthétique (SAR, *synthetic aperture radar*), a l'avantage d'être insensible à la couverture nuageuse, même si elle ne nécessite un traitement spécifique (polarisation et bruit de chatoiement ou speckle). Les systèmes d'imagerie LiDAR aéroportés utilisent des impulsions infrarouges monochromatiques, généralement dans la longueur d'onde de l'infrarouge (1064 nm et 1550 nm), qui traversent la végétation jusqu'au sol. Les LiDAR les plus avancés émettent des impulsions à des taux très élevés (jusqu'à 300 kHz) et balayent les signaux de retour en enregistrant des nuages de points en 3D du haut de la canopée jusqu'au sol en passant par les strates intermédiaires (Puech *et al.*, 2012). Le traitement de ces nuages de points permet la production de modèles de végétation en 3D ainsi que des modèles numériques de terrain détaillées (MNT).

Les systèmes hyperspectraux fonctionnent dans le spectre solaire (du visible au MIR) et utilisent de nombreuses bandes (de 15 à plusieurs centaines), très étroites (5 à 10 nm, contre 70 à 100 nm pour d'autres systèmes optiques). Grâce à l'étroitesse des bandes il est possible de détecter l'influence de certains constituants chimiques de la couverture du sol ou de la végétation sur certaines longueurs d'onde. Ainsi les données hyperspectrales ont pu être testées pour détecter certains peuplements monospécifiques d'espèces envahissantes (Underwood *et al.*, 2003).

3.4.1.2. Caractéristiques spatiales

Le choix des jeux de données est un facteur important pour connaître la quantité d'information disponible afin de cartographier de manière précise et fine des habitats complexes structurellement et variables floristiquement, et de suivre leurs changements dans le temps (Nagendra, 2012). En plus de la résolution spectrale, la question de la résolution spatiale est centrale dans la sélection de données pour la cartographie des habitats. La pertinence et la qualité des jeux de données et de leurs sources est également à prendre en considération. Le choix de la résolution spatiale dépend de l'échelle géographique, de la distribution et de l'hétérogénéité des espèces et des habitats suivis, des facteurs qui influencent la distribution et la disponibilité des variables environnementales (par exemple les sols, le réseaux de drainage, la géologie, la topographie, les activités humaines et/ou les modes de gestion) et qui fournissent des informations complémentaires nécessaires pour l'interprétation des données issus de la détection (Nagendra, 2001). Idéalement, la résolution du pixel doit correspondre entre 1/4 et 1/3 de la taille du plus petit patch d'habitat, d'un ensemble d'espèces ou de l'individu (par ex. plante ou arbre) à cartographier. Certaines études portant sur l'utilisation d'images satellites à résolution moyenne (quelques dizaines de mètres) et haute résolution (quelques mètres) pour évaluer la richesse en espèces végétales (Rocchini, 2007) ou pour la prédiction écologique (Stickler et Southworth, 2008) ont mis en évidence que les satellites Landsat fournissent de meilleurs résultats qu'IKONOS ou QuickBird THR sur toute une gamme de mesures liées à la richesse spécifique. Les conclusions de ces études pourraient avoir de conséquences importantes sur les modélisations d'habitat, les analyses de patrons de biodiversité et les études de conservation qui

considèrent *a priori* qu'une résolution spatiale plus élevée est nécessairement meilleure. En effet, il a été constaté qu'une bonne résolution spectrale est beaucoup plus importante qu'une résolution spatiale améliorée (même avec une résolution spectrale réduite).

3.4.1.3. Caractéristiques temporelles

Un des avantages majeurs de l'utilisation de l'imagerie satellitale pour le suivi des habitats est la possibilité d'acquisition de données de manière régulière et répétitive en utilisant les mêmes longueurs d'onde ce qui permet des comparaisons cohérentes entre les images. La fréquence de l'observation spatiale par capteurs optiques varie de plusieurs fois par jour (pour les capteurs à résolution spatiale grossière, par exemple, le radiomètre avancé à très haute résolution, AVHRR, de la *National Oceanic and Atmospheric Administration*) à tous les 16 à 18 jours (par exemple Landsat), bien que la couverture nuageuse, la brume et les fumées limitent souvent le nombre de scènes utilisables (Rosenqvist *et al.*, 2003). Une nouvelle génération de satellites (Sentinel-2) avec un temps de revisite de cinq jours devrait être lancé en 2015. Les deux satellites Sentinel-2 permettront d'acquérir des données à différentes saisons, permettant ainsi l'exploitation de variations temporelles de la réflectance pour la cartographie et le suivi des habitats naturels. Des enregistrements d'images à des dates où des espèces sont à différents stades phénologiques permettent de distinguer les espèces et de faciliter la classification des habitats (Lucas *et al.*, 2007 et 2011). Un autre avantage des enregistrements pluriannuels est leur aptitude à évaluer les modifications de l'habitat (telles que la destruction, la dégradation et la fragmentation). L'identification des zones ayant subi un changement permet de concentrer les activités de terrain sur ces secteurs, en diminuant de manière significative les coûts (Vanden Borre *et al.*, 2011). Un défi fondamental pour l'étude des modifications des habitats est le compromis entre le niveau de détail spatial et le temps de revisite fournie par le capteur, ainsi que la possibilité de vérifier l'interprétation de l'activité phénologique.

Le tableau 3.3 présente une comparaison de la façon dont les différentes techniques de télédétection (capteurs et résolution) peuvent contribuer à la cartographie des habitats naturels à deux niveaux de classification : le premier niveau pour la distinction entre les grands types physiologiques (herbacé, arboré et arbustif), et le second pour la distinction au sein de chaque grand type physiologique, avec une catégorie spéciale pour les zones humides.

De toute évidence, la combinaison de différents capteurs augmenterait les capacités d'extrapolation de l'information pour un paramètre donné (voir le paragraphe ci-dessous sur l'agrégation de données).

3.4.1.4. Les coûts

L'une des principales raisons d'utilisation de la télédétection est le rapport coût-efficacité par rapport au travail sur le terrain. Le coût des données de télédétection est lié à un certain nombre de paramètres : le type de capteur (optique, radar ou hyperspectrale), la plate-forme (satellite ou aéroportée), la résolution spatiale, la superficie minimale demandée, les traitements à réaliser (par exemple les orthorectifications ou les corrections radiométriques simples), et si l'image est disponible ou si une nouvelle acquisition est nécessaire. L'imagerie aérienne est généralement plus chère que l'imagerie satellite en raison des coûts d'acquisition élevés (notamment la location de l'avion, les frais d'équipement, de personnel et de déplacement). Les coûts sont estimés deux à trois fois supérieurs à ceux d'acquisition d'images de base de QuickBird (bien que des demandes supplémentaires augmentent les coûts de QuickBird). La gestion des mosaïques et le géoréférencement des images peuvent prendre beaucoup de temps et exigent des opérateurs qualifiés. On estime qu'une demi-heure par image serait nécessaire pour le géoréférencement, la balance des couleurs et l'intégration à une mosaïque. Pour traiter 20 images, il faut estimer environ 10 heures de travail avant de pouvoir effectuer la classification. L'estimation des coûts pour ce type d'analyse doit inclure les frais de gestion des mosaïques et l'achat du logiciel de traitement d'image.

Les coûts d'acquisition pour du LiDAR sont actuellement autour de 130 à 150€/km². A moyen et long terme, une utilisation plus importante de ces techniques peut conduire à des réductions de coûts. Souvent, des données issues de la télédétection sont disponibles sans coût supplémentaire pour certaines organisations ; par exemple, en France l'Institut géographique national (IGN) met à disposition une couverture nationale par photos aériennes à toutes les institutions publiques. Vanden Borre *et al.* (2011) suggèrent qu'un produit issu de la télédétection moins détaillé sur le plan thématique mais plus à jour qu'une cartographie de terrain équivalente pourrait être plus pertinent à utiliser, particulièrement s'il est moins cher à produire. Dans le même temps, un gain considérable de la qualité des données peut parfois justifier l'utilisation d'un produit plus coûteux.

3.4.1.5. L'agrégation de données

Les méthodes et techniques d'agrégation de données intègrent des informations à différentes résolutions spatiales et spectrales issus de capteurs satellites, aéroportés et de plates-formes au sol pour produire des données agrégées qui contiennent des informations plus détaillées que chacune des sources isolées (Zhang, 2010). La cartographie des habitats naturels peut grandement bénéficier de la complémentarité des données multispectrales à large bande ou des données hyperspectrales à bande étroite (aériennes ou satellites) avec des données radar ou LiDAR. Cela a été démontré par plusieurs études, notamment en milieux ouverts aux Etats-Unis (Huang *et al.*, 2010), pour les forêts italiennes (Dalponte *et al.*, 2008) et pour les prairies (Bork & Su, 2007).

L'intégration des données optiques issus de spectroscopie d'imagerie hyperspectrale avec des informations structurelles de LiDAR est porteuse de grands espoirs pour améliorer la précision des inventaires forestiers et la modélisation écologique à l'échelle du paysage.

3.4.1.6. La végétation de la cartographie grâce à la télédétection : leçons apprises

Les données issues de la télédétection sont de plus en plus prises en compte par les États membres de l'UE, afin de s'acquitter de leurs obligations de rapportage dans le cadre de la directive Habitats (Lengyel *et al.*, 2008). Cependant, l'utilisation de la télédétection par satellite pour l'évaluation de l'état de conservation de manière précise, détaillée et complète ainsi que pour le suivi des habitats naturels et semi-naturels comme l'exige la directive Habitats, est encore rare (Vanden Borre *et al.*, 2011). Le potentiel des techniques de télédétection a été plus clairement démontré pour la cartographie de la physionomie de la végétation (formes de vie, couvertures, structures et types) que pour l'identification d'espèces ou de communautés définies par leur composition floristique. Les formes de vie (par exemple, herbes, arbustes ou arbres) dans la strate dominante ou supérieure vont prédominer dans la classification du type de végétation à partir de données de télédétection. Les classes physionomiques peuvent être utilisés en conjonction avec de l'information biologique et physiographique existante afin de fournir un cadre pour une approche plus ciblée d'inventaires in situ des habitats. Le couplage des données de télédétection et de terrain peut permettre une plus grande précision dans les estimations de superficies de différentes classes d'habitat (McRoberts *et al.*, 2002). Un exemple pertinent de ce type d'intégration est l'utilisation de cartes physionomiques issues d'observation de la terre pour une post-stratification des inventaires habitats basés sur des échantillons existants. La précision accrue obtenue à l'aide de la post-stratification signifie également que les estimations des superficies couvertes par les différents types d'habitats peuvent être présentées pour des zones plus petites que ce qui est possible à partir des estimations basées uniquement sur un échantillon de données in situ seules, et ce sans perte de précision (Gerard *et al.*, 2012).

Les cartes de types physionomiques peuvent également être couplées avec des données d'occurrence d'espèces et de conservation, comme base pour une classification détaillée de l'habitat. Dans une approche plus globale, les cartes physionomiques peuvent être utilisés en conjonction avec des modèles (par exemple, la distribution des espèces) et des informations de terrain afin de prévoir l'évolution de certaines espèces d'intérêt particulier (Nagendra *et al.*, 2012).

Tableau 3.3 Contribution de différentes techniques de télédétection pour la cartographie des habitats naturels à 2 niveaux de classification au 1/25 000 et au 1/50 000

	Très haute résolution spatiale (photos aériennes, IKONOS, QuickBird, GeoEye, WorldView-2 etc.)	Résolution spatiale et temporelle moyenne à haute (Landsat, IRS, SPOT etc.)	Faible résolution spatiale et très haute résolution temporelle (MODIS, AVHRR etc.)	Hyperspectrale (HyMap, CASI, Hyperion etc.)	Balayage laser (LIDAR)	Capteurs micro-ondes actifs (SAR)
Niveau 1 Distinction entre les grands types physiologiques : herbacé, arbustif, arboré	++ (en dehors de l'eau libre et des sols nus)	++ (en dehors de l'eau libre et des sols nus)	++ (seulement dans les paysages avec de grandes taches de végétation)	++ (en dehors de l'eau libre et des sols nus)	++	+ (en dehors de l'eau libre)
Niveau 2 Distinctions au sein du type physiologique Forêt	++	+ 3 classes : feuillus / pins / autres conifères	-/+ 3 classes : feuillus / conifères / forêt mixte	++	-/+ Doit être combiné avec l'imagerie multispectrale pour cartographier les espèces forestières ++ Évaluation des paramètres de la forêt (densité du peuplement, hauteur, largeur et longueur de la couronne)	-/+ Moins efficace que l'imagerie multispectrale pour l'identification des espèces + Les données sur la structure de la végétation issues de radars sont complémentaires à celles fournies par l'imagerie multispectrale
Niveau 2 Distinctions au sein du type physiologique Milieux ouverts	+ Avec l'imagerie multi-saison : types de prairies avec différents niveaux de fertilisation agricole	++ Avec l'imagerie multi-saison : distinction entre prairies humides (à Molinia ou Juncus), non fertilisées (à Festuca), peu fertilisées et fertilisées	-	++ Détermine la composition spécifique	-	+ Séparation entre les prairies naturelles et les pâturages enrichis (en polarisation quadruple)
Niveau 2 Distinctions au sein du type physiologique Landes	++ Les variations phénologiques saisonnières permettent de distinguer Calluna vulgaria à feuillage persistant et Vaccinium myrtillus à feuilles caduques	++ Avec l'imagerie multi-saison : distinction entre les types de landes (par exemple Genista et Erica)	-	++ Distinction entre les landes sèches et humides, les types de landes (Calluna, Molinia Deschampsia, Erica, etc) et les classes d'âge	-/+ Uniquement si les types diffèrent par leur structure ou leur densité	-
Niveau 2 Distinctions au sein du type physiologique Zones humides	+ Détection des espèces végétales riveraines	+ Les images saisonnières permettent la cartographie de l'étendue des zones humides à immersion saisonnière et de certaines espèces végétales	-	++ Distinction entre les espèces de macrophytes aquatiques (Typha, Phragmites, Scirpus)	-/+ À combiner avec des images multispectrales. Les cartes LIDAR de relief numérique haute précision sont utilisées pour associer les espèces végétales hygrophiles au relief. Cela peut améliorer la compréhension des caractéristiques des plantes des zones humides	-

Remarque : Les degrés de pertinence du capteur pour l'identification d'un paramètre donné :

- ne convient pas

- / + = plus ou moins approprié

+ = approprié

++ = recommandé

3.4.1.7. Modélisation et cartographie de la distribution des espèces végétales : leçons apprises

La meilleure approche pour modéliser la végétation et la répartition des habitats est de combiner une modélisation amont-aval (logique descendante) avec des connaissances de base (logique ascendante). Cependant, l'exploitation de la connaissance de base exige des efforts considérables en termes de collecte et d'harmonisation des données. La sélection de la méthode de modélisation adéquate pour un projet spécifique peut être difficile, il est donc crucial non seulement d'avoir des objectifs clairs, mais également d'avoir bien identifié les besoins des partenaires et les réponses possibles. Ceci est la clé pour définir les échelles de travail et les types de modèles spatialisés d'habitats. La fiabilité des modèles devrait être une question principale pour être appliquée aux écosystèmes, en donnant la *priorité* à l'élaboration de modèles de réponse dynamiques. L'utilisation de la télédétection et de l'information géographique est importante pour réduire les incertitudes liées à la modélisation. Enfin, avant de collaborer, les écologues de terrain et les équipes de télédétection doivent apprendre à se comprendre et développer un langage commun.

3.4.2. La modélisation des habitats : prédiction de modèles biologiques spatialisés en relation avec des gradients environnementaux

Avec l'arrivée de nouvelles techniques statistiques et de puissants outils SIG, les modèles prédictifs de distribution des habitats se sont rapidement développés. Ces modèles sont par nature statiques et probabilistes car ils mettent en relation de manière statistique la répartition géographique des espèces ou des communautés et leur environnement actuel. L'analyse de la relation espèce-environnement a toujours été une question centrale en écologie et la quantification de ces relations représente le cœur de la modélisation prédictive spatialisée. Ces modèles sont généralement basés sur différentes hypothèses expliquant comment les facteurs environnementaux influent sur la distribution des espèces et des communautés (Jongman *et al.*, 1995 ; Schuster, 1994 ; Guisan & Zimmermann, 2000).

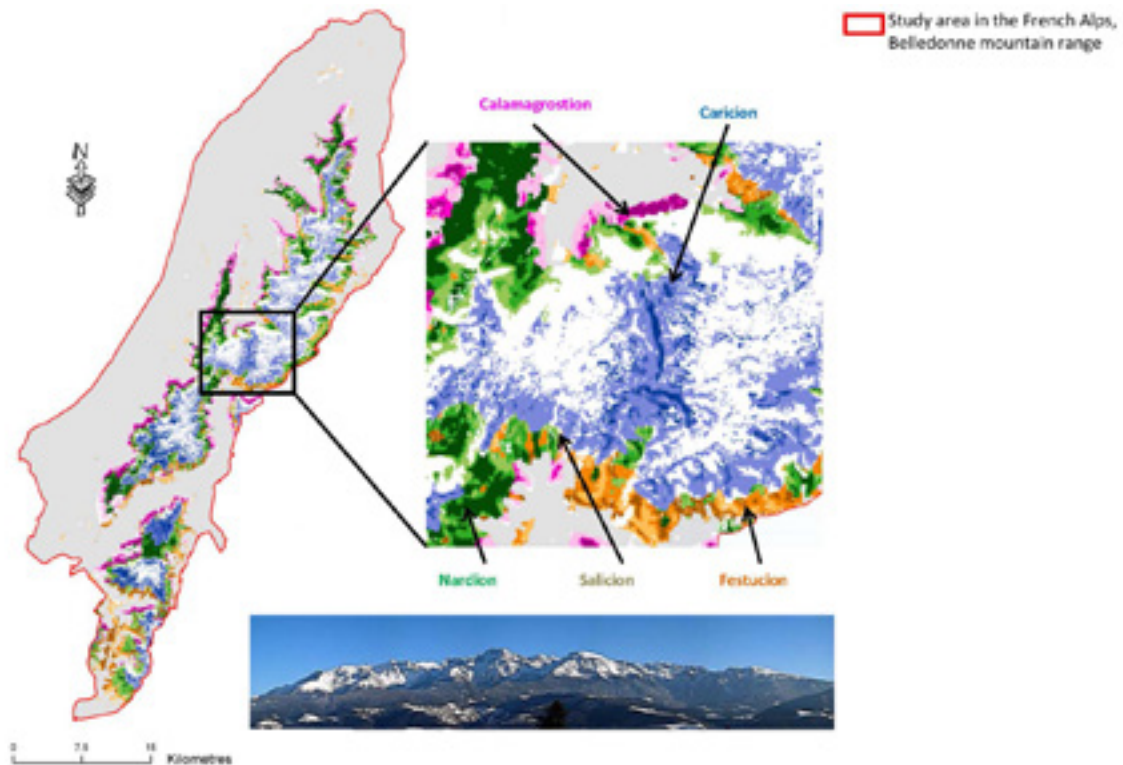
En Europe, une grande variété de techniques de modélisation a été utilisée pour modéliser la répartition d'espèces, de groupes d'espèces, de guildes, de communautés végétales et d'habitats. Une synthèse des techniques les plus couramment employées est présentée en annexe 4. Toutefois, le choix d'un modèle particulier est un exercice complexe ; une alternative consiste à appliquer simultanément et séparément différentes méthodes de modélisation (chacune avec ou sans itérations) pour un même jeu de données sur une zone géographique donnée. Il est alors possible de comparer les résultats afin de choisir l'approche la plus satisfaisante au regard des objectifs, ou de combiner les différents résultats dans un modèle final. La plate-forme de modélisation BIOMOD a été développée spécialement à cet effet (<http://www.will.chez-alice.fr/Software.html> ; Thuillier, 2003 ; Thuillier *et al.*, 2009.).

Encadré 3.6 - Modélisation de la distribution de cinq alliances de végétation dans les Alpes françaises

Dans le cadre du projet de cartographie nationale des habitats, CarHAB, le logiciel MaxEnt (Phillips *et al.*, 2006; Phillips & Dudik, 2008) a été utilisé pour modéliser séparément la répartition de cinq alliances de végétation choisies par le Conservatoire botanique national Alpin (CBNA) (voir Lambertin, 1999; Mikolajczak, 2011a et 2011b). MaxEnt est spécialement conçu pour des données uniquement de présence (sans données d'absence) et pour surmonter les problèmes associés aux jeux de données de petites tailles.

Le détail sur les modèles et la méthodologie employés pour l'exemple ci-dessous dans les Alpes françaises est disponible dans le rapport de Redon *et al.* (2012).

Carte 3.1 Cartographie de la distribution potentielle de différentes alliances de végétation sur le massif de Belledonne dans les Alpes françaises



Note: 'Caricion' correspond au *Caricion curvulae*, 'Nardion' au *Nardion strictae*, 'Festucion' au *Festucion variae*, 'Calamagrostion' au *Calamagrostion villosae* et 'Salicion' au *Salicion herbaceae*.

Source: IRSTEA

3.5. Références clés

Bunce, R. G. H., Bogers, M. M. B., Evans, D., Halada, L., Jongman, R. H. G., Múcher, C. A., Bauch, B., de Blust, G., Parr, T. W., & Olsvig-Whittaker, L., 2013, The significance of habitats as indicators of biodiversity and their links to species, *Ecological Indicators*, 33, 19–25.

Davies, C. E., Moss, D., & Hill, M. O., 2004, *EUNIS habitat classification revised 2004*, European Environment Agency — European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity, http://eunis.eea.europa.eu/upload/EUNIS_2004_report.pdf

Rodwell, J. S., Schaminée, J. H. J., Mucina, L., Pignatti, S., Dring, J., & Moss, D., 2002, *The diversity of European vegetation. An overview of phytosociological alliances and their relationships to EUNIS habitats*, p. 168, Wageningen, National Reference Centre for Agriculture, Nature and Fisheries.

Vanden Borre, J., Paelinckx, D., Múcher, C. A., Kooistra, L., Haest, B., De Blust, G., & Schmidt, A. M., 2011, Integrating remote sensing in Natura 2000 habitat monitoring: Prospects on the way forward, *Journal for Nature Conservation*, 19(2), 116–125.

4. L'enquête sur les expériences de cartographie des habitats en Europe : vue d'ensemble

RÉSUMÉ DU CHAPITRE

Ce chapitre présente les résultats d'une enquête sur les cartographies d'habitats en Europe menée par le MNHN et le CTE/DB pour le ministère français en charge de l'Environnement. Destiné à être le plus complet possible, il est basé sur une synthèse bibliographique (317 références), un questionnaire adressé à 40 pays européens et une série d'entretiens semi-structurés : parmi les 163 projets recensés, 65 ont été sélectionnés pour cette étude. Cet aperçu général des principales initiatives de cartographie des habitats en Europe est suivi d'une discussion (chapitre 5) sur les questions méthodologiques. Les projets les plus importants sont présentés plus en détail à travers des études de cas (par exemple en République tchèque, en Espagne, en Italie et en Hongrie). La liste des programmes de cartographie inventoriés est présentée en annexe 2.

4.1. Matériels et méthodes

L'enquête combine une synthèse bibliographique, des questionnaires individuels personnalisés et une série d'entretiens semi-structurés. La méthode a été validée par un groupe de travail composé de représentants du comité technique du programme CarHAB et du CTE / DB. Ce travail a été initié suite à un certain nombre de constats :

- > il n'existait pas, à ce jour, de vue d'ensemble des expériences de cartographie des habitats sur de vastes superficies en Europe ;
- > l'accès à une grande partie de la littérature est problématique (disponibilité de la littérature grise, problèmes linguistiques) ;
- > les aspects méthodologiques sont rarement abordés dans la littérature disponible (Molnár., 2007).

4.1.1. Conception du questionnaire

Le questionnaire contient 107 champs organisés en sept grandes catégories : contexte, organisation/gouvernance, méthodologies de cartographie, systèmes d'information, analyse des données et diffusion, financements, usages et applications. Deux types de champs sont proposés ; (i) fermés, pour faciliter l'analyse des résultats, et (ii) ouverts, pour recueillir de plus amples informations. La moitié des champs (n = 53) a été considérée comme « obligatoire » et l'autre moitié (n = 54) facultative. Les questionnaires ont été adressés à des experts ayant une approche nationale ou régionale de la thématique, principalement des spécialistes de la végétation et des gestionnaires de projets dans les organismes de conservation. Les contacts ont été collectés par le biais de plusieurs réseaux, en particulier de l'AEE, du CTE/DB, du MNHN, de l'EVS et du comité technique du programme CarHAB. En l'absence d'interlocuteur identifié pour certains pays/régions, des contacts ont été recherchés sur internet. Avant d'être envoyé, chaque questionnaire a été pré-rempli à partir d'informations issues de la bibliographie disponible.

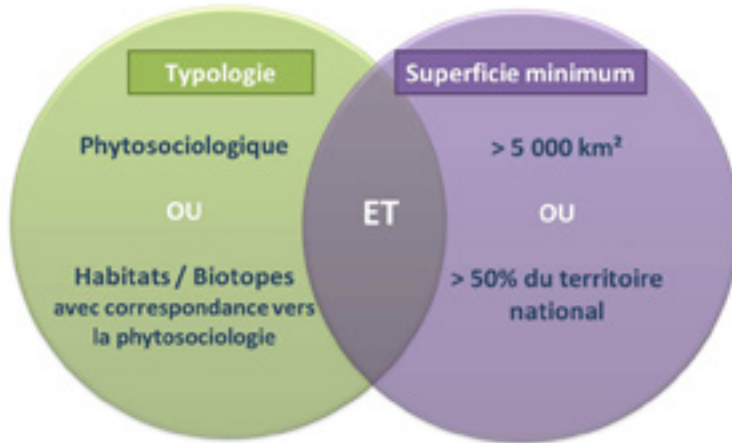
4.1.2. Les entretiens semi-structurés

Une série d'entretiens semi-structurés a été menée avec une sélection de correspondants. Ce mode d'enquête permet des échanges ouverts tout en conservant le cadre de l'étude. Le premier objectif est de vérifier si la liste nationale de programmes de cartographie est exhaustive, d'obtenir les renseignements manquants, d'harmoniser les réponses et, le cas échéant, d'obtenir des contacts supplémentaires. Le second objectif est d'échanger avec les experts sur les questions méthodologiques autour du projet CarHAB.

4.1.3. Les filtres de l'enquête

L'objectif principal de l'enquête est d'identifier les programmes de cartographie des habitats sur de vastes superficies. La synthèse bibliographique a révélé un nombre important de projets de cartographie de portées et de couvertures géographiques variées (n = 163). Un filtre a été appliqué afin de cibler les programmes les plus pertinents pour le programme CarHAB et d'obtenir un échantillon relativement exhaustif au niveau européen.

Figure 4.1 Les filtres utilisés pour l'enquête



Les projets sélectionnés pour une étude plus approfondie sont les suivants :

- > **les projets nationaux ou régionaux** dont la superficie cartographiée est supérieure à 5 000 km² ou représentant au moins 50% du territoire national ;
- > **les projets basés sur une approche phytosociologique** ou utilisant une typologie des habitats compatible avec la phytosociologie, c'est-à-dire contenant au moins une référence à une classification phytosociologique dans la typologie ou dans la légende ; cela exclut notamment les cartes d'occupation du sol.

Cependant, certains programmes jugés importants par les experts ont également été inclus dans la base de données et ont été utilisés pour certaines analyses.

4.1.4. Processus de validation

Deux niveaux de validation ont été appliqués pour l'enquête. Dans un premier temps, les experts interrogés ont dû évaluer le niveau d'exhaustivité des listes de projets pour chaque pays en fonction de leur connaissance. Un second niveau de validation a été réalisé grâce au réseau européen d'information et d'observation de l'environnement (EIONET, *European Environment Information and Observation Network*) de l'AEE, à travers les centres nationaux de référence sur la biodiversité d'une part, et sur l'agriculture et la forêt d'autre part. 11 pays ont répondu à cette sollicitation.

4.2. Synthèse bibliographique

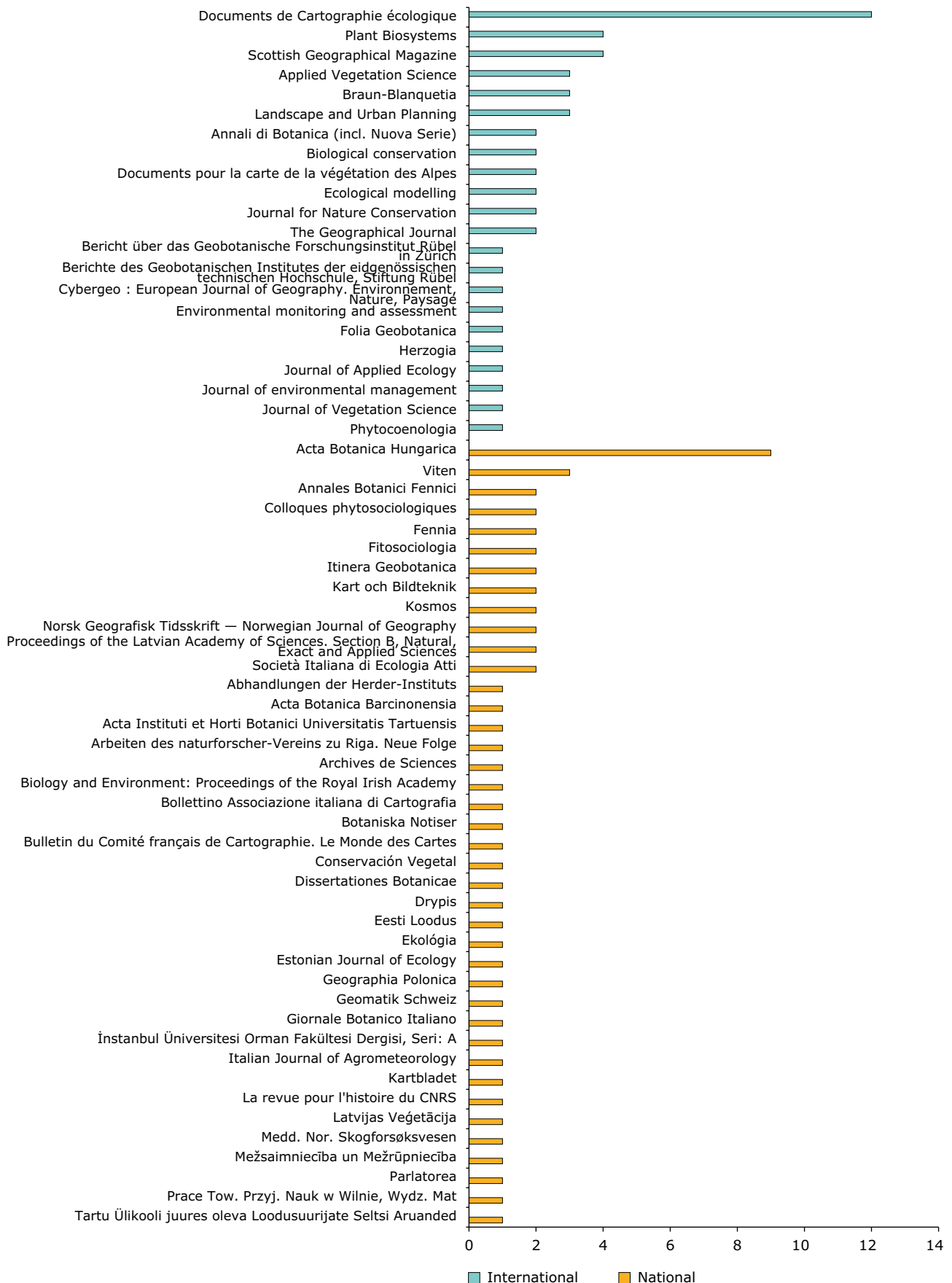
Un total de 317 références bibliographiques a été inventorié, dont 133 ont été directement utilisées pour l'enquête européenne.

Les principaux types de littérature sont les livres et les rapports publiés (49%), les articles scientifiques (37%), les rapports non publiés et la littérature grise (10%), et les actes de conférences (4%). Les articles scientifiques ont été publiés dans des revues de portée nationale (65%) et internationale (35%). La figure 4.2 illustre les journaux scientifiques cités dans l'enquête avec le nombre d'articles par journal.

Les publications scientifiques sont une source essentielle de connaissance sur les programmes de cartographie de la végétation ; l'information y est validée scientifiquement et est largement accessible. Les résultats des programmes de cartographie sont généralement disponibles dans des publications nationales plutôt qu'internationales, bien qu'un nombre croissant d'articles liés à la cartographie de la végétation soient publiés dans des revues internationales. Il s'agit de journaux qui publient sur les inventaires de la végétation (*Plant Biosystems*, *Applied Vegetation Science*, *Journal of Vegetation Science*),

la télédétection (*International Society for Photogrammetry and Remote Sensing - ISPRS, Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*) ou plus généralement sur l'écologie et ses applications (*Journal for Nature Conservation, Biodiversity and Conservation, Biological Conservation, Community Ecology, Ecological Complexity*).

Figure 4.2 Les journaux scientifiques mentionnés dans l'enquête européenne



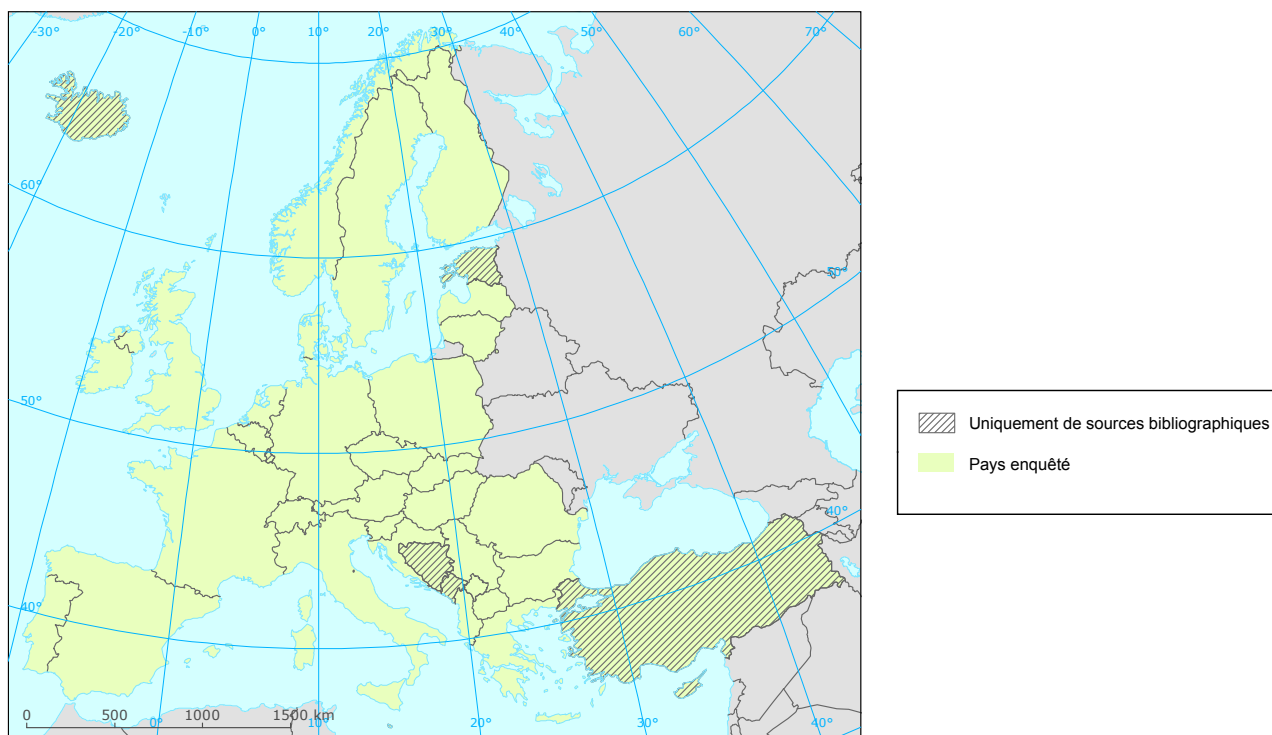
La littérature grise comprend de nombreux rapports techniques et documents de travail. C'est une source essentielle d'information sur la cartographie des habitats en dehors des canaux de publication classiques, malgré une relative difficulté d'accès. Les rapports finaux des projets importants sont fréquemment mis à disposition sur internet, mais les bases de données de littérature grise accessibles en ligne sont rares. Une initiative intéressante est la bibliothèque de littérature grise des Conservatoires botaniques nationaux en France (http://www.fcbn.fr/documentation/opac_css/index.php?lvl=search_result).

4.3. Etendue de l'enquête européenne

L'enquête concerne 40 pays européens ; 27 États membres de l'UE, 5 pays hors UE membres de l'AEE (Islande, Liechtenstein, Norvège, Suisse et Turquie), 7 pays des Balkans partenaires de l'AEE (Albanie, Bosnie-Herzégovine, Croatie, ex-République yougoslave de Macédoine, Monténégro, Serbie et Kosovo) et Andorre.

Au total 29 pays ont répondu au questionnaire (72%), les résultats pour les 11 pays restants sont basés sur la bibliographie disponible.

Carte 4.1 Étendue de l'enquête européenne



Quelques 115 experts scientifiques, pour la plupart phytosociologues et gestionnaires de projets dans les organismes de conservation, ont été contactés pour l'enquête. 39 entretiens semi-structurés ont été menés. Au total, 163 projets ont été recensés, dont 65 ont été retenus comme cœur de cible pour cette étude. La liste des projets retenus pour l'enquête est présentée en annexe 1, tandis que l'annexe 3 présente une synthèse des principales caractéristiques des programmes sélectionnés par pays.

4.4. Analyses des éléments clés des projets sélectionnés

Il existe une grande variété de projets de cartographie des habitats sur de grandes superficies en Europe. Leurs principales caractéristiques sont : l'étendue géographique, les types d'habitats cartographiés, l'échelle, la gestion de projet et la durée.

4.4.1. Étendue géographique

4.4.1.1. Transnationale (3 %)

Les projets de cartographie transnationaux sont rares et souvent à petite échelle géographique. Au niveau européen, deux cartes de végétation potentielle naturelle sont disponibles : une à l'échelle du 1/1 500 000 (Bohn & Neuhäusl, 2003) et la seconde à l'échelle du 1/3 000 000 (Noirfalise, 1987). En terme de couverture, la première couvre toute l'Europe mais exclut Chypre et la Turquie au sud du Bosphore, tandis que la seconde intègre Chypre et la Turquie, mais pas l'ancien bloc soviétique (voir section 2.4).

D'autres projets à plus grande échelle géographique sont disponibles (par exemple CORINE Land Cover), mais ils concernent les types d'occupation du sol ou la physionomie du couvert végétal, et n'ont donc pas été retenus dans le cadre de cette enquête.

Habitatp est également un programme important de coopération mené entre 2002 et 2006 au sein du Réseau alpin des espaces protégés de la Convention alpine. Son principal objectif est de développer une base de données transnationale sur les paysages alpins en termes de structure, de diversité et d'évolution, avec un accent particulier sur les habitats de l'annexe I (Lotz, 2006). Bien que ce soit une initiative significative, la zone cartographiée est inférieure à 5 000 km² (4 300 km²) et elle n'a donc pas été utilisée directement dans l'enquête.

4.4.1.2. Nationale (66 %)

Le niveau national concerne la majorité des projets sélectionnés. Il est considéré comme le niveau d'organisation le plus approprié pour les projets de cartographie sur de vastes territoires en termes de gestion des données (voir paragraphe 4.4.6) et d'harmonisation méthodologique (voir section 5.9). Cela permet notamment de produire des résultats plus homogènes et d'avoir un meilleur contrôle sur les données et leur circulation. Les projets les plus importants en termes de couverture et de déploiement sur le terrain sont la cartographie des biotopes de République tchèque (voir encadré 4.1), le programme hongrois *Méta* (voir encadré 4.4), la *Carta della Natura* en Italie (voir encadré 4.5) et l'inventaire et la cartographie des habitats Natura 2000 en Espagne (voir encadré 6.1).

4.4.1.3. Régionale (25 %)

Dans les pays où la conservation de la nature est une compétence régionale, la cartographie des habitats est souvent organisée à l'échelle régionale. Cela concerne notamment certains États fédéraux (Allemagne, Autriche et Belgique) et les pays avec des régions autonomes (par exemple, l'Espagne et le Royaume-Uni). Il est considéré comme un niveau efficace d'organisation car les opérateurs de terrain sont plus susceptibles de travailler d'une manière similaire dans une même région. Toutefois l'agrégation des données régionales au niveau national est souvent identifiée comme une étape problématique.

En termes de typologie, peu de ces pays ont adopté une classification nationale (par exemple la classification nationale de la végétation au Royaume-Uni), et la plupart des pays ont des typologies régionales. Dans certains cas, des efforts importants ont été faits pour établir un cadre commun permettant des correspondances (par exemple, les *Biotopkartierung* en Allemagne), alors que dans d'autres pays comme l'Espagne, il n'existe pas d'harmonisation nationale des classifications d'habitats.

4.4.1.4. Les réseaux de sites (6 %)

Certains pays ont concentré leurs activités de cartographie sur les aires protégées. Cela concerne principalement les sites Natura 2000. En effet, les États membres de l'UE doivent rendre compte de la superficie occupée par les habitats d'intérêt communautaire au sein de chaque site, et les cartes d'habitats constituent un élément important des plans de gestion. Nous n'avons retenu que les pays qui appliquent une méthodologie de cartographie commune au niveau national et dont la superficie totale cartographiée était supérieure à 5 000 km². Les pays concernés sont naturellement ceux avec une forte proportion de leur territoire terrestre couverte par des sites Natura 2000, en particulier la Bulgarie (34%) et la Grèce (27%).

La Bulgarie a effectué un inventaire de 86 types d'habitats de l'annexe I de la directive à l'échelle du 1/5 000. En raison de la taille du territoire (33 300 km²) et du peu de temps disponible (mars 2011 à mars 2013), le projet n'a pas été réalisé majoritairement sur le terrain, mais avec une combinaison de modèles issus de la télédétection et de validations/cartographies de terrain.

La Grèce a initié deux projets importants d'identification et de cartographie de l'ensemble des types d'habitats de l'annexe I dans les 237 sites terrestres d'importance communautaire (SIC) (20 000 km²; voir rubrique 5.1). Le premier projet (1999-2001) a été principalement conçu à des fins d'inventaire, avec une caractérisation détaillée des communautés végétales et leur cartographie. Le second projet (2013-2015) basé sur la même méthode, a mis l'accent sur le suivi.

Encadré 4.1 - Étude de cas : la cartographie des biotopes de République tchèque

Le programme de cartographie des biotopes de République tchèque est un projet ambitieux initialement mis en place pour faciliter la mise en œuvre du réseau Natura 2000. Il a toutefois été valorisé bien au-delà de l'objectif initial d'acquisition de données pour l'identification des sites d'importance communautaire.

La cartographie des habitats a été basée sur les classifications décrites dans le catalogue des biotopes de République tchèque (Chytrý, Kucera & Kočí, 2001) (voir section 5.1). La cartographie réalisée au 1/10 000 a permis l'identification des types d'habitats de l'annexe I comme base pour la désignation des sites Natura 2000. Plus de 750 opérateurs ont été impliqués dans le processus de cartographie, et la qualité des enquêtes de terrain était hétérogène, malgré le strict respect de la méthodologie. Afin d'homogénéiser les identifications des habitats in situ ainsi que l'évaluation de leur représentativité et de leur état de conservation, des formations et des ateliers sur le terrain ont été organisés au niveau régional et national. Par ailleurs, des validations de terrain ont également été mises en place. La première cartographie nationale des habitats a été achevée en 2004. Un processus dit de rectification a permis de corriger en 2005 certaines erreurs majeures dans la couche de cartographie sur la base de contrôles aléatoires sur le terrain réalisés par une équipe d'experts.

La cartographie des biotopes a fourni des informations très utiles au-delà des habitats d'intérêt communautaire. Pour la première fois dans l'histoire de la conservation de la nature en République tchèque, des données sur l'ensemble des types d'habitats naturels et sur leur répartition à l'échelle nationale sont disponibles. La couche de cartographie des biotopes représente une ressource importante pour de nombreux projets et expertises d'ampleur nationale. Les résultats ont également été utilisés comme base pour le rapportage Natura 2000, pour des évaluations d'impact environnemental, pour de la recherche scientifique, pour des thèses et comme outil d'aide à la décision. D'autres projets spécifiques (par exemple, le livre rouge des biotopes de République tchèque) représentent des valorisations importantes de la cartographie des biotopes. Néanmoins, elle est d'abord et surtout utilisée comme base pour l'identification des SIC et en tant que source de données pour le rapportage conformément à l'article 17 de la directive Habitats (voir paragraphe 5.5.1).

Carte 4.2 Un extrait de la cartographie des biotopes de République tchèque



Source: AOPK ČR.

4.4.2. Champs thématique (types d'habitats cartographiés)

Tous les habitats (c.-à-d. naturels, semi-naturels, agricoles et artificiels) (22%)

Certains programmes couvrent l'ensemble du territoire du projet, et ne se limite pas aux habitats naturels et semi-naturels. Dans ce cas, la précision thématique est généralement très variable. Les milieux agricoles et artificiels sont plus grossièrement définis, car ils sont plus faciles à caractériser et moins riches en biodiversité. Toutefois, certains milieux agricoles peuvent jouer un rôle écologique important, par exemple d'habitat secondaire ou de corridor écologique. Un autre aspect à considérer est la superficie couverte par ces milieux. Inclure les terres agricoles et artificialisées dans un projet peut augmenter sensiblement son ampleur. Pour le programme national de cartographie des habitats de France, CarHAB, il a été estimé que la prise en compte de terres agricoles augmenterait la zone à cartographier d'environ 37%.

Les habitats naturels et semi-naturels (58%)

Les habitats naturels sont considérés comme les espaces terrestres et aquatiques où les communautés biologiques de l'écosystème sont formées en grande partie par des espèces végétales et animales indigènes, et où l'activité humaine n'a pas fondamentalement modifiée les fonctions écologiques primaires du milieu. Les habitats semi-naturels peuvent être définis comme des zones gérées, modifiées ou créées par l'activité humaine, mais qui continuent de fonctionner comme un écosystème avec sa faune et sa flore spécifiques. Les activités traditionnelles (principalement l'agriculture extensive, voir Halada *et al.* 2011) sont le principal facteur qui contribue au maintien de ces habitats. La distinction entre habitats semi-naturels et agricoles/artificiels n'est pas toujours évidente, la composition spécifique et/ou les espèces indicatrices restent les meilleurs moyens de les caractériser. Cette catégorie est la plus employée : elle est considérée comme un équilibre efficace entre les cartes couvrant l'ensemble d'un territoire et les cartes thématiques.

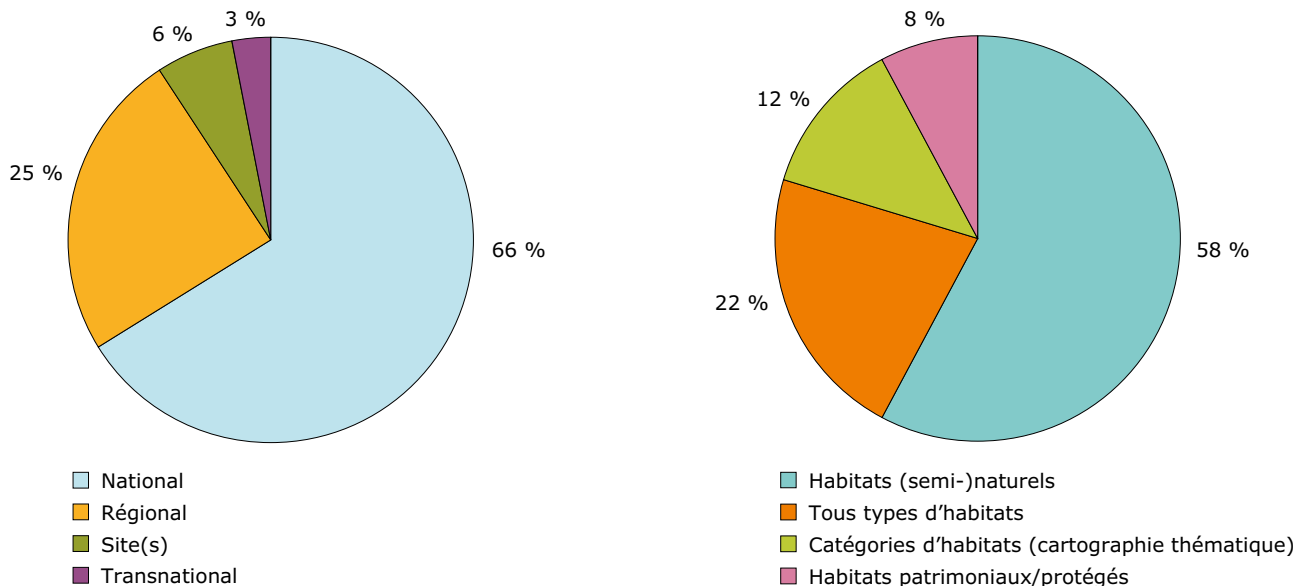
Les habitats protégés et patrimoniaux (8%)

Une autre approche pour la cartographie des habitats est de se concentrer sur les types d'habitats protégés légalement ou d'intérêt patrimonial. Ce choix est justifié le plus souvent par l'obligation légale d'avoir une connaissance fine de leur distribution, mais également par l'hypothèse qu'ils nécessitent une attention particulière. Dans l'UE, certains habitats dits d'intérêt communautaire sont protégés par la directive Habitats. La résolution 4 de la Convention de Berne fournit une liste équivalente d'habitats pour le Réseau Emerald. Certaines autorités nationales et régionales ont également publié leurs propres listes d'habitats protégés (par exemple en Allemagne).

Les cartographies thématiques (types d'habitats) (12%)

Les cartographies thématiques sont assez communes, en particulier pour les forêts, les prairies et les zones humides. Cependant, ce type d'initiative de cartographie n'est pas bien représenté dans cette enquête (12% des projets) parce que beaucoup d'entre elles sont de faible précision thématique (par exemple, les types de peuplements forestiers) ou couvrent des superficies insuffisantes (par exemple, les cartographies de tourbières).

Figure 4.3 Étendue géographique (à gauche) et thématique (à droite) des projets sélectionnés



4.4.3. Différentes échelles pour différents objectifs

Encadré 4.2 - Les concepts d'échelle(s) et de résolution

L'échelle est le rapport d'une distance sur une carte à la distance correspondante sur le terrain. Par exemple, une échelle de 1 à 25 000 (soit 1/25 000) signifie que 1 cm sur la carte est égal à 25 000 cm ou 250 mètres sur le terrain. Il existe un lien direct entre l'échelle de la carte et les plus petits objets qui peuvent être représentés. Il est généralement considéré que les polygones de moins de 4 mm² ne peuvent pas être facilement distingués sur une carte, et donc que la taille minimale d'un polygone sur une carte au 1/25 000 doit être de 2 500 m². Selon les symboles utilisés (par exemple, couleur pleine ou hachurée), des tailles de polygones plus grandes doivent parfois être utilisées pour assurer une bonne lisibilité de la carte. La précision des contours des polygones (la plus petite distance entre deux sommets) dépend également de l'échelle de la carte. Il faut plus de sommets pour positionner avec précision un polygone sur une carte à grande échelle géographique (par exemple 1/10 000) que sur une carte à petite échelle (par exemple 1/100 000 000).

Aujourd'hui, les systèmes d'information géographique et les bases de données spatiales permettent de réaliser des zooms, de sorte que la question de l'échelle est moins problématique. Cependant, la précision de l'acquisition des données définit l'échelle optimale d'utilisation d'une base de données, ainsi les questions de taille minimum des polygones et de résolution de l'image doivent encore être abordées.

En fonction de l'échelle utilisée, la manière dont les objets du monde réel sont exprimés sur la carte varie (c.-à-d. point, ligne ou polygone). Un patch d'habitat peut être représenté par un polygone sur une carte à grande échelle ou par un point à plus petite échelle. De même, un habitat linéaire (par exemple une rivière ou une haie) sera dessiné comme un polygone à grande échelle et par une ligne à plus petite échelle. Ces différences de représentations produisent des changements dans la nomenclature, ce qui pose problème pour l'utilisation de bases de données multi-échelles. Les changements d'échelles sont régis par des processus spécifiques appelés généralisation (voir paragraphe 4.4.6).

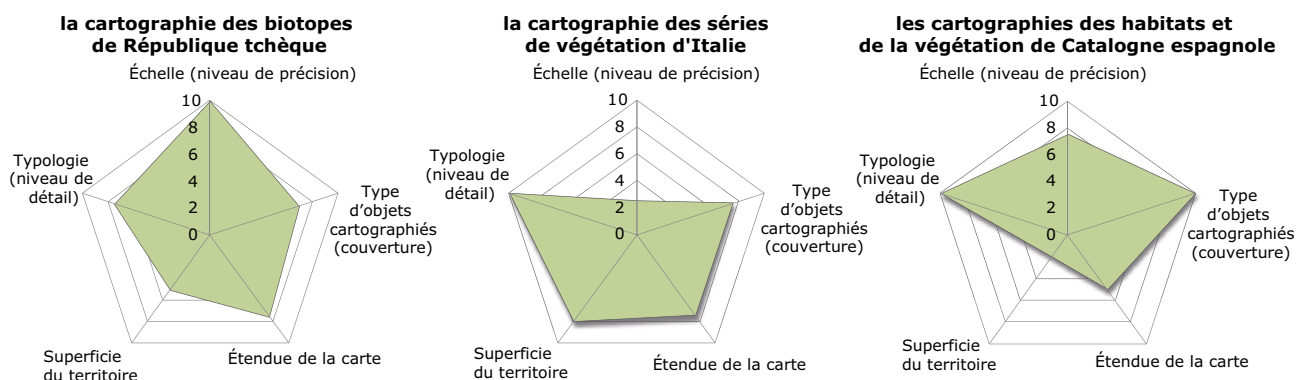
Projection

Les échelles peuvent être considérées comme précises sur l'ensemble d'une carte pour des petites zones, mais ce n'est pas le cas pour des cartes représentant de grandes surfaces. Les cartes sont des représentations planes de la terre, dont la forme est à peu près sphérique. Des transformations mathématiques, appelées projections, sont utilisées pour convertir les coordonnées d'un point sur la surface de la terre (latitude et longitude) en coordonnées sur la carte (par exemple en coordonnées cartésiennes : x et y). Mais chaque projection a ses zones spécifiques de distorsion où les rapports entre les distances au sol et les distances cartographiées (c'est-à-dire l'échelle) varient. Cependant, ces variations ne sont pas significatives par rapport à la précision spatiale de certains éléments qui ne sont pas clairement délimités dans le monde réel (par exemple, des types de sol ou les zones humides).

Une carte est une représentation du monde et ne peut pas refléter sa véritable complexité : elle est produite pour un objectif spécifique. Par conséquent, un équilibre doit être trouvé entre la précision spatiale (c.-à-d. l'échelle), la précision thématique (par exemple le type d'objet cartographié et le niveau de détail de la typologie) et l'étendue de la carte.

La figure 4.4 met en évidence le compromis entre les principales caractéristiques de trois programmes importants de cartographie en Europe : la cartographie des biotopes de République tchèque (voir encadré 4.1), la cartographie des séries de végétation d'Italie (voir section 7.5), et les cartographies des habitats et de la végétation de Catalogne espagnole (voir encadré 4.3).

Figure 4.4 Trois exemples représentatifs de grands programmes de cartographie en fonction de leurs caractéristiques clés



Note : Pour les types d'objets cartographiés et l'étendue de la carte voir les catégories au paragraphe 4.4.1. Pour les typologies : 1 = occupation du sol, 2 = classifications des habitats/biotopes sans correspondances vers la phytosociologie, 3 = classifications des habitats/biotopes avec des correspondances vers la phytosociologie, 4 = classifications phytosociologiques.

Encadré 4.3 - Étude de cas : La cartographie de la végétation et des habitats en Catalogne, Espagne

La cartographie environnementale est la continuité naturelle des études floristiques et phytosociologiques menées en Catalogne depuis la deuxième moitié du siècle dernier. En 1985, une équipe de recherche du département de botanique de l'université de Barcelone a initié le projet de cartographie de la végétation de Catalogne (VMC50) couvrant 32 000 km² à travers 89 cartes au 1/50 000. La désignation du réseau Natura 2000 implique des connaissances environnementales sur les habitats, ainsi entre 1998 et 2003, le gouvernement régional de Catalogne (*Generalitat de Catalunya*) a financé le projet de cartographie des habitats de Catalogne (CHC50). Les deux projets (VMC50 et CHC50) ont été fusionnés dans un même système d'information géographique, aujourd'hui largement utilisé comme outil pour l'aménagement du territoire (<http://www.ub.edu/geoveg/en/mapes.php>).

La carte de la végétation de Catalogne au 1/50 000 (VMC50)

La VMC50 est basée d'une part sur 350 références bibliographiques contenant environ 20 000 relevés phytosociologiques et, d'autre part, sur un important travail d'inventaires de terrain et de photo-interprétations d'orthophotos. La légende utilisée est issue de la classification phytosociologique. Ce projet couvre l'ensemble de la région, soit 32 000 km². Le résultat est un SIG à trois couches décrivant la végétation réelle, la végétation potentielle (les séries de végétation) et la physionomie de la végétation (par exemple, les essences forestières dominantes).

La végétation actuelle a une légende originale définie *a posteriori* lors des inventaires de terrain. L'opérateur doit attribuer un code de végétation à chaque zone écologiquement homogène du territoire. Dans ce processus, une distinction est faite entre :

- (i) une unité unique pour un polygone ;
- (ii) des mosaïques de végétation qui incluent des communautés végétales appartenant à des séries de végétation différentes qui ne peuvent être représentées individuellement à cette échelle ;
- (iii) les mosaïques temporelles (appelés complexides), qui sont des unités de cartographie avec des communautés appartenant à la même série de végétation, ce qui correspond à une tessela en phytosociologie. Ces unités de légende sont très analytiques. Le texte inclut les syntaxa, il est très descriptif et relativement complexe. Il vise deux publics : les phytosociologues et les utilisateurs non spécialisés.

Les unités de végétation potentielle correspondent généralement à des associations, mais peuvent également correspondre à des sous-associations, ou parfois à un complexe d'associations. Les unités physiologiques proposent une représentation simple de la végétation sur la base des espèces dominantes et des types d'occupation du sol.

La cartographie des habitats de Catalogne (CHC50)

La cartographie des habitats de Catalogne a été réalisée entre 1998 et 2003, à la suite de l'expérience de la carte de la végétation. Ce projet est conceptuellement (et méthodologiquement) très proche mais assez différents sur la forme et l'apparence. Cette carte est explicitement conçue pour être utilisée par des utilisateurs non-spécialistes, sans simplification du contenu.

Principales caractéristiques

L'élément le plus important de ce projet est une couche de polygones avec des informations sur les habitats. Il dispose de deux légendes : la classification CORINE biotopes (CEC 1991) et les habitats de l'annexe I de la directive sur la base du manuel d'interprétation des habitats de l'Union européenne. Pour résoudre le problème des mosaïques, chaque polygone peut comprendre jusqu'à trois habitats, avec leur couverture respective. La superficie minimale est fixée à 2,25 ha et la délimitation des polygones se fait sous SIG en utilisant les orthophotos numériques en couleur et infra-rouge couleur. Ce projet couvre environ 32 000 km².

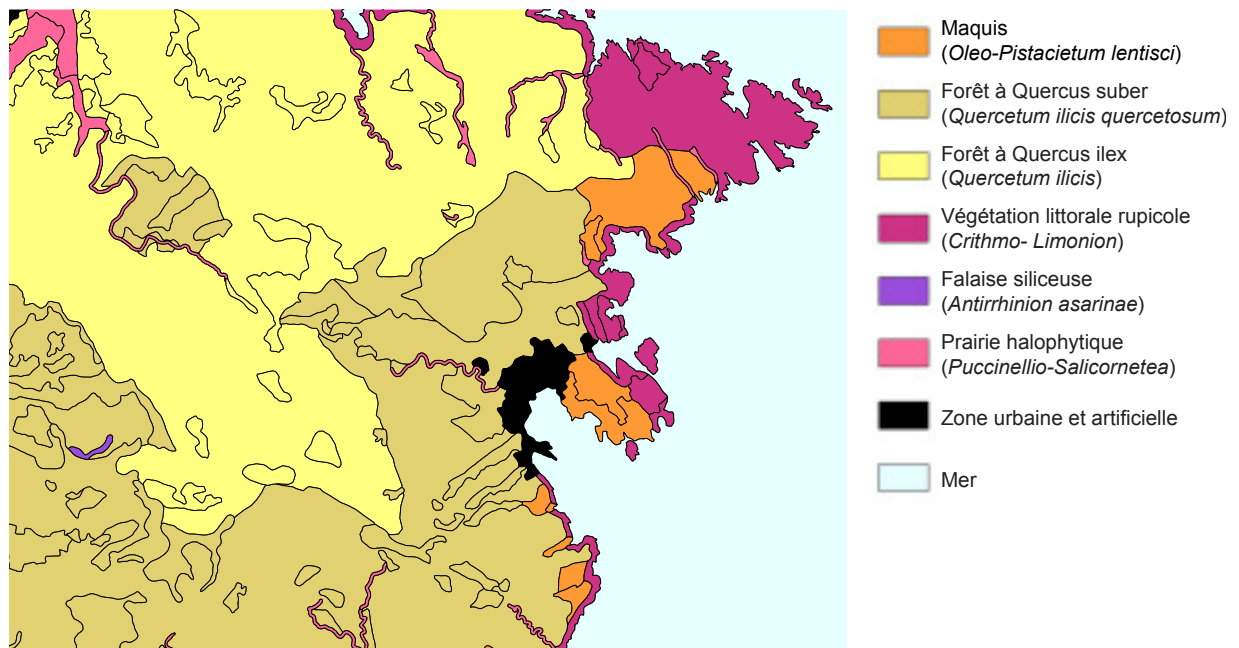
La légende basée sur la classification CORINE biotopes

La légende de la carte est une extension de la classification CORINE biotopes de 1991, et couvre l'ensemble des habitats présents en Catalogne, soit 440 habitats de la classification initiale CORINE et 200 habitats supplémentaires (<http://www.ub.edu/geoveg/en/ManualCORINE.php>). Beaucoup de ces habitats CORINE ne peuvent pas être représentés à l'échelle du 1/50 000, car ils couvrent des superficies trop faibles. Par conséquent, une nouvelle légende a été créée pour la cartographie avec une nouvelle codification. Les habitats qui peuvent être représentés individuellement à cette échelle sont distingués de ceux qui doivent être regroupés. Cette nouvelle légende comprend 270 unités. Pour les habitats CORINE importants (par exemple les HIC ou les habitats patrimoniaux) qui ne peuvent pas être représentés au 1/50 000, une couche cartographique complémentaire basée sur une couverture ponctuelle (sans échelle) a été créée avec leur localisation et leur superficie.

Légende des habitats de l'annexe I de la directive

La légende des habitats de l'annexe I est directement dérivée du manuel d'interprétation de l'UE mais adaptée à la Catalogne.

Carte 4.3 Extrait de la cartographie de la végétation de Catalogne, Espagne



Source : Geoveg

4.4.4. Gestion de projet

La gestion de projet est la forme d'organisation adoptée pour la mise en œuvre d'un programme et pour coordonner les partenaires afin d'atteindre les objectifs fixés. Elle comprend toutes les phases d'un programme, de la planification initiale à la publication et/ou la diffusion du (des) produit(s) final(aux).

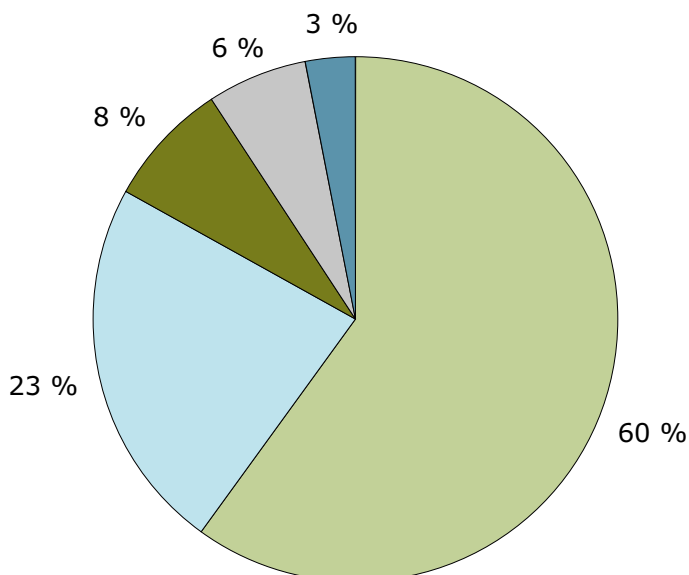
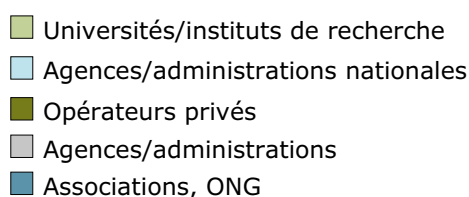
La complexité de l'organisation dépend de la taille et du contexte du programme. Le pilotage du projet est traditionnellement partagé entre le maître d'ouvrage et le chef de projet ; bien que dans certains cas, une même structure puisse remplir les deux fonctions. Pour les grands projets de cartographie, de nombreux partenaires sont susceptibles d'être impliqués et un mode de gouvernance doit être planifié en amont. La prise de décision et une partie de l'organisation sont souvent déléguées à un comité de pilotage.

4.4.4.1. Le maître d'ouvrage et le chef de projet

Le maître d'ouvrage est la structure qui initie le projet, le finance, identifie le chef de projet et maîtrise ses productions. Le chef de projet est la personne ou la structure qui dirige la planification et la mise en œuvre du projet. Il/elle est en charge du budget, de la planification et de la coordination entre les partenaires. Les types les plus fréquents de responsables de projet (voir Figure 4.5) sont :

- > les universités / instituts de recherche (60%). Traditionnellement la cartographie de la végétation est effectuée par des chercheurs. Les programmes de cartographie sur de vastes territoires impliquent une variété de disciplines scientifiques liées à la géobotanique, par exemple la phytosociologie, la géomatique et l'écologie du paysage. Aujourd'hui, dans des pays comme l'Italie, l'Espagne, la Hongrie et la Roumanie, une grande partie des projets de cartographie de la végétation est toujours effectuée par des universités ou des instituts de recherche ;
- > les agences/administrations nationales (23%). Une agence nationale ou une autorité administrative (par exemple un ministère) est souvent le maître d'ouvrage de grands projets de cartographie. Dans certains cas, les agences nationales sont également responsables de la coordination de la cartographie des habitats au niveau national, par exemple, l'Agence pour la conservation de la nature de République tchèque, ou l'Agence pour la protection de l'environnement suédois et l'Institut pour la protection de l'environnement et de la recherche en Italie (ISPRA) ;
- > les opérateurs privés (8%). Dans certains pays fédéraux comme l'Allemagne, l'Espagne (Pays basque et Aragon) et en Autriche, des projets régionaux sont délégués à des bureaux d'études spécialisés. En Irlande, de nombreux inventaires de catégories d'habitats (par exemple, les forêts, les prairies semi-naturelles et les marais salants) sont réalisés par des consultants sous contrat avec le service national des parcs nationaux et de la faune sauvage ;
- > les agences/administration régionales (6%). Pour certains pays fédéraux comme la Belgique et les pays décentralisés tels que le Royaume-Uni, les organismes de conservation de la nature fonctionnent au niveau régional et sont en charge des projets de cartographie des habitats ;
- > les organisations non gouvernementales (3%), tels que l'Institut d'écologie appliquée (DAPHNE) en Slovaquie ou le Centre de cartographie de la faune et de la flore (CKFF) en Slovénie.

Figure 4.5 Les principales catégories de maîtres d'ouvrage de cartographie d'habitats sur de vastes territoires



4.4.4.2. Comité de pilotage

De nombreux projets ont mis en place un comité de pilotage représentant les différents partenaires et domaines d'expertise. La tâche principale du comité de pilotage est de fournir des conseils sur des questions clés, en étroite collaboration avec le chef de projet.

Les principales fonctions du comité de pilotage sont :

- > assurer la coopération entre les partenaires au sein du programme ;
- > définir l'orientation scientifique et technique du programme ;
- > demander une expertise externe pertinente lorsque cela est nécessaire ;
- > confier des mandats à des commissions ou des groupes de travail ;
- > examiner et valider les productions et leurs résultats ;
- > assurer la coordination avec des projets connexes et des institutions partenaires ;
- > définir la stratégie de communication du programme.

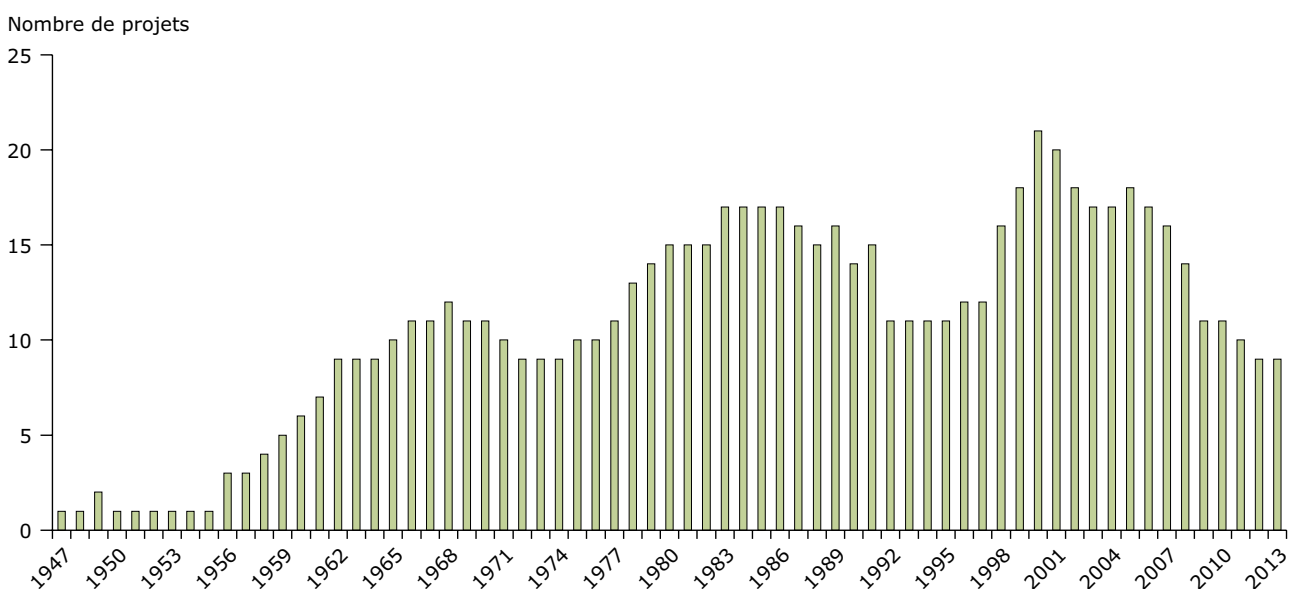
La composition du comité de pilotage varie selon le contexte, mais il comprend habituellement au moins des représentants du principal organisme financeur et des principaux partenaires techniques (par exemple, les scientifiques, les géomaticiens, les opérateurs de terrain). Les autres partenaires du projet peuvent être invités, mais le nombre de membres est souvent limité pour une prise de décision efficace.

4.4.5. Dates et durées des projets

4.4.5.1. Dates

Les plus anciennes cartes sélectionnées pour cette étude sont des cartes de végétation potentielle datant des années 1950 (Albanie, ex-Tchécoslovaquie et Italie). Cependant, la moitié des projets inventoriés a commencé après 1988. La figure 4.6 présente le nombre de projets achevés ou en cours par année, et montre clairement une augmentation importante de projets après l'adoption de la directive Habitats en 1992. Outre le besoin de connaissance sur les habitats, la directive a été accompagnée par des possibilités de financement (par exemple, le programme LIFE financé par l'UE). Beaucoup de pays y ont vu une possibilité d'améliorer leur connaissance sur les habitats et leur distribution. Cette tendance a été accentuée par l'adhésion à l'UE des pays d'Europe centrale et orientale en 2004 et 2007. Les améliorations techniques dans le domaine de la géomatique et la démocratisation des SIG peuvent également aider à expliquer l'augmentation du nombre de projets à partir du milieu des années 1990.

Figure 4.6 Nombre de projets achevés ou en cours par année



4.4.5.2. Durée

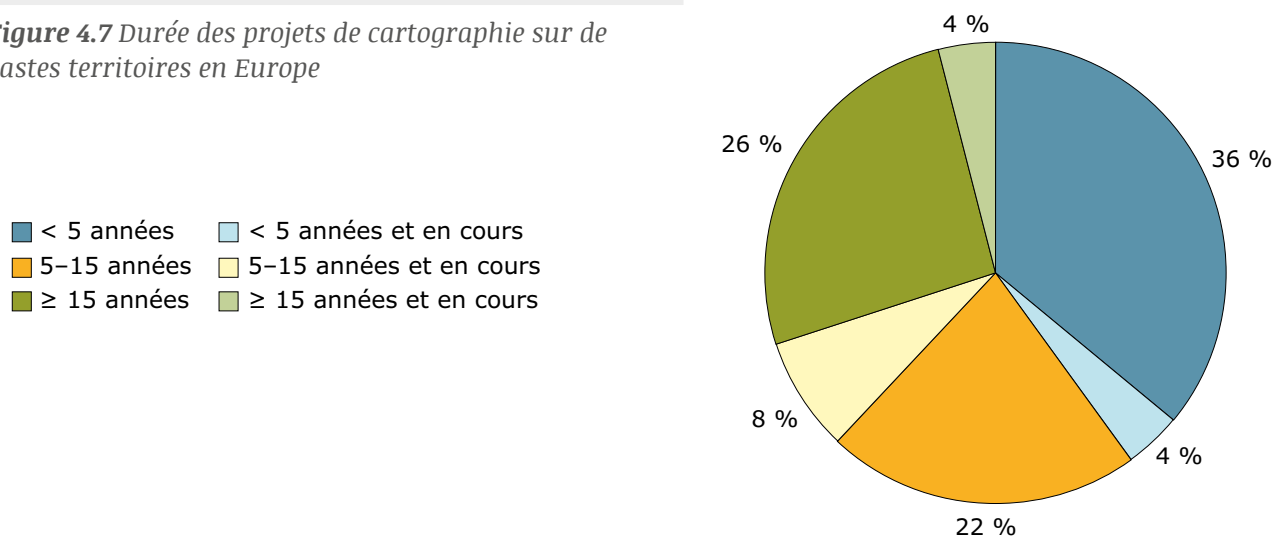
La durée des projets varie largement (Figure 4.7) : plus d'un tiers des programmes (36%) a duré moins de 5 ans, 22% entre 5 et 15 ans et 26% plus de 15 ans.

Pour déterminer la durée d'un projet, il faut évaluer les moyens (humains et matériels) au regard des objectifs fixés. Nos résultats ont mis en évidence que les programmes trop longs ou trop courts doivent souvent faire face à un certain nombre de problèmes.

Les projets de cartographie ambitieux avec une durée insuffisante sont susceptibles de rencontrer des problèmes de qualité. Plusieurs programmes importants ont été planifiés en moins de quatre ans. Ceci est généralement justifié par des contraintes budgétaires et des agendas politiques. Pour respecter les délais, il y a souvent des compromis entre la réduction du nombre de jours de terrain et l'augmentation du nombre d'opérateurs (donc parfois moins expérimentés). En conséquence, la précision générale de la carte finale diminue.

D'autre part, les programmes d'une durée de 10 à 20 ans peuvent avoir des difficultés à être maintenus dans le temps. Le financement à long terme est rare et plusieurs programmes risquent d'être abandonnés ou retardés en raison de l'évolution des agendas politiques. Un autre problème rencontré est le risque d'obsolescence de certaines parties de la carte finale au moment de la finalisation du projet.

Figure 4.7 Durée des projets de cartographie sur de vastes territoires en Europe



Encadré 4.4 - Étude de cas : le programme Méta en Hongrie

Les principaux objectifs du programme de cartographie des habitats (*Méta*) sont de cartographier la végétation naturelle de Hongrie et de construire une base de données sur les habitats (Molnar *et al.*, 2007 ; Horváth *et al.*, 2008). Le projet, financé par le gouvernement hongrois, est le plus important programme sur la végétation en Hongrie. Le projet a débuté en 2002. Après une année pour l'élaboration de la méthodologie, l'essentiel du travail de terrain a été réalisé entre 2003 et 2005.

L'ensemble du territoire de la Hongrie (93 010 km²) comportant une végétation d'intérêt patrimonial a été cartographié. Sur ces secteurs, tous les types d'habitats naturels et semi-naturels, même dégradés, ont été documentés. Toutefois, les cultures, les habitations, les plantations d'arbres non indigènes et les eaux libres ont été exclues.

La typologie utilisée est le système national de classification générale des habitats de Hongrie (ÁNÉR) qui a été mis à jour avant et après le projet *Méta* (Bölöni *et al.*, 2003 et 2011). Le système de classification des habitats ÁNÉR est partiellement compatible avec les typologies européennes (EUNIS, CORINE biotopes, HIC) mais il prend également en compte les spécificités de la végétation pannonienne (Bölöni *et al.*, 2007).

La cartographie est basée sur une grille hexagonale, ainsi la base de données n'a pas une échelle, mais plutôt une résolution (des hexagones de 35 ha comme niveau de base, et des quadrats de 3500 ha). L'échelle est équivalente au 1/200 000.

La cartographie *Méta* a utilisé une combinaison d'inventaires de terrain et d'interprétations d'images satellites (SPOT-4). Les opérateurs doivent visiter tous les hexagones où la végétation naturelle couvre au moins 20% de la superficie. Près de 200 botanistes de terrain qualifiés ont été recrutés. Pour assurer la qualité des données, un processus de formation spécifique a été développé (voir Molnar *et al.*, 2007) et les données ont été évaluées par les correspondants régionaux et des experts nationaux (Bölöni *et al.*, 2008a; Molnár *et al.*, 2008a).

Les résultats de l'enquête sont gérés dans une base de données relationnelle centralisée contenant environ 1 500 000 enregistrements et sont partiellement accessibles en ligne (<http://www.novenyzetiterkep.hu>). Une application web spécifique a été développée pour les chercheurs avec le stockage de requêtes SQL (voir Horváth & Polgár, 2008).

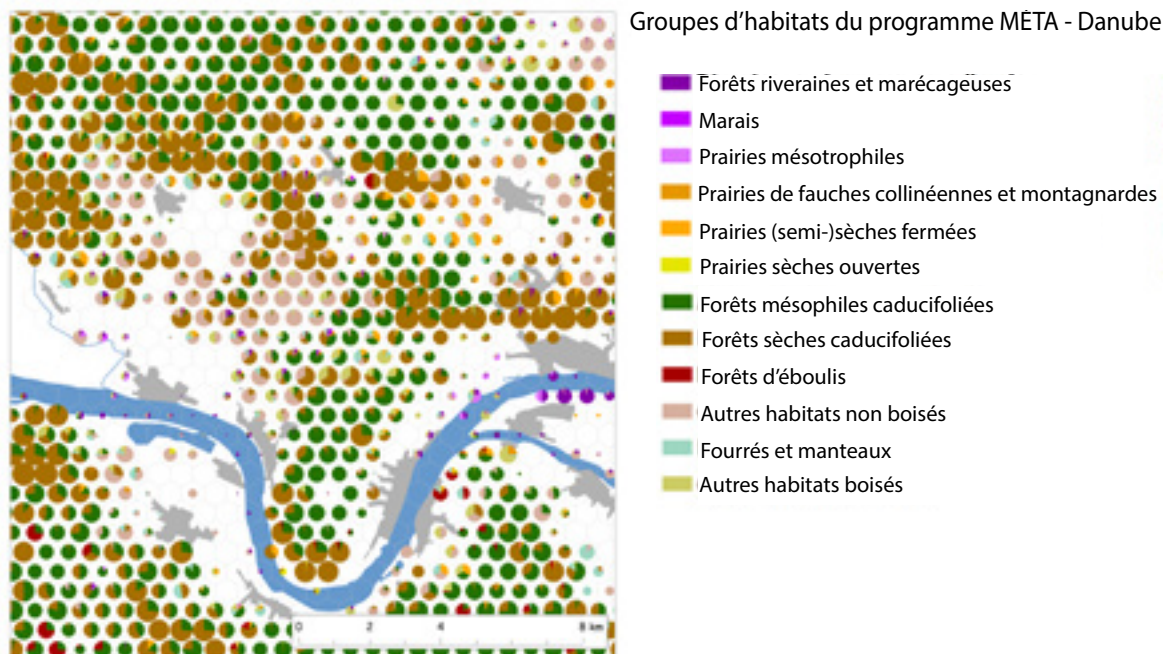
Les résultats de la cartographie *Méta* ont été publiés dans un numéro spécial de la revue *Acta Botanica Hungarica* en 2008. Un livre sur les habitats hongrois (Bölöni *et al.*, 2011) fournit des descriptions détaillées (avec des cartes et des illustrations) de tous les habitats cartographiés, tandis qu'un guide de photographique aide les non-botanistes à identifier les types d'habitat hongrois (<http://www.novenyzetiterkep.hu/fototar/index.html>).

La base de données est régulièrement consultée pour les évaluations d'impacts environnementaux, car elle contient des informations sur les types d'habitats, leur qualité et leur naturalité (Bölöni *et al.*, 2008). Pour les évaluations générales du paysage, un indice du capital naturel basé sur la végétation a été développé (Czúcz *et al.*, 2008). La base de données *Méta* est également utilisée pour l'élaboration de protocoles de surveillance agro-environnementaux (Horváth & Szitár, 2007), pour les prédictions des impacts potentiels du changement climatique sur les écosystèmes (Czúcz *et al.*, 2009) et pour établir la carte de la végétation potentielle de Hongrie (Somodi *et al.*, 2009).

Cependant, l'utilisation pratique de la base de données pour la conservation de la nature au niveau régional ou national est considérée comme limitée. Par exemple, la base de métadonnées n'a pas été utilisée pour la préparation de la liste rouge des habitats, car la typologie des habitats n'est pas suffisamment détaillée.

Enfin, bien que la base de données n'ait pas été disponible au moment de la sélection et de la désignation des sites Natura 2000, le projet *Méta* a servi de base pour le rapportage national hongrois au titre de l'article 17 de la directive Habitats pour la période 2001-2007.

Carte 4.4 Extrait du programme de cartographie des habitats *Méta* en Hongrie



Source : MTA ÖBKI, Hongrie

4.4.6. Systèmes d'information

4.4.6.1. Fonctions et types de systèmes d'information

Un système d'information comprend tous les moyens nécessaires à la mise en œuvre d'un système informatique. Il permet une optimisation de l'acquisition, du stockage, de la gestion, de l'organisation et de la diffusion de données thématiques. Il a pour objectif de s'assurer que la chaîne de production est conforme aux contraintes méthodologiques et techniques.

Pour la cartographie des habitats, les principales caractéristiques d'un système d'information sont la composante spatiale et la typologie des objets.

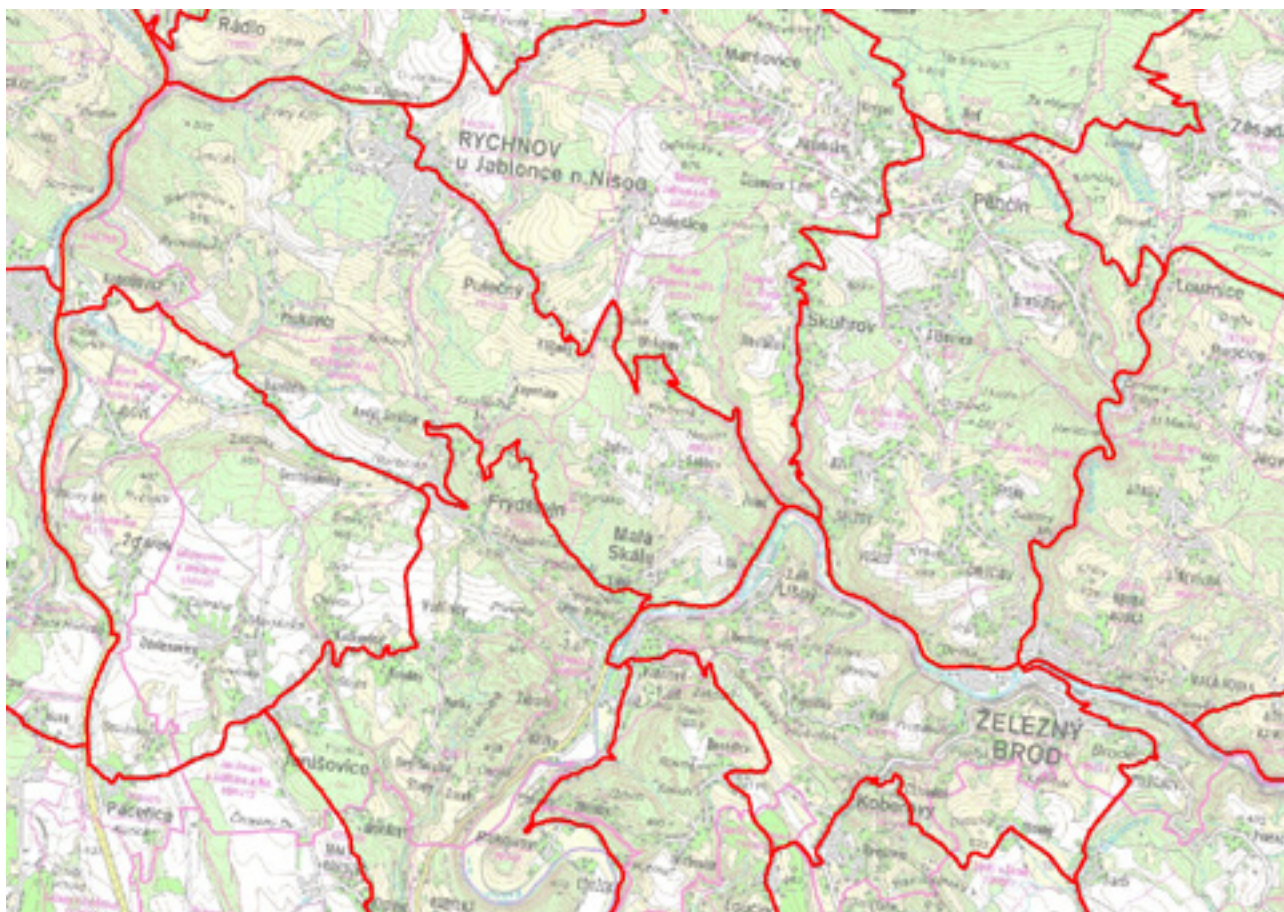
Dans le cadre de l'enquête européenne, un examen des différents systèmes d'information de cartographie des habitats a été réalisé. Quelques questions clés ont été mises en évidence : les contraintes topologiques, les approches multi-échelles et la cohérence entre nomenclatures et standards de données. La question des outils d'acquisition de données est développée dans la section 5.7.

4.4.6.2. Contraintes topologiques

Étant donné que les projets importants de cartographie des habitats peuvent impliquer un grand nombre d'opérateurs de terrain (par exemple, jusqu'à 770 pour la République tchèque), des règles topologiques claires doivent être mises en place pour assurer la continuité et l'intégrité entre les différents objets de la carte. Par exemple, toute modification de la géométrie d'un objet aura une incidence sur ses plus proches voisins. Par conséquent, les zones à cartographier sont principalement divisées de la manière suivante :

- > selon des limites administratives (par exemple, régions ou comtés) ou de projet (par exemple, la feuille de cartographie). Plusieurs chefs de projet ont souligné que la jointure de feuilles cartographiées par des auteurs différents est une tâche chronophage et une source potentielle d'incohérences dans le produit final. Pour la cartographie forestière en France, l'Institut national de l'information géographique et forestière utilise des secteurs carrés, et chaque secteur est cartographié par un opérateur. Pour assurer la continuité des objets, deux secteurs adjacents ne peuvent pas être cartographiés simultanément ;
- > selon des limites naturelles et/ou physiques du paysage (par exemple les cours d'eau, les routes). Le principal avantage de cette approche est que ces limites sont clairement distinguées à la fois sur le terrain et sur les cartes et ne devraient pas changer au fil du temps. Cela limite ainsi les problèmes de continuité entre les objets de différents secteurs. Cette approche est utilisée avec succès par l'Agence pour la conservation de la nature de République tchèque (AOPK ČR) pour son programme de cartographie des habitats (voir carte 4.5).

Carte 4.5 Le découpage des secteurs pour la cartographie des habitats en République tchèque



Source: AOPK ČR

4.4.6.3. Approche multi-échelles et cohérence des informations

L'un des défis de la cartographie des habitats est celui de l'exploitation à différentes échelles afin de répondre à des besoins multiples : fournir de l'information détaillée à grande échelle et des informations générales à petite échelle.

La transition d'une échelle peut se faire en regroupant des objets semblables. Ce processus, appelé généralisation, est régi par un ensemble de règles à la fois topologiques (géographiques) et typologiques (thématiques). La généralisation topologique correspond à la simplification d'un objet géométrique en conservant sa forme de base sans provoquer de déformation majeure ou modifier son intégrité topologique. La généralisation thématique est une question plus complexe, et il n'est pas toujours possible d'utiliser un rang hiérarchique supérieur dans la classification. La couverture végétale est souvent organisée en mosaïques et différentes approches existent pour les représenter à plus petite échelle (Falinski, 1999; Pedrotti, 2004 et 2013) (voir paragraphe 4.4.5).

4.4.6.4. Cohérence entre les classifications et les référentiels géographiques et typologiques

Les objets composant une carte de végétation sont rattachés à des référentiels (géographiques, typologiques) qui correspondent généralement à des méthodologies standardisées.

L'un des rôles d'un système d'information à l'échelle nationale ou régionale est d'assurer la disponibilité des référentiels, leur mise à jour et leur homogénéité sur le territoire à cartographier.

Le principal problème réside dans la gestion des mises à jour entre les différents utilisateurs et les jeux de données, sachant que les référentiels et les nomenclatures peuvent changer fréquemment. En République tchèque, toutes les données sont enregistrées en ligne, ce qui permet de s'assurer que toutes les nouvelles données sont conformes à la dernière version des listes de référence.

4.4.6.5. Système centralisé ou système distribué

Selon le nombre et le type de partenaires, les objectifs, le contexte historique et politique, les systèmes d'information peuvent être soit centralisés soit distribués.

L'organisation d'un système d'information distribué est basée sur les systèmes existants des différents partenaires impliqués dans la production cartographique. Dans ce cas, le rôle du système d'information national est de vérifier la cohérence et l'interopérabilité entre les différents systèmes. Il fournit des référentiels, leurs mises à jour et un cadre commun pour l'échange de données. Les données sont stockées dans les systèmes locaux, mais sont consolidées et évaluées à un niveau national. En Italie, le système *Carta della Natura* est organisé de manière distribuée, avec une validation nationale avant la diffusion régionale (voir encadré 4.5).

Un système centralisé est basé sur des outils communs partagés par tous les partenaires impliqués dans la production cartographique. Il prend généralement la forme d'un portail national, ce qui génère une plus grande homogénéité des données, mais également plus de contraintes pour les utilisateurs. Dans ce cas, l'accent doit être mis sur le développement d'outils adaptés aux besoins spécifiques des différents partenaires et inclure de la formation. L'Agence pour la conservation de la nature de République tchèque gère son programme de cartographie des biotopes avec un portail central (voir encadré 4.6).

Encadré 4.5 - Étude de cas : Carta della Natura en Italie

Le système d'information *Carta della Natura* a deux objectifs principaux : (i) identifier l'état de l'environnement naturel en Italie ; et (ii) évaluer la qualité et la fragilité des habitats. C'est un instrument fondamental pour la connaissance et les évaluations en Italie. Il est coordonné par l'Institut national italien pour la protection et la recherche environnementale (ISPRA), un organisme public relevant du ministère en charge de l'Environnement, à travers un réseau d'universités, d'administrations régionales et d'organismes régionaux de l'environnement.

Les résultats sont multi-échelles : une carte des unités paysagères (1/250 000) achevée en 2001 et des cartographies d'habitats au niveau régional (1/50 000) et local (1/10 000). La production des cartes régionales et locales a débuté en 2004 et est toujours en cours. À ce jour, environ la moitié du territoire national a été couvert.

La détection, l'identification et la cartographie des habitats sont effectuées en intégrant des informations à partir d'images satellites, d'inventaires de terrain et d'autres données spatialisées (par exemple, l'occupation du sol et les cartes forestières). Une cartographie expérimentale des habitats a été réalisée uniquement sur la base d'images satellites (Landsat 7 ETM+) et interprétée par une classification supervisée. Cependant, la segmentation physiologique basée sur des cartes d'occupation du sol s'est avérée être une méthode beaucoup plus efficace.

La carte de la qualité de la valeur écologique indique la valeur naturelle du territoire, et la carte de la qualité de la sensibilité écologique indique sa sensibilité à la dégradation. Les indicateurs impliqués dans la production de cartes de qualité de l'habitat peuvent être divisés en trois groupes principaux :

- › présence d'habitats d'intérêt patrimonial tels que les habitats de l'annexe I ;
- › éléments de biodiversité (présence de flore et de faune particulières) ;
- › éléments d'écologie du paysage (taille, forme et agencement des patches).

La cartographie qualitative de l'impact humain indique l'impact des activités humaines comme la fragmentation causée par les infrastructures, les centres urbains, les zones industrielles, les carrières et des zones agricoles. La cartographie qualitative de la fragilité de l'environnement est basée sur une combinaison de la sensibilité de l'environnement avec l'impact humain, selon une matrice à double entrée qui met en évidence les zones les plus sensibles à l'impact humain.

- › Les données peuvent être consultées sur le site web Carta della Natura (<http://sgi2.isprambiente.it/Sistema-CartaNatura/>).

L'interopérabilité avec d'autres systèmes

L'enjeu de l'interopérabilité entre les systèmes est de faciliter l'échange de données. L'objectif est de permettre à différents systèmes d'avoir accès et d'utiliser de manière cohérente des informations provenant de diverses sources. La principale initiative internationale dans ce domaine est l'*Open Geospatial Consortium (OGC) qui favorise le développement et la mise en œuvre de normes ouvertes pour l'information et les services spatialisés, le traitement et le partage de données SIG* (<http://www.opengeospatial.org>).

Dans l'UE, le développement le plus important dans ce domaine est la directive INSPIRE. Entrée en vigueur en mai 2007, elle établit une infrastructure d'information spatiale pour soutenir les politiques environnementales communautaires ainsi que les politiques ou les activités pouvant avoir un impact sur l'environnement. L'interopérabilité est définie comme l'accès à des jeux de données par le biais des services en réseau, généralement via internet. Des spécifications particulières sont définies pour les données sur les habitats et les biotopes (<http://inspire.jrc.ec.europa.eu>). Les types d'habitats de l'annexe I de la directive et la classification des habitats EUNIS ont été adoptés comme les principales listes de référence. Pour être conforme à INSPIRE, chaque donnée d'habitat doit avoir une ou deux correspondance obligatoire (vers les habitats de l'annexe I et/ou EUNIS) et une seconde correspondance optionnelle vers une classification d'habitats nationale ou locale, sous réserve qu'elle soit reconnue, publiée et documentée.

Encadré 4.6 - Étude de cas : Le système d'information de l'Agence pour la conservation de la nature en République tchèque

Le système d'information utilisé pour la cartographie des habitats en République tchèque est centralisé. En effet, l'Agence pour la conservation de la nature (AOPK ČR) coordonne l'ensemble de la cartographie des habitats en République tchèque. Les données de terrain sont collectées par des experts sur des bordereaux et des cartes papiers. Pour la cartographie des habitats, le pays est divisé en 3 500 districts délimités par des éléments visibles du paysage (par exemple les routes, les chemins de fer et les cours d'eau). Cette répartition facilite l'orientation sur le terrain et le post-traitement des données.

Après le travail de terrain, les enquêteurs soumettent leurs données sous forme numérique via une application web (*Wana*) développée et gérée par AOPK ČR. L'interface web est basée sur deux applications distinctes : une pour les données tabulaires, l'autre pour les données géographiques. L'application en ligne est continuellement mise à jour et donc tous les utilisateurs utilisent la dernière version de l'application et des référentiels (par exemple les listes d'espèces, d'habitats, les types de pressions), ce qui rend les post-traitements plus efficaces. Les données sont d'abord contrôlées par les coordinateurs régionaux (personnel AOPK ČR), puis par le gestionnaire du système d'information central, avec l'aide d'outils de contrôle spécifiques.

Lors de l'édition, les données sont stockées sur un serveur sous forme de couches géographiques et de tables attributaires. Quand une zone est terminée et validée, les données sont transférées du serveur vers le système d'information central et les polygones sont automatiquement créés avec les tables associées. Une fois par an, le gestionnaire du système d'information consolide une nouvelle version de la couche de cartographie des habitats. La couche d'habitats combine les données mises à jour avec les données originales de la première cartographie. La version actuelle de la couche des habitats mise à jour est disponible en consultation publique en ligne (<http://mapy.nature.cz>). Une version complète est disponible sous licence AOPK ČR.

4.4.7. Diffusion des résultats

L'évolution rapide des possibilités de traitement et la disponibilité croissante d'importants jeux de données ouvrent de nouvelles perspectives pour la diffusion de l'information. Par exemple, les services de cartographie en ligne sont désormais très répandus, ce qui permet un accès instantané et interactif aux données géographiques pour de nombreux utilisateurs. Cette évolution technique accompagne l'évolution des politiques favorisant l'accessibilité aux données environnementales (par exemple, la directive INSPIRE et la Convention d'Aarhus). Plus de 20 plateformes SIG en ligne ont été rencontrés au cours de cette enquête. Elles proposent des services assez variables en termes d'information et de résolution ; les plateformes les plus basiques offrent un simple affichage de la carte à une résolution équivalente à l'échelle publiée (par exemple 1/25 000). Cependant les cartes d'habitat peuvent désormais souvent être affichées avec des cartes topographiques et d'autres couches thématiques environnementales (occupation du sol, géologie, sols, hydrologie) ou administratives (limites administratives, zones protégées). Certains programmes, comme en Catalogne (Espagne), permettent le téléchargement libre de la couche de cartographie, tandis que d'autres exigent des licences pour la diffusion des couches.

Encadré 4.7 - Étude de cas : SynBioSys

Une initiative importante en termes de systèmes d'information sur la biodiversité est le Système syntaxonomique biologique (SynBiosys), un concept d'abord développé aux Pays-Bas. Le système néerlandais (SynBiosys Pays-Bas) a servi d'exemple pour le développement d'un système en Europe, SynBiosys Europe (Ozinga & Schaminée, 2004; Schaminée & Hennekens, 2001, 2005), et ailleurs dans le monde, comme SynBiosys Fynbos qui couvre la riche biodiversité du biome du fynbos sud-africain (Schaminée & Hennekens, 2011).

SynBiosys Europe est une initiative de l'EVS (voir section 3.1). Il comprend différents niveaux avec des sources spécifiques, au niveau des communautés végétales (par exemple les bases de données nationales et régionales TURBOVEG; Hennekens & Schaminée, 2001; Schaminée *et al.*, 2009) et des paysages (données de la carte européenne de végétation naturelle; Bohn *et al.*, 2004). La structure du système et les bases de données associées permettent des requêtes définies par l'utilisateur. Les partenaires seront en mesure de télécharger des données comme les relevés de végétation et de mettre en lien les données du système avec d'autres types d'informations provenant d'ailleurs en Europe, à travers des requêtes, analyses et visualisations.

4.5. Références clés

- Angelini, P., Augello, R., Bagnaia, R., Bianco, P., Capogrossi, R., Cardillo, A., Ercole, S., Francescato, C., Giacanelli, V., Laureti, L., Lugeri, F., Lugeri, N., Novellino, E., Oriolo, G., Papallo, O., & Serra, B. (2009). *Il progetto Carta della Natura. Linee guida per la cartografia e la valutazione degli habitat alla scala 1:50.000*. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma.
- Härtel, H., Lončáková, J., & Hošek, M. (Eds.) (2008). *Mapování biotopů v České republice. Východiska, výsledky, perspektivy* (Habitat mapping in the Czech Republic. Background, results and perspectives) (p. 195). Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Prague. (avec un résumé en anglais)
- Ichter, J., Savio, L., Evans, D., Poncet, L. (in press.). State-of-the-art of vegetation mapping in Europe: results of a European survey and contribution to the French program CarHAB. *Documents phytosociologiques*.
- Loidi Arregui, J. J. (1999). Preserving biodiversity in the European Union: the Habitats Directive and its application in Spain. *Plant Biosystems*. 133, 99-106.
- Molnár, Z., Bartha, S., Seregélyes, T., Illyés, E., Botta-Dukát, Z., Tímár, G., Horváth, F., *et al.* (2007). A grid-based, satellite-image supported, multi-attributed vegetation mapping method (MÉTA). *Folia Geobotanica*, 42(3), 225-247.
- Vigo, J., Carreras, J., Ferré, A. (Eds.) (2006). *Cartografia dels Hàbitats a Catalunya. Manual d'interpretació*. Generalitat de Catalunya, Dept de Medi Ambient i Habitatge, Barcelona.

5. L'enquête sur les expériences de cartographie des habitats en Europe : les méthodologies de cartographie

RÉSUMÉ DU CHAPITRE

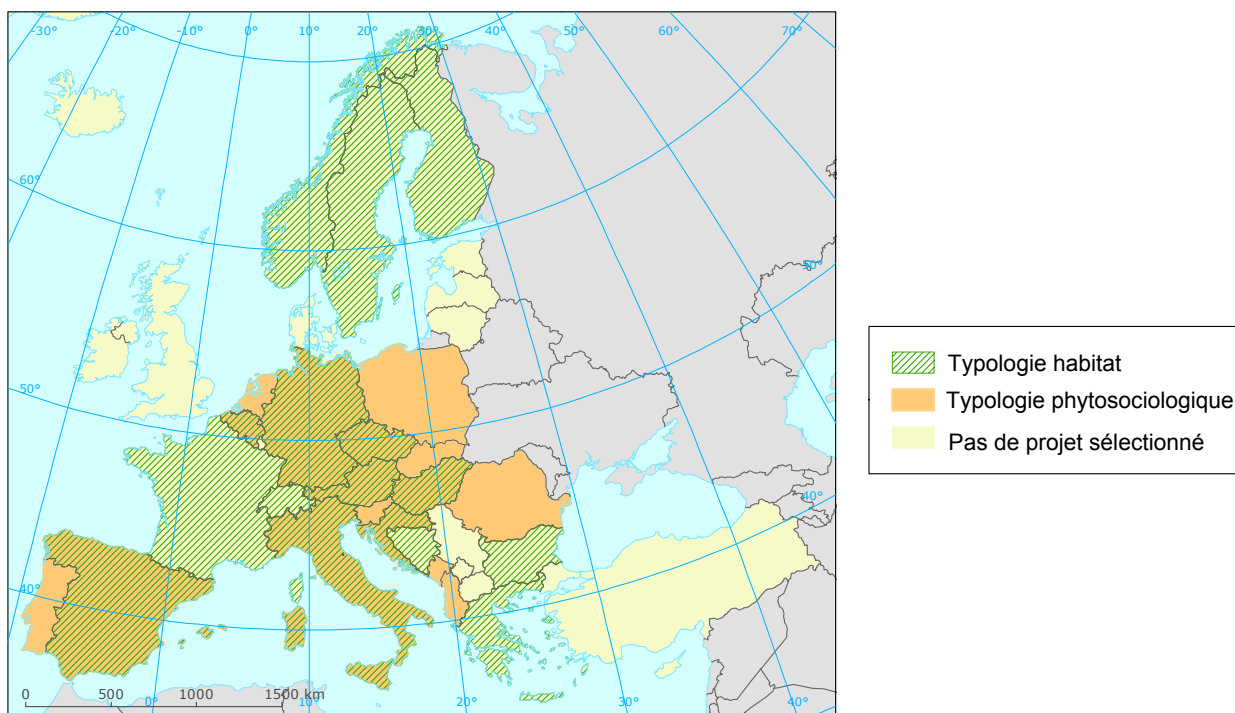
L'un des principaux objectifs de l'enquête est de fournir des informations pertinentes pour les projets régionaux ou nationaux de cartographie. Par conséquent, une attention particulière a été accordée aux questions méthodologiques. Ce chapitre met en évidence un certain nombre de problématiques récurrentes : les typologies, les fonds cartographiques et les données environnementales, la valorisation de l'existant (cartes et inventaires), les mosaïques et les complexes d'habitats, la télédétection et la modélisation, la mise en œuvre sur le terrain, les mises à jour, la validation des données et le contrôle de la qualité.

5.1. Différentes typologies pour différents objectifs

Comme mentionné précédemment, seuls les projets utilisant les classifications basées sur la phytosociologie et les typologies d'habitats / biotopes (avec correspondances vers la phytosociologie) ont été sélectionnés pour l'enquête. Les cartes basées sur les classifications d'habitats sans correspondances explicites vers la phytosociologie (par exemple les types d'occupation du sol) n'ont pas été examinées.

La carte 5.1 montre la variabilité des approches quant aux typologies utilisées dans les différents pays européens.

Carte 5.1 Les typologies utilisées par les projets de cartographie sélectionnés dans le cadre de l'enquête européenne



Source : MNHN, CTE/DB

Encadré 5.1 - Étude de cas : la préparation d'une classification de la végétation et des habitats de Grèce

L'échantillonnage systématique de la végétation n'a pas une longue tradition en Grèce ; ainsi, lors de l'entrée en vigueur de la directive Habitats le niveau de connaissance était lacunaire pour la majorité des unités de végétation et des types d'habitats de l'annexe I. Cela a conduit à un vaste projet de cartographie des habitats (basé sur une approche phytosociologique sigmatiste) réalisé de 1999 à 2001 au sein des sites Natura 2000 de Grèce (22% du territoire national). Ce programme important, coordonné par des scientifiques grecs en collaboration avec des collègues étrangers, et financé dans le cadre d'un programme LIFE, a permis un échantillonnage de plus de 13 500 parcelles individuelles. Les relevés de végétation au sein de chaque site Natura 2000 ont été utilisés pour identifier et décrire les communautés végétales, et donc pour documenter la présence, l'étendue et la répartition spatiale des types d'habitats de l'annexe I présents en Grèce (n = 85), ainsi que d'un certain nombre d'habitats patrimoniaux pour la Grèce (n = 30) et leurs correspondances vers des syntaxa (Dimopoulos *et al.*, 2006). Le système de classification utilisé pour la cartographie des habitats en Grèce contient tous les types d'habitats (UE et patrimoniaux) pouvant être définis par des types de végétation.

La classification des relevés de végétation a été réalisée uniquement au niveau local (par site Natura 2000) et les communautés végétales identifiées ont été rattachées au rang supérieur de la classification phytosociologique (c'est-à-dire l'alliance, l'ordre ou la classe). À ce jour, aucune synthèse syntaxonomique exhaustive de la végétation grecque n'est disponible, ni au niveau national, ni au niveau régional. Le schéma syntaxonomique établi en 2001 est dérivé d'une démarche descendante (top-down), en intégrant des ordres et des alliances publiés et valides par itérations successives. Il comprend 50 classes, 94 ordres et 134 alliances. Les types d'habitats identifiés correspondent à 680 unités syntaxonomiques (principalement au niveau de l'association et de la communauté végétale, et dans une moindre mesure, au niveau de l'alliance), qui ont été adaptées à un système de classification hiérarchique unifié. La première typologie syntaxonomique des végétations selon les règles de la nomenclature phytosociologique a été établie en 2000. Elle a été incluse dans le guide technique pour l'identification, la description et la cartographie des types d'habitats de Grèce (Dafis *et al.*, 2001).

Le système, mis en place en 2001, est composé : i) des communautés nouvellement identifiées ; ii) d'une compilation de toutes les associations/communautés publiées et de leur rattachement à un rang syntaxonomique supérieur ; iii) de correspondances vers les types d'habitat de l'annexe I.

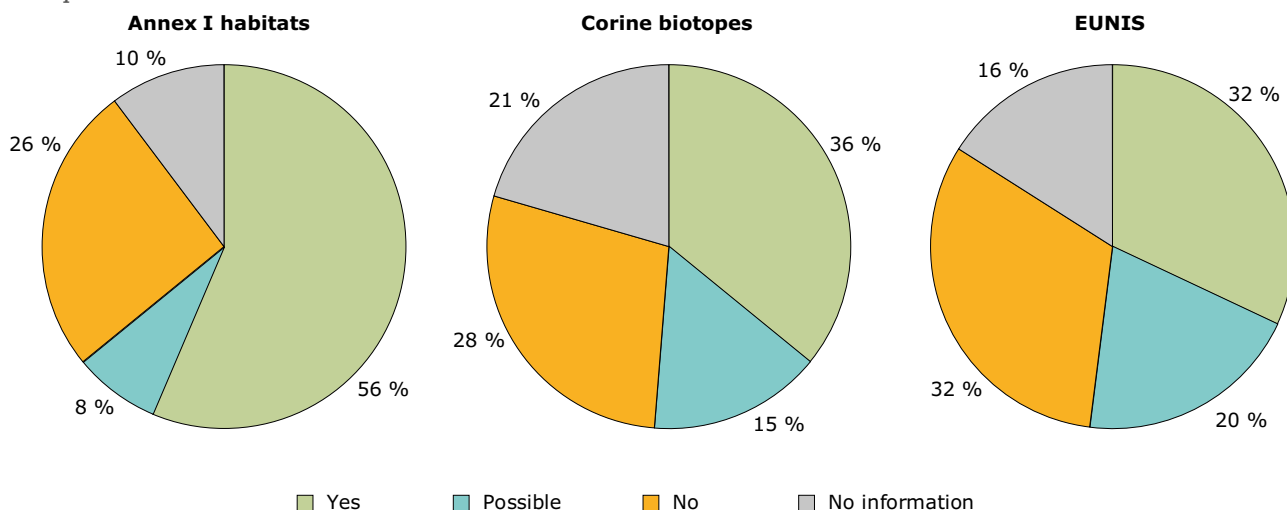
À l'heure actuelle, un travail est en cours afin de fournir une vue d'ensemble de tous les types de végétation de Grèce et de leurs correspondances syntaxonomiques sur la base de relevés de terrain. Le but est de produire une classification nationale de la végétation détaillée et exhaustive, puis un synsystème phytosociologique à jour des végétations de Grèce. Ce travail suivra les principes de nomenclature adoptés pour la future checklist de la végétation européenne (Mucina *et al.*, en prép.)

Une majorité des initiatives sélectionnées ont mis en place des correspondances entre typologies (figure 5.1):

- > 64% des projets achevés après 1991 ont utilisé une typologie avec des correspondances vers les habitats de l'annexe I (56% directement et 8% indirectement) ;
- > 51% des projets achevés après 1991 ont utilisé une typologie avec des correspondances vers CORINE biotopes (36% directement et 15% indirectement) ;
- > 52% des projets achevés après 2004 ont utilisé une typologie avec des correspondances vers la classification EUNIS (32% directement et 20% indirectement).

L'interopérabilité des données est une question cruciale pour les programmes de cartographie des habitats (voir paragraphe 3.3 ; Evans, 2006 ; Ewald, 2003).

Figure 5.1 Correspondances entre les typologies des programmes de cartographie et les classifications européennes



Note : les projets sélectionnés sont ceux achevés après 1991 pour les habitats de l'annexe I et CORINE biotopes (n = 39) ; après 2004 pour la classification EUNIS (n = 25).

Encadré 5.2 - Étude de cas : un exemple de typologie nationale, le catalogue des biotopes de République tchèque

Katalog biotopů České republiky (le catalogue des biotopes de République tchèque) est un manuel décrivant le système de classification des habitats utilisé pour la cartographie en République tchèque. Il contient tous les types d'habitats présents dans le pays pouvant être définis par les types de végétation, ainsi que deux types d'habitats non végétalisés d'intérêt patrimonial. Les catégories d'habitats du catalogue ont été conçues pour refléter la diversité des types de végétation au sens de la phytosociologie, mais également pour être compatible avec les types d'habitats d'intérêt communautaire et les habitats du réseau Émeraude.

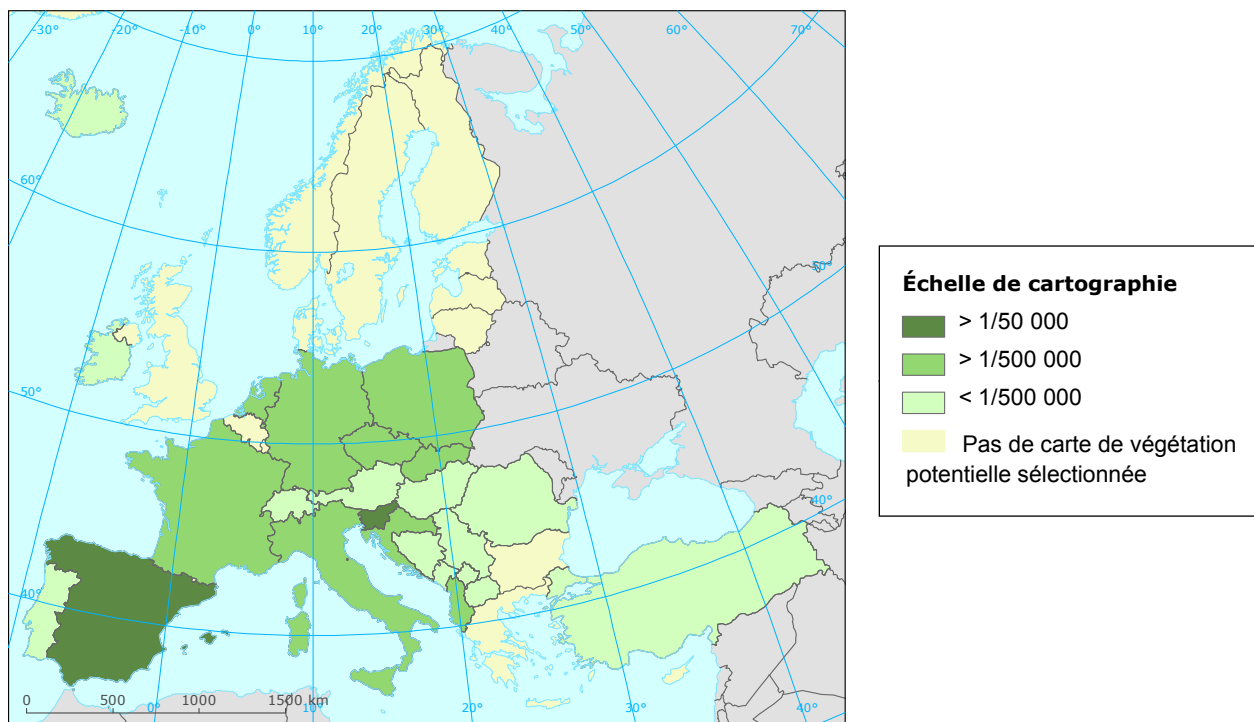
La première édition du catalogue a été publiée en 2001 (Chytrý *et al.*, 2001). Après sa publication, un important programme de cartographie des habitats a été effectué en République tchèque (voir section 4.3). Ce programme a permis d'améliorer considérablement la connaissance de la distribution et de l'état de conservation des habitats dans le pays. Ces nouvelles connaissances, ainsi que les améliorations parallèles de la classification phytosociologique de la végétation (Chytrý, 2007-2011) et des changements dans les typologies européenne ont été synthétisés dans une deuxième édition du catalogue largement mise à jour (Chytrý *et al.*, 2010).

Le catalogue des biotopes de République tchèque définit neuf groupes d'habitats : (V) les rivières et les plans d'eau, (M) les zones humides et les végétations riveraines, (R) les sources et les tourbières, (S) les falaises et les habitats rocheux, (A) les habitats subalpins non forestiers, (T) les prairies et les landes secondaires, (K) les fourrés, (L) les forêts, et (X) les habitats artificialisés. Chaque groupe d'habitat est divisé en types d'habitats, et parfois en sous-types. Il existe 140 types et sous-types, utilisés comme unités de base pour la cartographie. Pour assurer la compatibilité avec les habitats de l'annexe I de la directive et les types d'habitat du Réseau Émeraude, des sous-types supplémentaires au niveau hiérarchique le plus bas ont été utilisés dans certains cas. Pour chaque type ou sous-type d'habitat, on trouve des correspondances vers d'autres systèmes de classification nationaux et européens, une description de la structure de la végétation, de la composition spécifique, de son écologie, de sa distribution, des menaces, des éléments sur la gestion, une liste des espèces dominantes, diagnostics et compagnes et de références bibliographiques. Pour chaque type ou sous-type d'habitat, il y a une carte de la distribution nationale, sur la base des résultats de la cartographie de terrain de 2001 à 2008, avec quelques ajouts issus de la base de données nationale des relevés phytosociologiques. Les habitats artificialisés ne sont décrits que brièvement, car ils ne sont pas patrimoniaux, même si ils sont nécessaires pour compléter la description des sites.

5.2. Les cartes de végétation potentielle naturelle et des séries de végétation

Dans le cadre de l'enquête 45 cartes de végétation potentielle naturelle (VPN) ont été identifiées dans 24 pays européens (voir carte 5.2). La plupart d'entre elles (86%) sont à l'échelle du paysage végétal (au 1/100 000 ou plus petit). Selon nos résultats, les seules cartes de VPN sur des superficies importantes et à grande échelle (c'est-à-dire au 1/50 000) ont été produites en Espagne (Pays basque, Catalogne et Navarre) et en Slovénie. Au niveau européen, deux cartes de VPN existent avec différentes couvertures, une au 1/1 500 000 (Bohn & Neuhäusl 2003) et la seconde au 1/2 500 000 (Noirfalise, 1987) ; voir la section 2.4.

Carte 5.2 Les cartes de végétation potentielle naturelle au niveau national et régional en Europe



Source : MNHN, CTE/DB

Encadré 5.3 - Étude de cas : la cartographie des séries de végétation au 1/25 000 en Navarre et au Pays basque, Espagne

Depuis les années 1990, plusieurs administrations régionales en Espagne ont vu l'intérêt de disposer de cartes de végétation potentielle (série de végétation) à grande échelle. La carte nationale des séries de végétation (Rivas-Martínez, 1987) a été très utile pour orienter les politiques de conservation du patrimoine naturel, en particulier comme cadre de référence sur la végétation naturelle d'un territoire. L'échelle était cependant trop grossière pour des objectifs de gestion. Certaines communautés autonomes de petites superficies comme la Navarre (10 392 km²) ou le Pays basque (7 234 km²) ont pu se permettre de cartographier l'intégralité de leur territoire au 1/50 000. Dans un premier temps, en Navarre (1988-1989) puis au Pays basque espagnol (2002-2006), les projets ont été réalisés en utilisant la connaissance disponible complétée par des inventaires de terrain au 1/25 000. Les documents existants disponibles, tels que les cartes de végétation actuelles, les cartes géologiques, les photographies aériennes et les images satellites, ont été utilisés pour documenter et compléter la synthèse préalable à la production des cartes de séries de végétation.

Les légendes et une version de la carte réduite au 1/200 000 ont été publiées (Loidi & Báscones 1995 ; Loidi *et al.*, 2011). La cartographie à grande échelle est disponible en ligne sur les sites internet des administrations régionales. Les légendes offrent une description générale de la végétation et des conditions naturelles de la région, avec des chapitres consacrés à la géographie, la géologie, l'histoire de l'occupation du sol, la bioclimatologie et la biogéographie. Le texte principal propose une description de chaque série de végétation, avec une explication détaillée de ses stades matures (tête de série) et les types de forêts plus fréquents, ainsi qu'une description de leurs stades de succession (par exemple, les prairies et les fourrés). Les conditions environnementales générales de chaque

série sont décrites, avec des informations sur le climat, la lithologie, les facteurs édaphiques, la géomorphologie, et l'histoire. L'utilisation actuelle et les possibilités d'exploitation sont également décrites ainsi que les enjeux de conservation associés. Le document est une description géobotanique générale de la région, en complément de la carte, qui est le document principal et un outil utilisable par les différents acteurs du territoire.










Pour la Navarre, la poursuite des travaux est dirigée par J. Peralta dans le projet Cartografía de serie de vegetación y sectorización fitoclimática de Navarra un escala 1:25 000, afin d'obtenir un document plus précis à des fins de gestion.

Étant donné que ces cartes ont été mises à la disposition du grand public, elles sont devenues une référence incontournable pour toute étude ou projet environnemental dans la région, en particulier pour les évaluations d'impacts et les mesures compensatoires.

Pour plus d'informations sur la Navarre, voir : http://idena.navarra.es/navegar/?layerid=BIODIV_Pol_SerieVe50m, et sur le Pays Basque, voir : http://www.geo.euskadi.net/s69-geodir/es/contenidos/informacion/recursocartografia2009/es_29/cartografia.html

Carte 5.3 Extrait de la carte des séries de végétation de Navarre (Espagne)



- | | |
|--|--|
|  25 Série castillane-cantabrique à <i>Quercus faginea</i> |  33 Géosérie fluviale méso-méditerranéenne centro-ibérique à peuplier blanc |
|  25a Série castillane-cantabrique à <i>Quercus faginea</i> (faciès méso-méditerranéen à <i>Quercus coccifera</i>) |  33 Géosérie halo-hygrophile |
|  26 Série castillane-cantabrique à <i>Quercus rotundifolia</i> |  Plans d'eau |
|  26b Série castillane-cantabrique à <i>Quercus rotundifolia</i> (faciès méso-méditerranéen à <i>Quercus coccifera</i>) | |
|  27 Série aragonaise méso-méditerranéenne à <i>Quercus rotundifolia</i> | |
|  27a Série aragonaise méso-méditerranéenne à <i>Quercus rotundifolia</i> (faciès sur argile) | |

Note : échelle 1/128 000

Source : Gouvernement de la communauté autonome de Navarre, SITNA

5.3. Fonds cartographiques et variables environnementales

La cartographie des habitats et de la végétation nécessite une connaissance approfondie des processus écologiques et des facteurs biogéographiques qui influent sur la distribution des communautés végétales. Il est courant de débiter un projet par l'identification des données environnementales pertinentes et disponibles avant la cartographie de terrain. Cette étape est essentielle, sachant que ces données sont potentiellement nombreuses, provenant de sources variées et à différentes échelles (Brzeziecki *et al.*, 1993 ; Franklin, 1995). Le tableau 5.1 liste les principales données environnementales mobilisées pour la cartographie des habitats (par exemple couches topographiques, images issues de la télédétection, morphologie du substrat et le climat).

Tableau 5.1 Les principales variables environnementales utilisés pour la cartographie des habitats en Europe

Fonds cartographiques
<i>Fonds topographiques</i>
Cartes topographiques: instituts géographiques, cartes militaires
Limites administratives
Plans cadastraux, registres fonciers
<i>Téledétection (imagerie aérienne et satellite)</i>
Photographies aériennes et orthophotos dont : <ul style="list-style-type: none"> > proche infrarouge (NIR) > images aériennes infrarouges couleurs (CIR) > orthophotos couleur > orthophotos infrarouge
Images satellites (voir section 5.5)
Variables environnementales spatialisées
<i>Substrat</i>
Cartes géologiques
Cartes pédologiques
Cartes lithologiques
<i>Morphologie</i>
Modèles numériques d'élévation (MNE), modèles numériques de terrain (MNT): pente, exposition, ensoleillement, ombre...
Cartes géomorphologiques
<i>Climat</i>
Cartes pluviométriques (cartes des précipitations)
Cartes climatiques: cartes phytoclimatiques, réseau de stations thermo-pluviométriques
Températures

Encadré 5.4 - Étude de cas : le « fond blanc » écologique pour le programme français de cartographie national des habitats CarHAB

L'université de Saint-Étienne est chargée d'élaborer une méthodologie pour combiner différentes variables environnementales dans le cadre du programme national cartographie des habitats (voir section 1.2). Plusieurs options ont été étudiées, notamment les analyses multicritères et les analyses par grappes (cluster), associées à des analyses statistiques. Cette combinaison va conduire à un fond de carte écologique qui sera associé à un fond de carte physiographique, créé grâce à des données issues de la télédétection. Les données proviennent principalement de trois sources : la pente, le climat et la géologie.

De nombreux facteurs influents sur la végétation peuvent être dérivés d'un modèle numérique d'élévation (MNE). En premier, il faut faire un choix parmi les MNE disponibles : la mission radar topographique (SRTM, *Shuttle Radar Topography Mission*), le radiomètre spatial avancé d'émission et de réflexion thermique (ASTER) ou le modèle numérique de terrain (MNT) national. Les deux premiers fournissent des données altimétriques au niveau mondial et leur intérêt principal est la reproductibilité. Cependant, ils ont une précision très variable dans l'espace. Dans le cadre de CarHAB, il a été décidé d'utiliser le MNT de l'IGN.

La climatologie et la géologie sont deux paramètres fondamentaux nécessitant des bases de données nationales. Pour le climat, deux bases de données ont été identifiées ; celle de Météo France (via la méthode AURELHY d'interpolation hydrométéorologique par le relief) et celle du laboratoire ThéMA, université de Besançon (Joly *et al.*, 2009). Après analyse et comparaison, les deux seront utilisées pour le calcul de l'indice bioclimatique.

La principale difficulté avec les cartes géologiques est liée à la nature de la description de l'information : les unités cartographiques sont définies par leur âge, tandis que l'information la plus importante pour la cartographie des habitats est le faciès (par exemple, calcaire, grès, ou basalte) qui influence les propriétés physiques et chimiques du sol (par exemple, le pH et la granulométrie). Pour la géologie, la carte lithologique de la France au 1/1 000 000 répond aux exigences de couverture nationale, mais l'échelle est trop imprécise pour une carte de la végétation au 1/25 000. Par conséquent, elle doit être complétée par une interprétation de cartes à plus grande échelle.

5.4. Inventaire et évaluation des cartographies existantes

En raison de la diversité des types de cartographie des habitats, peu de pays ont une connaissance exhaustive des cartes disponibles sur leur territoire. L'examen de l'existant est souvent une étape préalable aux grands projets de cartographie. Les pays ayant centralisé la majorité des activités de cartographie sur leur territoire (par exemple, la République tchèque et la Hongrie) restent minoritaires. En Autriche, l'Agence fédérale pour l'environnement a réalisé en 1995 un inventaire des projets de cartographie des biotopes du pays (Winkler, 1995). Plus de 1 200 cartes ont été inventoriées, dont 93% ont été commandées par les gouvernements locaux. Environ 48% des communes autrichiennes ont été concernées par un projet de cartographie avec comme objectif principal la planification de la conservation de la nature. Plus récemment, la France a mené une enquête similaire d'inventaire et d'évaluation des cartes d'habitats disponibles dans le cadre du programme CarHAB (voir encadré 5.5).

Encadré 5.5 - Étude de cas : inventaire et évaluation des cartographies d'habitats en France pour le programme CarHAB

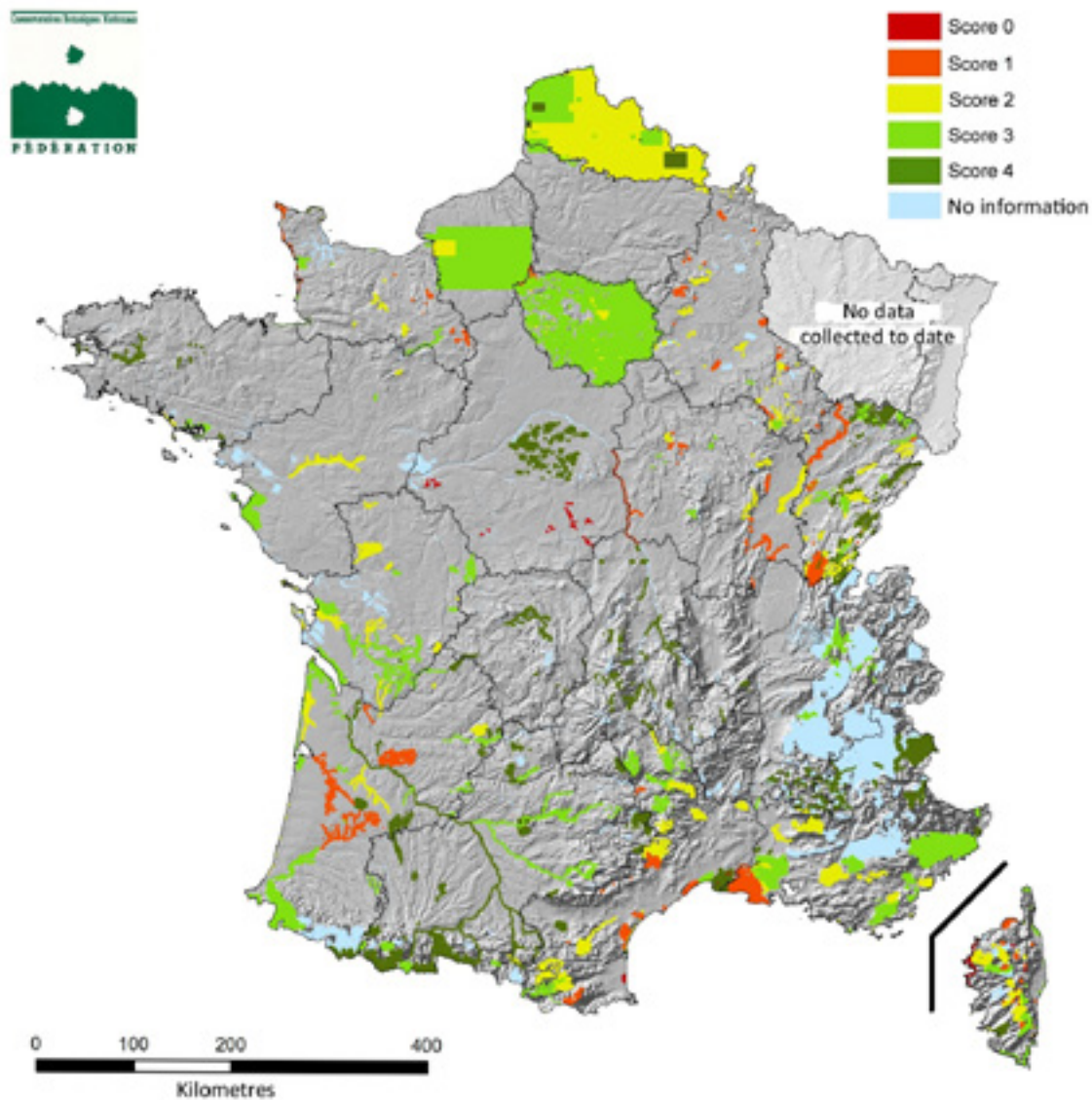
En 2012, le ministère français de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE) a demandé à la Fédération des conservatoires botaniques nationaux (FCBN) d'entreprendre une enquête sur les cartes d'habitats et de végétation existantes en France. Un questionnaire a été envoyé à chaque Conservatoire botanique national (CBN), structures généralement en charge de la collecte, de la validation et de la valorisation des données sur la végétation sur leur territoire d'agrément. L'enquête a identifié plus de 1 880 projets de cartographie des habitats et de la végétation, couvrant environ 27% des espaces naturels et semi-naturels terrestres de France.

Étant donné la diversité des approches pour la cartographie de la végétation, chaque projet a été décrit au regard d'un certain nombre de paramètres. Pour chaque critère, des seuils ont été proposés afin d'évaluer la qualité de chaque carte. La carte 5.4 présente une synthèse des résultats à l'échelle nationale.

Les types d'utilisations des cartographies sont assez variés ; certaines régions comme l'Île-de-France, Rhône-Alpes, le Nord-Pas-de-Calais et Provence-Alpes-Côte d'Azur ont historiquement une production cartographique plus intense qu'ailleurs. L'enquête a mis en évidence un nombre équivalent de cartes d'habitats et de cartes phytosociologiques. La moitié des projets a été jugée utile pour le projet CarHAB. Ces cartes pourraient donc être utilisées dans le cadre d'une phase de contrôle et de correction.

Un total de 12 cartes a été sélectionné pour une analyse supplémentaire, sur la base de la couverture, de l'échelle, de la typologie et des méthodes utilisées. Parmi elles se trouve la carte de la végétation du Boulonnais (Nord-Pas-de-Calais) qui a inspiré le programme CarHAB car il s'agit la première carte française au 1/25 000 utilisant une approche phytosociologique sur une grande superficie. D'autres cartes importantes ont également été réalisées dans les Alpes. Ce travail offre un point de vue national sur les méthodes de cartographie de la végétation et notamment l'utilisation de la photo-interprétation comme préalable au travail de terrain. Ces projets de cartographie et leurs méthodologies constituent un retour d'expérience important pour la mise en œuvre du programme CarHAB.

Carte 5.4 Inventaire et évaluation des cartographies d'habitats et de la végétation en France



Légende : évaluation de la qualité (0 = faible, 4 = très bonne)

Note : échelle : 1/5 500 000 ; 1 882 cartes inventoriées au 1er décembre 2012 (1 195 représentées)

Source : FCBN, CBNx

5.5. Cartographie des mosaïques et des complexes d'habitat

On parle de mosaïques ou de complexes de végétation lorsque deux ou plusieurs communautés végétales, chacune sur une petite superficie, se trouvent à proximité immédiate, souvent sous forme de motif répétitif. En terme de cartographie cela pose problème lorsque l'échelle diminue (et avec elle la précision) car les types de végétation ne peuvent plus être représentés individuellement. Le concept de complexes de végétation a été développé principalement par Schmithüsen (1948) et Tüxen (1978), mais de nombreux auteurs ont développé leurs propres concepts.

Selon l'approche dynamique et paysagère de la phytosociologie, la répartition des associations végétales au sein de régions homogènes n'est pas aléatoire et il y a une tendance des associations à être connectées entre elles. Ces relations peuvent être divisées en deux catégories (Géhu, 2006 ; Pignatti, 1995):

- > temporelle (c'est-à-dire dynamique) : les communautés se substituent l'une à l'autre au fil du temps, en commençant par une phase pionnière évoluant vers une communauté climacique (tête de série) ;

- > spatiale, en raison de facteurs topographiques, à savoir la micromorphologie du substrat ou du sol. La mosaïque peut être ouverte ou fermée selon que les éléments sont séparés ou non par le substrat. Un exemple est un système tourbeux où les buttes et les dépressions peuvent être affichées sur une carte à grande échelle, mais pas à plus petite échelle.

En termes de cartographie de complexes ou de mosaïques, plusieurs approches ont été mises en évidence dans le cadre de l'enquête européenne (Härtel, Lončáková & Hošek, 2009 ; Pedrotti, 2004 ; Pignatti, 1995 ; Smith, O'Donoghue, O'Hora & Delaney, 2011).

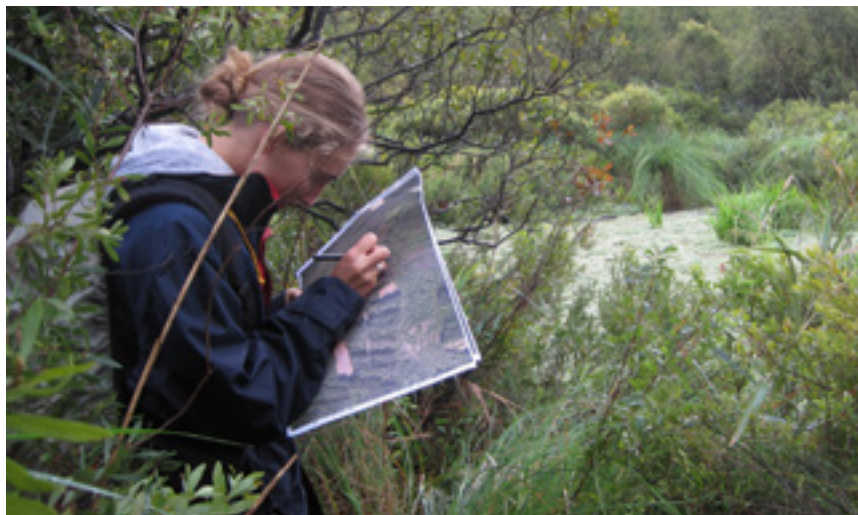
Une approche consiste à intégrer les mosaïques comme unités de cartographie dans la typologie (mosaïque cartographique), considérant que les mosaïques forment des assemblages répétitifs dans une zone homogène. Les types d'habitats composites sont indiqués dans la légende. Par exemple, pour la carte de la végétation de la Réserve de biosphère du delta du Danube en Roumanie, 43 unités de végétation ont été cartographiées, et chaque unité de végétation représente une mosaïque de plusieurs associations (Hanganu *et al.*, 2002).

Une autre approche cartographique considère les mosaïques comme la somme des différentes associations qui la constituent. Traditionnellement, deux types de végétation qui se retrouvent sous forme de mosaïque sont représentés avec des rayures de différentes couleurs. Un exemple est la carte de la végétation naturelle de la lagune Valli di Comacchio en Italie (Ferrari *et al.*, 1972). Aujourd'hui, avec le développement des SIG, un polygone sur une carte peut être attribué à plusieurs habitats individuels. Dans la plupart des cas, seuls les habitats avec une couverture minimale (par exemple 25%) sont relevés. Il est également fréquent de limiter aux 2 à 4 habitats dominants (par exemple, en République tchèque, Norvège et Slovaquie).

La troisième approche rencontrée propose d'agréger des patchs d'un même type afin de former un polygone plus grand, sans représenter la mosaïque sur la carte. Dans le projet italien *Carta della Natura* (Angelini *et al.*, 2009), tous les patchs du même type d'habitat qui sont séparés par une distance inférieure à une distance donnée (liée à la taille du patch) sont fusionnés, y compris la partie de la matrice qui les sépare. On obtient ainsi un polygone avec une surface égale ou supérieure à la surface minimum cartographiable. Lorsque cela est impossible, parce que les patchs sont trop éloignés ou parce que la surface de l'agrégation est insuffisante, le polygone est attribué au type d'habitat prédominant.

Enfin, pour les cartes basées sur la phytosociologie dynamique et paysagère, toutes les associations appartenant à la même série de végétation peuvent être regroupées au sein d'une seule unité écologique homogène appelée tessela (signifiant carreau ou petit élément de forme régulière en latin). Une tessela reflète les mêmes mésoclimat, type de sol et géomorphologie (voir section 2.1.2) (Rivas-Martínez, 2005). Néanmoins, une tessela n'est pas nécessairement homogène dans l'espace. Dans le cas des sols azonaux, les facteurs édaphiques induisent différentes séries de végétation (série édaphophiles) au sein du même méso-climat. Cela génère des complexes de série sur de petites superficies ce qui soulève les mêmes questions en termes de représentation sur une carte. Il est toutefois possible d'identifier au niveau du paysage des motifs répétitifs de complexes de séries appelés géoséries délimités dans une même unité biogéographique.

Photo 5.2 Cartographie de mosaïques d'habitats en Bretagne (France)

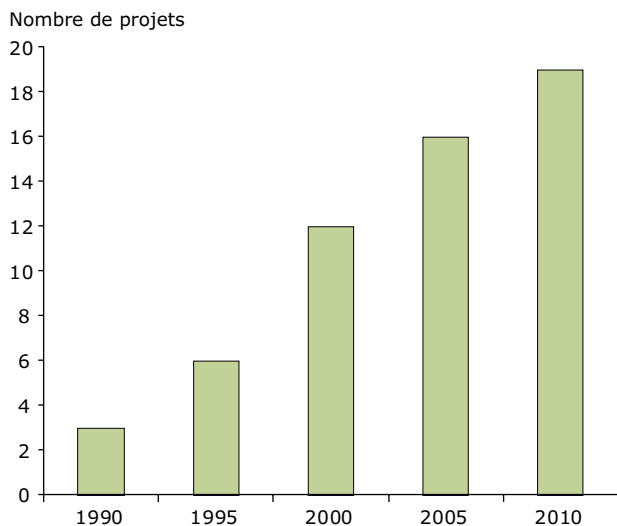


Source : A. Lieurade

5.6. La télédétection et la modélisation des habitats

5.6.1. La télédétection

Figure 5.2 Évolution du nombre de projets utilisant l'imagerie satellite pour la cartographie des habitats en Europe



Note : ce graphique est calculé sur la base de tous les projets recensés où l'information est disponible (56 projets sur 159) et pas limité aux projets sélectionnés par les filtres de l'enquête

Dans le contexte de la cartographie de la végétation, la télédétection désigne les techniques qui permettent l'acquisition d'informations sur la surface de la terre afin de distinguer différents types d'habitats ou de végétation (voir paragraphe 3.4.1). L'approche traditionnelle consiste à interpréter manuellement les photographies aériennes mais les technologies les plus avancées, y compris l'interprétation automatisée des images satellite, sont maintenant largement utilisées. L'imagerie satellitaire pour la cartographie de la végétation à l'échelle régionale est utilisée depuis la fin des années 1980, et son utilisation est en progression depuis la fin des années 1990. Cependant, seulement un quart (26%) de tous les projets identifiés dans l'enquête (pas uniquement ceux sélectionnés par les filtres) a utilisé l'imagerie par satellite, tandis que 12% a utilisé des traitements et des analyses supplémentaires tels que la segmentation et/ou la classification (semi-) automatique. Les produits basés sur de l'imagerie satellite les plus fréquemment utilisés sont SPOT (38%), Landsat (31%), CORINE Land Cover (13%), ASTER (6%), IKONOS (6%) et IRS (6%).

5.6.2. La modélisation des habitats

La modélisation des habitats est la prédiction de la distribution de l'habitat basée sur des données environnementales spatialisées (voir paragraphe 3.4.2). Peu de projets de cartographie sélectionnés ont inclus des modélisations d'habitat dans leur travail, nous avons donc élargi notre analyse à l'ensemble des projets recensés ($n = 163$). Nous avons trouvé 17 programmes à partir de 1989 (cartographie thématique environnementale des Asturies, Espagne) avec une augmentation à partir de la fin des années 1990, correspondant à 28% des programmes où l'information est disponible ($n = 60$). Une majorité (59%) concernait des superficies cartographiées de moins de 50 000 km².

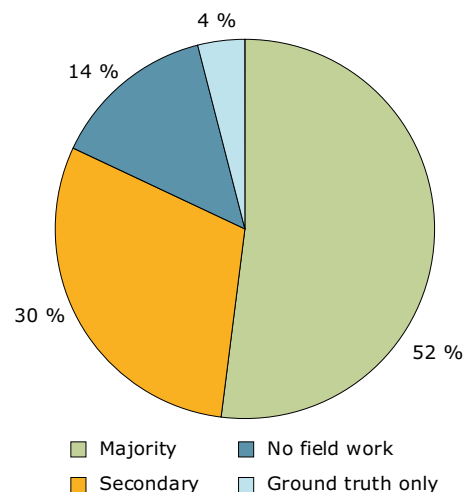
5.7. Les inventaires de terrain

5.7.1. Les ressources humaines

Plus de la moitié des projets recensés sont principalement basés sur des inventaires de terrain. Pour 30% des réponses obtenues, le travail de terrain était secondaire et combiné avec d'autres approches telles que la télédétection et/ou la modélisation. Dans d'autres cas (4%), le travail de terrain a été limité à la validation (ou vérité terrain). Enfin, certaines cartes (14%) sont produites exclusivement en mobilisant des informations existantes (cartes et jeux de données).

La cartographie des habitats nécessite des compétences importantes, principalement en botanique et en cartographie, souvent avec de la photo-interprétation. Le nombre d'opérateurs de terrain impliqués est très variable, allant de 5 (pour la carte des séries de végétation du Pays basque) à 770 (pour la carte des habitats de République tchèque). Les questions liées à l'hétérogénéité des perceptions, de la formation et au rôle des documents d'interprétation et des règles de décision sont examinées en section 5.9.

Figure 5.3 Part du travail de terrain dans les principaux programmes de cartographie des habitats



5.7.2. Les outils nomades

Les outils nomades sont des ordinateurs de terrain permettant l'utilisation d'un SIG avec un positionnement géographique précis. Ils ont été mis au point grâce à l'amélioration des technologies mobiles (par exemple, tablettes, pocket pc, assistants numériques personnels et ordinateurs portables robustes). Ils sont de plus en plus utilisés lors de l'acquisition de données de terrain sur de grands territoires pour des études environnementales telles que les inventaires, les échantillonnages et les suivis. Leur utilisation reste toutefois limitée pour la cartographie des habitats. Certains projets pilotes utilisant les technologies mobiles ont été identifiés et leur expérience a permis de mettre en évidence certaines limites d'utilisation. Ces outils sont notamment utilisés par la Commission des forêts au Royaume-Uni, le Parc naturel du

Photo 5.2 Les outils nomades de cartographie au Parc naturel du Český kras en République tchèque



Source : J. Ichter

Český Kras en République tchèque, l'Office National des Forêts en France (pour certains sites Natura 2000) et ils sont à l'étude pour le futur projet de cartographie nationale des habitats de France, CarHAB (voir section 1.2).

L'un des principaux avantages de ces outils est de gagner du temps sur la saisie des données. En cartographie, les informations sont traditionnellement collectées sur papier (par exemple, des carnets de terrain et des cartes imprimées), et un temps de travail spécifique est nécessaire pour le transfert de données. Les appareils mobiles permettent également des mises à jour automatiques avec la base de données centrale, et lorsqu'une connexion est disponible (par exemple GSM ou 3G), la synchronisation peut être effectuée en temps réel. Les saisies directes peuvent également réduire les erreurs de transcription. Les opérateurs de terrain ont identifié de nombreux avantages à ces dispositifs : outre l'aide à la navigation, les informations pertinentes peuvent être facilement consultées sur le terrain, par exemple les fonds cartographiques (la géologie ou la topographie), des jeux de données, des référentiels et des outils de diagnostic (clés de détermination ou manuels d'interprétation). Cependant, un temps de préparation supplémentaire est nécessaire avant le terrain pour la configuration des outils. Les interfaces doivent être adaptées aux méthodes d'acquisition, aux protocoles scienti-

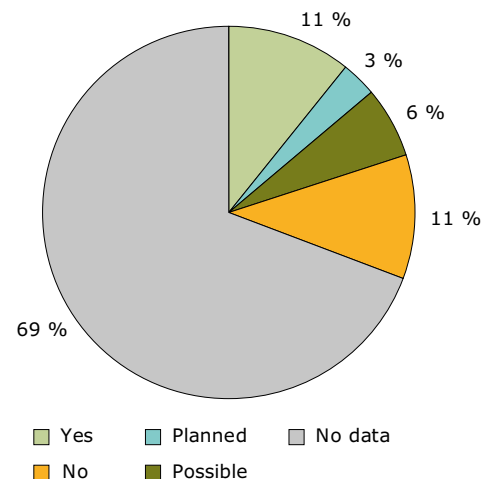
fiques et aux types de données à collecter. Malgré des améliorations technologiques continues, plusieurs difficultés demeurent : la taille, le poids, l'autonomie (durée de la batterie), la fragilité de certains appareils et la qualité d'affichage (par exemple en plein soleil). Un autre enjeu important est l'acceptation par les équipes de terrain de nouveaux outils et méthodes de travail. Les questions de formation et l'adaptabilité des outils sont des points cruciaux à considérer.

5.8. La mise à jour des cartes

Toutes les cartes et bases de données associées deviennent à terme obsolètes (même si elles restent utiles comme données historiques) et nécessitent une révision pour continuer à être utilisables. Nos résultats mettent en évidence que la mise à jour des cartes est une question difficile et seulement 14% des projets sélectionnés ont été ou seront mis à jour. Dans la plupart des cas (69%), aucune information sur la mise à jour n'était disponible.

Une mise à jour peut être soit complète (c'est-à-dire une révision de l'ensemble de la carte sur une zone donnée) ou partielle (c'est-à-dire segment par segment, en se concentrant parfois sur les régions connues pour avoir changé, comme les zones incendiées). L'approche idéale serait de répéter la même méthode avec les mêmes opérateurs de terrain, à la même période, avec le même système d'information, etc., et de préférence, en prévoyant la mise à jour dans le projet initial. Cependant, ceci est rarement (pour ne pas dire jamais) le cas. Ainsi 11% des projets interrogés ne jugent pas possible d'organiser une mise à jour de la cartographie.

Figure 5.4 Mise à jour des cartographies d'habitat sur de vastes territoires



Encadré 5.6 Étude de cas : la mise à jour de la cartographie des biotopes en République tchèque

Le projet de cartographie des biotopes de République tchèque couvre l'ensemble du pays en utilisant une classification des biotopes développée spécialement (voir les études de cas paragraphe 4.4.5 et la section 5.1). La première carte a été publiée à l'échelle du 1/10 000 en 2004, la révision a débuté à partir de 2006 et est toujours en cours, impliquant environ 100 à 150 botanistes chaque année.

À l'occasion du rapportage au titre de l'article 17 de la directive Habitats, il est apparu que la cartographie initiale n'a pas permis de fournir directement un certain nombre de données, et ce malgré une connaissance détaillée sur l'ensemble du territoire avec des informations sur les pressions et les menaces. Des difficultés ont été rencontrées pour traduire les données de terrain en informations sur la représentativité et sur l'état de conservation des habitats dans le cadre de l'évaluation des structures et des fonctions ainsi que de l'évaluation des dégradations. La méthodologie pour la mise à jour de la cartographie a été adaptée afin de résoudre ces problèmes. Le nouvel inventaire met également l'accent sur les caractéristiques de qualité et sur la collecte de données d'occurrence d'espèces végétales typiques, qui se révèle être une source d'information très utile. Ces informations sur les espèces fournissent également des informations pour le rapportage de nombreuses espèces végétales (par exemple *Arnica montana* et *Leucobryum glaucum*). L'objectif est une mise à jour complète de la couche d'information géographique des habitats tous les 12 ans. Cet intervalle a été proposé afin d'être en cohérence avec la périodicité des rapportages tous les six ans.

Photo 5.3 Mise à jour de la carte des biotopes de République tchèque



Source : J. Ichter

5.9. Validation des données et contrôles qualité

Parmi les projets sélectionnés lors de l'enquête, 23% ont déclaré que la qualité des données produites a fait l'objet d'évaluation. Cependant, les cartographies d'habitats et de végétation de terrain manquent souvent d'informations sur les procédures de validation et d'évaluation qualitative des données. Les opérateurs de terrain ont tendance à attribuer un bon niveau de qualité aux cartes produites, même si elles sont rarement testées. Cependant, certaines expériences montrent des différences importantes entre différents cartographes (Cherrill & McClean, 1999a et 1999b ; Hearn *et al.*, 2011 ; Stevens *et al.*, 2004). Elles ont mis en évidence que, bien qu'une partie des différences observées entre les opérateurs soit de type spatial, la majorité est due à des erreurs de classification.

En général, la qualité des cartes est meilleure lorsque les cartographes de terrain sont bien formés. Le biais observateur diminue généralement avec l'expérience et permet d'atteindre des niveaux d'homogénéité acceptables (Souter *et al.*, 2010 ; Kelly *et al.*, 2011 ; Hearn *et al.*, 2011). Stevens *et al.* (2004) ont constaté que les résultats étaient meilleurs dans une équipe coordonnée au sein d'une même organisation que ceux produits par des structures différentes. Des ateliers réguliers sur le terrain permettent d'atteindre une plus grande standardisation. Il est également possible de détecter et d'harmoniser les différences d'approches et d'interprétations sur la base de tests comparatifs de double cartographie d'une zone. Disposer d'un cadre pour homogénéiser les résultats est d'une importance clé. C'est particulièrement le cas pour les programmes de surveillance, où la répétabilité est centrale.

5.9.1. Précision topographique

Les fonds de cartes ou les photographies aériennes utilisées sont d'une importance majeure, et une bonne interprétation permet de cibler les prospections et de limiter les erreurs de délimitation des polygones sur la carte.

Des règles de décision explicites sont nécessaires pour une délimitation standardisée et reproductible des polygones. L'absence de telles règles rend souvent les polygones inutilisables à des fins statistiques, notamment pour les comparaisons de séries temporelles. Dans les paysages morcelés, la parcelle peut être l'unité cartographique de base. Mais, en fonction de l'objectif de la cartographie, les parcelles peuvent être hétérogènes et doivent être divisées. En outre, les paysages (semi-) naturels ne sont généralement pas organisés en parcelles. Les gradients et les frontières vagues (écotones, et surtout écoclines) sont

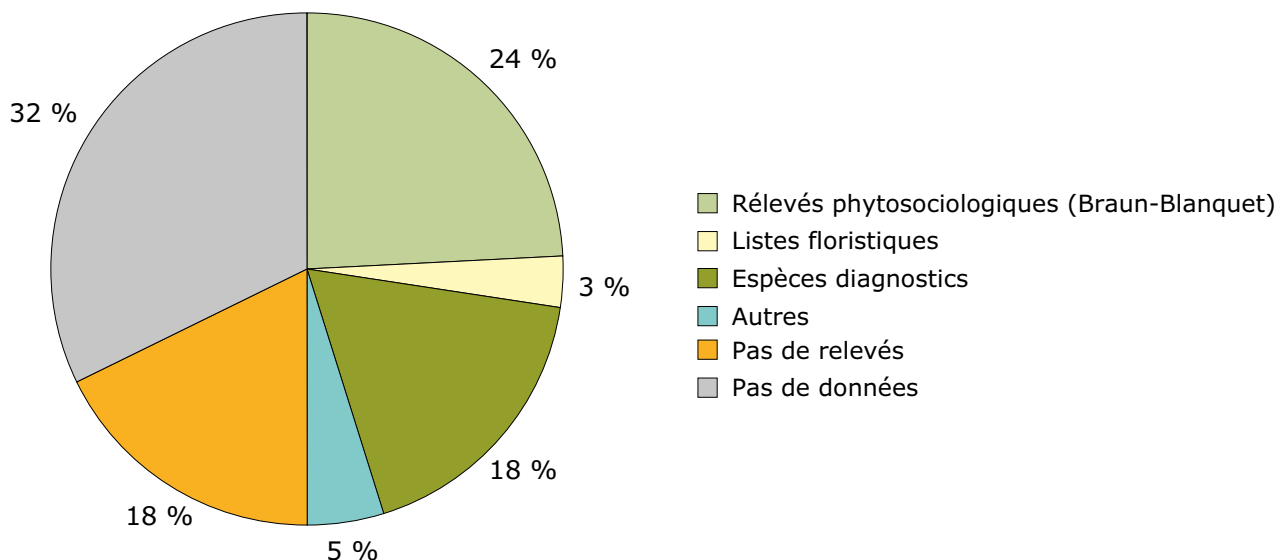
fréquents et difficiles à traiter. En Europe, l'approche EBONE/BioHab fournit un ensemble de règles et de recommandations pour la cartographie (voir section 3.2 et paragraphe 6.1.1). L'usage de ce type de règles pourrait contribuer à une plus grande répétabilité des cartographies.

Hearn *et al.* (2011) indiquent que les erreurs de délimitation peuvent être réduites par des prétraitements (par exemple, grâce à la télédétection) ou par l'utilisation de méthodes d'analyses spatiales pour détecter et quantifier la répartition des écotones/écoclines (Gosz, 1993 ; Kent *et al.*, 1997 ; Fortin *et al.*, 2000). Ces auteurs indiquent également que les échelles de cartographie sont une source de différences entre les cartographes. Une normalisation nécessite des protocoles standardisés (échelle et résolution de la cartographie, fonds cartographiques, effort d'échantillonnage minimum...).

5.9.2. Précision typologique

La moitié des projets sélectionnés ont systématiquement recueilli des données sur la composition floristique ce qui permet de vérifier que les polygones sont attribués au bon habitat ou à la bonne communauté végétale. Un quart des projets inclut des relevés phytosociologiques, à savoir une liste complète des espèces d'une parcelle avec une estimation de la couverture de chaque espèce. Ce type de relevés exhaustifs augmente mécaniquement le temps passé sur le terrain. D'une manière générale la normalisation de la collecte des données (voir paragraphe 5.9.3) aide à améliorer de manière significative la précision typologique d'une carte.

Figure 5.5 Types de données floristiques acquises par les programmes de cartographie d'habitats sélectionnés



5.9.3. Standardisation

Un programme de cartographie basé sur une interprétation in situ des habitats et/ou de la végétation peut être normalisé de la manière suivante.

- > L'utilisation d'un ensemble prédéfini et fixe d'unités de légende. Une telle approche nécessite une préparation minutieuse, mais elle est cruciale pour atteindre un niveau de comparabilité acceptable dans le temps et dans l'espace. Un exemple d'une telle approche est la carte d'évaluation biologique de Belgique (De Blust *et al.*, 1985 ; De Blust *et al.*, 1994 ; Vriens *et al.*, 2011) (<http://www.inbo.be/bvm>).
- > La clarté des définitions. Plus les limites d'une unité de légende sont définies précisément, plus son interprétation sur le terrain sera uniforme. Il est recommandé de mettre en place des clés de détermination avec des informations détaillées sur la composition floristique et des caractéristiques écologiques du paysage facilement détectables. Une telle clé est en cours de construction en Flandre belge (voir figure 5.6). Ce projet, basé sur les éléments et les règles établis par BioHab/EBONE et la classification EUNIS, a l'avantage d'être compatible avec les classifications européennes et d'être conforme avec la directive INSPIRE de l'UE. Une attention particulière doit être accordée aux mosaïques (Cherrill & McClean, 1999a).

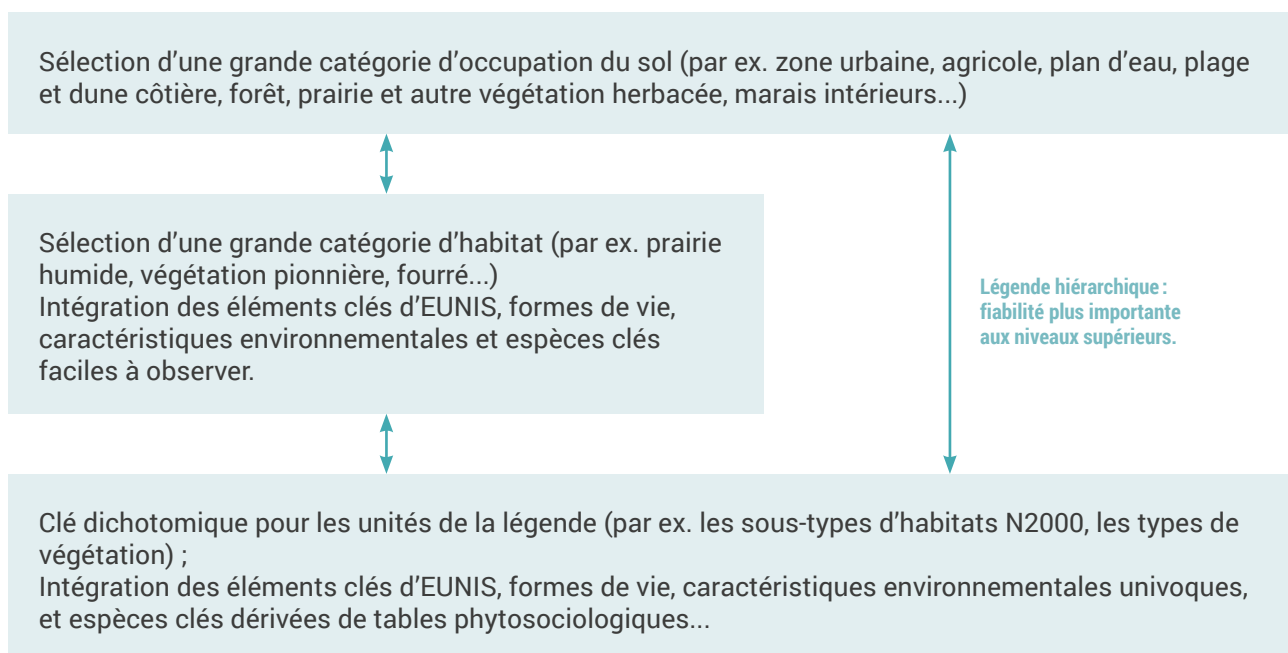
- > L'utilisation d'un système de classification hiérarchisé permet d'améliorer la précision de la carte. Hearn *et al.* (2011) ont prouvé qu'au Royaume-Uni, même les cartographes expérimentés confondent régulièrement des communautés de composition floristique et d'apparence similaires. Malgré certaines difficultés récurrentes (même avec une clé de détermination), une classification hiérarchique facilite les caractérisations car la distinction des niveaux supérieurs est généralement plus explicite.

La source de chaque enregistrement dans la base de données géographique (SIG) est une information importante pour l'utilisation de la base. Ce type d'information peut être inclus sous forme de données ou de métadonnées en prenant en compte les recommandations suivantes.

- > Dans de nombreux projets de cartographie, une partie des polygones n'est pas délimitée sur le terrain. Il est important de pouvoir différencier les données issues d'interprétations de photographies aériennes, d'extrapolations ou de visites de terrain.
- > La date (ou au minima l'année) de la visite de terrain donne une indication sur la validité d'un polygone ou de l'ensemble de la carte.
- > Le mois (ou la saison) de la visite de terrain peut influencer la fiabilité. Par exemple, une forêt cartographiée en été dans une région où les types de forêts sont différenciés par des fleurs de printemps offrira une interprétation exacte de la couverture arborée, mais une interprétation globale moins fiable. Ceci est particulièrement important pour les habitats temporaires comme les turloughs (lacs saisonniers).

Pour une validation statistique des cartes, voir l'exemple belge dans l'encadré 5.7.

Figure 5.6 Ensemble de règles pour l'élaboration d'une clé d'identification pour la cartographie des habitats de Flandre, Belgique



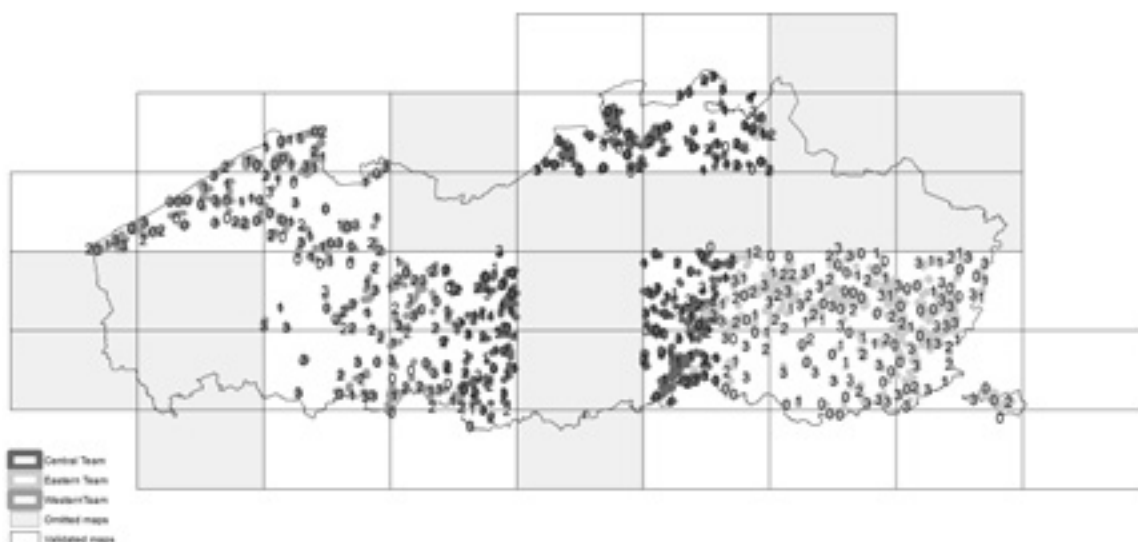
Encadré 5.7 - Étude de cas : validation de la cartographie des habitats Natura 2000 de la Flandre belge

Les partenaires et les utilisateurs de la cartographie des habitats de Flandre ont exprimé le besoin d'une validation des cartes (Paelinckx *et al.*, 2009). La question principale était : quelle part de la superficie représentée comme habitat X correspond réellement à cet habitat ? Et : à quel point la classification est-elle fiable ? En d'autres termes, combien de faux positifs se trouvent dans la base de données ? Les faux négatifs, c'est-à-dire les parcelles d'habitats existants non représentées sur la carte, n'ont pas été évalués car ils ont été considérés comme moins importants par les partenaires.

Pour chaque groupe d'habitats de l'annexe I (forêts, dunes côtières, landes, tourbières et marais), une stratégie d'échantillonnage statistiquement fiable a été produite pour les vérifications de terrain (figure 5.7), en prenant en compte les éléments ci-dessous.

- › Les polygones d'habitat de la carte ont servi d'unités d'échantillonnage. La présence / absence des types d'habitats a été renseignée pour l'ensemble de la carte, et en a été déduite une information vrai faux pour chaque patch.
- › La taille de l'échantillon était principalement fonction de la population à échantillonner (par exemple, le nombre total de parcelles d'un type d'habitat donné). En outre, une estimation *a priori* de la part de patch « vrais » (où l'habitat est réellement présent) par rapport aux « faux » a un impact significatif (la taille de l'échantillon est maximale pour un rapport de 50/50). Pour un intervalle de confiance de 95% et une erreur absolue maximale souhaitée de 5%, la taille théorique d'un échantillon varie entre 30 ha pour les dunes côtières (superficie totale d'environ 2 400 ha ; incertitude presque nulle) à 330 ha pour les landes (superficie totale d'environ 10 000 ha ; incertitude modérée) (Onkelinx & Quataert, 2009).
- › Les questions initiales portaient sur les superficies. Les auteurs ont ainsi pondéré chaque polygone avec sa superficie pour la procédure de sélection aléatoire.
- › Le travail de terrain a été optimisé pour regrouper géographiquement les sites d'échantillonnage en trois zones (figure 5.7). Les auteurs ont également fourni quatre sous-ensembles choisis au hasard, pour permettre le calcul provisoire de résultats représentatifs (mais avec une précision moindre). Comme le montre la figure 5.8, les tailles théoriques des échantillons n'ont pas été toujours respectées, en raison de contraintes de temps. C'est une des raisons pour lesquelles les intervalles de précision sont bien supérieurs à 5%.
- › La figure 5.11 montre des différences significatives entre les groupes d'habitats. Outre la taille insuffisante des échantillons, ces différences peuvent être expliquées par les facteurs suivants :
 - › Pour les forêts, il ne devrait pas y avoir de faux positifs, parce que toutes les forêts de feuillus indigènes dans la zone d'étude appartiennent à l'habitat forestier ;
 - › Parmi les causes importantes de faux positifs, on peut citer les successions dynamiques récentes (terrain entre 2000 et 2009, validation sur le terrain en 2010) et le manque d'uniformité en ce qui concerne les limites inférieures des types d'habitats. Pour les tourbières et les marais, il est possible que les fortes incertitudes (25% de la surface totale) soient liées aux difficultés de correspondance entre la légende originale de la carte (la carte d'évaluation biologique) et les types d'habitats Natura 2000.

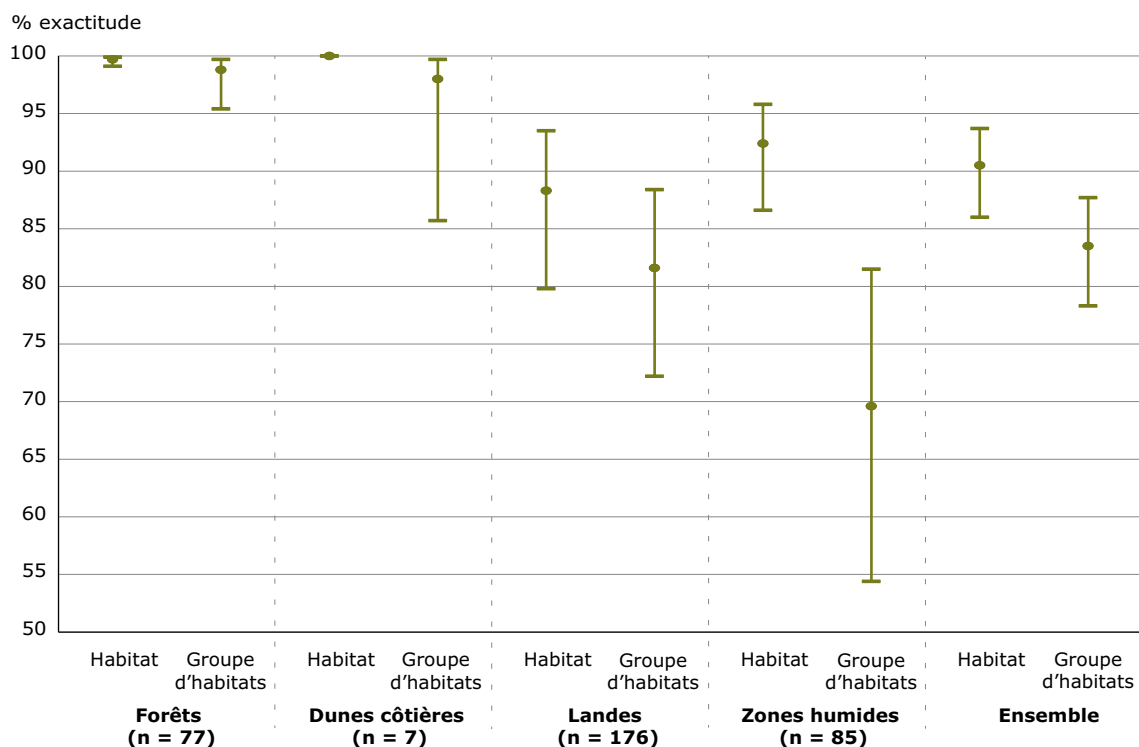
Figure 5.7 La stratégie d'échantillonnage pour l'ensemble des groupes d'habitats : regroupement géographique des échantillons de terrain



Note : les cartographies d'habitats réalisées avant 2000 n'ont pas été incluses ; quatre jeux de données (0, 1, 2 et 3) : 3 équipes de terrain et un sous-échantillonnage aléatoire pour les résultats intermédiaires.

(Encadré 5.7) suite

Figure 5.8 Les intervalles de confiance pour la précision globale de la carte des habitats de Flandre et pour certaines catégories d'habitats



Note : les précisions ont été calculées pour la présence de l'habitat (Habitat) et la présence de l'habitat correspondant au bon groupe d'habitat (Groupe d'habitats).

Intervalle de confiance = 95%.

5.10. Références clés

Franklin, J. (1995). Predictive vegetation mapping: geographic modelling of biospatial patterns in relation to environmental gradients. *Progress in Physical Geography*, 19(4), 474-499.

Hearn, S. M., Healey, J. R., McDonald, M. A., Turner, A. J., Wong, J. L. G., & Stewart, G. B. (2011). The repeatability of vegetation classification and mapping. *Journal of environmental management*, 92(4), 1174-1184.

Louette, G., Adriaens, D., Adriaens, P., Anselin, A., Devos, K., Sannen, K., Landuyt, W. Van, Paelinckx, D., Hoffmann, M. (2011). Bridging the gap between the Natura 2000 regional conservation status and local conservation objectives. *Journal for Nature Conservation*, 19, 224-235.

Smith, G. F., O'Donoghue, P., O'Hora, K., Delaney, E. (2011). *Best practise guidance for habitat survey and mapping*. The Heritage Council, Kilkenny.

6. Usages et applications de la cartographie des habitats

RÉSUMÉ DU CHAPITRE

Bien que les cartographies d'habitats en Europe aient été principalement utilisées ces dernières années pour la mise en œuvre de la directive Habitats, il existe de nombreuses autres applications. Elles sont notamment utilisées pour les politiques de conservation de la nature au niveau national et local, les infrastructures vertes, les politiques agro-environnementales, la gestion forestière et les services écosystémiques. À travers différents exemples, ce chapitre montre comment certaines applications sont largement utilisées, tandis que d'autres sont encore en cours de développement.

6.1. La conservation du patrimoine naturel

6.1.1. La directive Habitats et autres initiatives à l'échelle européenne

6.1.1.1. La carte des régions biogéographiques

La carte officielle des 9 régions biogéographiques mentionnées dans la directive Habitats et la carte paneuropéenne des 11 régions biogéographiques du réseau Émeraude de la convention de Berne ont été produites à partir des cartes de végétation potentielle VPN de Noirfalise *et al.* (1987) et Bohn *et al.* (2000-2003) en associant à chaque unité de cartographie une région biogéographique (telle que définie dans la directive Habitats) ou à un groupe azonal. La carte résultante a été ensuite généralisée, et dans certains cas modifiée, pour aligner les régions avec les frontières nationales (pour plus de détails, voir ETC/BD, 2006). La carte a été produite pour la mise en œuvre des politiques européennes pour la biodiversité, mais a également été utilisée à d'autres fins, notamment comme base pour le projet Biopress qui a étudié les changements d'occupation du sol à travers l'Europe.

6.1.1.2. Identification des sites potentiels des réseaux Natura 2000 et Émeraude

Les annexes I et II de la directive Habitats prévoient une liste d'habitats et d'espèces jugés d'intérêt communautaire pour lesquels les États membres de l'UE ont la responsabilité de désigner des sites Natura 2000 et d'assurer leur état de conservation favorable par une gestion appropriée. De même, en vertu de la convention de Berne, les pays signataires non membres de l'UE doivent désigner des sites dits Émeraude pour assurer la protection des habitats listés dans la résolution 4 (ainsi que les espèces visées par la résolution 6).

Dans les deux cas, les pays se sont engagés à identifier les sites les plus appropriés en vue d'assurer la conservation des habitats ciblés. Cela implique une connaissance fiable de la superficie et de la distribution des habitats ciblés à travers chaque pays. Cependant, seuls quelques pays tels que l'Espagne et la République tchèque disposaient de cartographies appropriées des habitats de leur territoire avant l'identification des sites Natura 2000. Comme le montrent les résultats de l'enquête (chapitre 4), de nombreux pays ont cartographié les habitats de l'annexe I mais uniquement au sein des sites Natura 2000 et après leur désignation sur la base d'informations préexistantes.

Encadré 6.1 - Étude de cas : inventaire et cartographie des habitats de l'annexe I de la directive Habitats en Espagne

Un projet national mené par l'Institut espagnol pour la conservation de la nature (ICONA), avec l'aide d'un groupe de coordination, a été lancé en 1999 pour cartographier les habitats de l'annexe I comme préalable à l'identification de potentiels sites Natura 2000. Initialement, un manuel d'interprétation des habitats de l'annexe I en espagnol a été préparé par le professeur S. Rivas-Martínez. Ce manuel décrit les habitats de l'annexe I présents en Espagne et a fixé les unités à cartographier.

Quelques 250 spécialistes affiliés à plus de 30 instituts et centres de recherche répartis dans tout le pays ont été impliqués dans les inventaires de terrain, sous la coordination scientifique du professeur Rivas-Martínez. Le groupe comprenait principalement des botanistes et des phytosociologues, mais également des experts d'autres spécialités. L'objectif était de dresser un inventaire des types d'habitats sur la base de cartes topographiques au 1/50 000. Le travail sur le terrain a commencé en 1994 et a duré jusqu'à fin 1996, date de la livraison des 1 114 feuilles (équivalent à 960 feuilles entières) à ICONA. Ce projet, financé dans le cadre d'un programme LIFE, a permis de disposer d'un inventaire précis de l'ensemble des types d'habitats pour chacune des quatre régions biogéographiques présentes en Espagne (Loidi, 1999).

Le rapportage sur les types d'habitats dans les sites Natura 2000

Les États membres sont tenus de décrire chaque site Natura 2000 en utilisant un « formulaire standard de données ». Pour les sites comprenant un ou plusieurs habitats de l'annexe I, des informations sur la superficie de chaque type d'habitat sur le site sont requises, ainsi qu'une évaluation de la qualité et de son importance. Les principales informations à fournir sont les suivantes.

- > La superficie pour chaque type d'habitat présent sur le site doit être indiquée en hectare (dans un premier temps cette information était exprimée en pourcentage de la superficie du site).
- > Le degré de représentativité exprime la similarité entre les occurrences d'un type d'habitat sur le site Natura 2000 et la description de la forme typique de l'habitat telle que décrite dans le manuel d'interprétation européen (European Commission, 2013). Le degré de représentativité d'un habitat doit être évalué parmi quatre catégories : « excellent », « bon », « important » ou « présence non significative ». Il peut être évalué en comparant la composition actuelle de l'habitat en espèces végétales avec une composition spécifique typique. Les relevés de végétation sont un moyen approprié pour la collecte de données et les analyses peuvent être prises en charge par des logiciels comme SynBiosys (Schaminée *et al.*, 2007).
- > La surface relative d'un habitat est la superficie du site couverte par ce type d'habitat par rapport à la superficie totale couverte par le même type d'habitat sur le territoire national. Cela nécessite une bonne connaissance de l'habitat à la fois au niveau du site et au niveau national. Ces informations peuvent être obtenues soit par de vastes projets de cartographie soit par un échantillonnage important sur le territoire. Comme la superficie totale d'un habitat est souvent une estimation, la surface relative est déclarée en trois classes de valeur (0-2, 2-15 et 15-100%) plutôt qu'en valeur absolue.
- > Le degré de conservation permet d'évaluer si les structures et les fonctions de l'habitat ont été conservées sur le site, et si une restauration est possible. Chacun de ces trois aspects (structures, fonctions et possibilités de restauration) est noté séparément (trois niveaux chacun), puis intégré. Le score final du degré de conservation d'un habitat au sein d'un site est défini comme « excellent », « bon » ou « moyen/réduit ». Malgré certaines différences conceptuelles, la collecte de données peut être associée à une évaluation de la qualité l'habitat au niveau de la parcelle (voir ci-dessous).

6.1.1.3. L'évaluation de l'état de conservation des habitats au niveau biogéographique

L'article 11 de la directive Habitats exige que « les États membres de l'UE assurent la surveillance de l'état de conservation des habitats naturels et des espèces visées à l'article 2, et en particulier les types d'habitats naturels et les espèces prioritaires ». De même, l'article 17 impose un rapport tous les six ans sur l'état de conservation des espèces et des habitats d'intérêt communautaire, et sur l'efficacité et les effets des politiques de conservation, d'aménagement du territoire et des modes de gestion. Cette évalua-

tion est effectuée par région biogéographique et, le cas échéant, par région marine. Ainsi, si un habitat est présent dans quatre régions biogéographiques, le pays doit fournir quatre évaluations de l'état de conservation de cet habitat. L'état de conservation d'un habitat à l'échelle biogéographique (nationale ou européenne) est défini dans la directive Habitats comme la somme des influences agissant sur un habitat naturel et ses espèces typiques pouvant affecter sa distribution naturelle à long terme, sa structure et ses fonctions, ainsi que la survie à long terme de ses espèces typiques sur le territoire considéré. L'état de conservation favorable d'un habitat se réfère à une situation où l'habitat est prospère (à la fois en qualité et en superficie) au moment de l'évaluation et a de bonnes perspectives de l'être dans le futur (ETC/BD, 2006a ; Evans & Arvela, 2011).

L'évaluation de l'état de conservation est basé sur quatre paramètres (EC, 2005, 2011a):

- > **la superficie**, somme des espaces réellement occupés par l'habitat ;
- > **la distribution**, région dans laquelle l'habitat est susceptible de se trouver, à condition que les conditions locales soient appropriées ;
- > **les structures et les fonctions spécifiques**, englobant les espèces typiques et les différents indicateurs de la qualité de l'habitat ;
- > **les perspectives futures** pour le maintien de l'habitat dans la région biogéographique.

Chaque paramètre est évalué selon quatre niveaux: « favorable », « défavorable – inadéquat », « défavorable – mauvais » ou « inconnu », et les quatre paramètres sont combinés pour donner une évaluation globale de l'état de conservation (en utilisant les mêmes quatre niveaux).

Pour les « Structures et fonctions », de nombreux États membres ont choisi de les évaluer à l'échelle locale (la parcelle ou le site), puis d'agréger les données locales par catégorie (parfois pondérées par la taille de la parcelle) au niveau biogéographique. De cette façon, les structures et les fonctions évaluées peuvent être adaptées à chaque type d'habitat. Idéalement, les zones échantillonnées devraient suivre un plan d'échantillonnage probabiliste.

Le paramètre « Perspectives futures » est destiné à anticiper l'évolution du statut de conservation de l'habitat et les tendances à venir en termes de superficie, de distribution, de structure et de fonctions sur la base des impacts attendus liés aux menaces pour la prochaine période de rapportage. Leur évaluation est basée principalement sur des données complémentaires et des avis d'experts, en utilisant différentes sources disponibles. Par exemple, les tendances des dépôts d'azote atmosphérique issues des systèmes nationaux de surveillance de l'environnement (par exemple la qualité de l'air) peuvent être comparées à des seuils de charges critiques pour les habitats des milieux pauvres en nutriments.

Pour évaluer un type d'habitat, il faut connaître à la fois sa superficie et sa distribution totale. Ces informations peuvent, le cas échéant, être dérivées des cartographies d'habitat. Certains projets de cartographie ont été conçus pour permettre de collecter également des informations sur la qualité des habitats.

Encadré 6.2 - Étude de cas : le rapportage au titre de l'article 17 de la directive Habitats en Grèce

Une méthode a été récemment adoptée pour le suivi et l'évaluation des habitats en Grèce. Le premier objectif est d'établir un réseau de placettes permanentes pour la surveillance et l'évaluation de l'état de conservation des habitats de l'annexe I à l'échelle nationale (conformément à l'article 11 de la directive Habitats). Le second objectif est de répondre aux exigences de rapportage liées à l'article 17 (Dimopoulos *et al.*, 2005 et 2012).

Une méthodologie ascendante (*bottom-up*) a été mise en place, c'est-à-dire du niveau local (site) au niveau national, à la fois au sein et hors du réseau Natura 2000. À l'échelle locale, le degré de conservation de chaque type d'habitat a été évalué sur le terrain à l'aide d'un protocole pour mesurer sa structure et ses fonctions. Cette évaluation est basée sur les paramètres suivants: i) les espèces typiques (présence, abondance relative et vitalité); ii) la structure et les fonctions spécifiques à l'évaluation du degré de conservation; et iii) les pressions et les menaces permettant de prédire les perspectives futures de la structure et des fonctions. Le protocole est conçu pour refléter la différenciation écologique et géographique des communautés associées à chaque type d'habitat, car différentes combinaisons d'espèces typiques sont utilisées pour les sous-types d'habitats géographiques et écologiques.

Pour chaque type d'habitat, les paramètres mentionnés sont évalués localement, grâce aux inventaires de terrain. Un des enjeux méthodologiques a été de gérer les changements d'échelles: de la parcelle à la maille 10 x 10 km, du site à l'échelle nationale. La méthode la plus simple est d'utiliser le mode d'évaluation pour chaque passage à

l'échelle supérieure. Par conséquent, à partir du protocole d'évaluation de chaque parcelle, on évalue la maille, en utilisant le score minimum pour les cellules liées, et enfin à l'évaluation du degré de conservation de la structure et des fonctions de chaque type d'habitat au niveau du site. L'évaluation générale de l'évolution de la structure et des fonctions est calculée en fonction de la combinaison des scores de leur statut actuel, des tendances futures et du statut futur.

Conformément aux directives pour le rapportage, un autre paramètre important pour l'évaluation de l'état de conservation des types d'habitats est la superficie occupée. Celle-ci est mesurée à l'aide des données de terrain et des jeux de données issus de la modélisation pour les secteurs hors Natura 2000. L'étendue et les tendances des deux paramètres de distribution (superficie et distribution) sont évaluées, de même que leurs valeurs de référence favorables.

En résumé, pour chaque type d'habitat à l'échelle nationale, le score de quatre critères sont évalués : structure et fonctions spécifiques (valeurs extrapolées de la parcelle, au site, jusqu'au niveau national), les perspectives d'avenir (valeurs extrapolées de la parcelle jusqu'au niveau national), la superficie (évaluée à l'échelle nationale) et la distribution (évaluée à l'échelle nationale).

6.1.1.4. Suivi et évaluation de la qualité de l'habitat

Le suivi local de la qualité des patch d'habitats peut servir à différentes applications : il constitue un outil pour les gestionnaires de sites et sert de référence pour une évaluation appropriée des plans et des projets à venir. En outre, à travers un processus d'agrégation, les suivis peuvent être utilisés pour remplir les formulaires standards de données et contribuer à l'évaluation de la structure et des fonctions au titre de l'article 17.

Le type d'habitat est un facteur crucial pour déterminer les variables à surveiller. Plusieurs États membres ont élaboré des méthodes pour évaluer la qualité locale des patchs d'habitats en utilisant des indicateurs et des valeurs seuils adaptés à des habitats spécifiques et à des contextes régionaux ou nationaux (par exemple Verbücheln *et al.*, 2002; Ellmauer, 2005; Sjøgaard *et al.*, 2007; T'Jollyn *et al.*, 2009). Les études de cas des encadrés 6.3 et 6.4 présentent différentes approches adoptées en Belgique.



Photo 6.1 Protocole de suivi de la qualité des habitats dans le parc naturel du Český kras en République tchèque

Source : J. Ichter

Encadré 6.3 - Étude de cas : évaluation de la qualité des habitats en Flandres (Belgique)

En Flandres, l'objectif principal était de produire un outil scientifiquement robuste mais facilement applicable pour évaluer la qualité d'une parcelle d'habitat en une seule visite sur le terrain (à un moment propice de l'année). La méthode doit être applicable par un botaniste expérimenté, mais pas nécessairement expert, avec des moyens et un équipement limités (T'Jollyn *et al.*, 2009 et éditions ultérieures). Conceptuellement, l'outil a été basé sur une approche développée en Allemagne (Verbücheln *et al.*, 2002).

En règle générale, trois catégories d'indicateurs sont prises en compte : la structure des habitats, la végétation et les perturbations. Pour chacune de ces catégories, les indicateurs choisis et leurs valeurs seuils peuvent être adaptés au type d'habitat. Par exemple, un indicateur typique d'une bonne structure pour de nombreux habitats pauvres en nutriments est la variation des formes de vie des plantes ; pour les forêts, la distribution des diamètres des troncs d'arbres. Les indicateurs de végétation se concentrent généralement sur la présence et la couverture des espèces clés de l'habitat (par exemple *Corynephorus canescens* pour les landes sèches sableuses). Les indicateurs de perturbation comprennent généralement la présence d'espèces exotiques envahissantes (par exemple la mousse exotique *Campylopus introflexus* pour l'état de santé des dunes sèches) ou la fermeture par les ligneux pour les milieux ouverts.

Étant donné que ce type d'évaluation fonctionne essentiellement au niveau de la parcelle, la généralisation à des échelles géographiques plus petites devrait être basée sur des modèles de connectivité/fragmentation, en prenant en compte les concepts de métapopulation des espèces de flore et de faune typiques.

Pour plus d'informations, voir T'Jollyn *et al.* (2009).

Encadré 6.4 - Étude de cas : le suivi des prairies maigres de fauche à l'échelle de la parcelle en Wallonie, Belgique

Le suivi des habitats à l'échelle de la parcelle inclut la superficie, la configuration spatiale (isolement) et la qualité. Dans de nombreux cas, il est limité aux sites Natura 2000. Comme la gestion et l'évaluation exigent une localisation précise des habitats au sein des sites, la superficie et la configuration spatiale sont généralement dérivées de la cartographie. Le suivi de la qualité de l'habitat peut être basé sur un inventaire exhaustif (c'est-à-dire une cartographie) ou sur un échantillonnage (par exemple, les relevés de végétation).

Un bon exemple est le système de surveillance de l'habitat de l'annexe I 6510 «Prairies de fauche de basse altitude» mis en place en Wallonie (Belgique) depuis 2012. Comme il est impossible de vérifier chaque parcelle d'habitat tous les 6 ans, une méthode standardisée basée sur un échantillonnage stratifié a été développée afin de disposer d'une bonne évaluation du degré de conservation d'un échantillon significatif de parcelles. La méthode a pris en compte les contraintes inhérentes à ce type de travail : le nombre de personnes capables de faire l'évaluation tous les 6 ans (dans ce cas, 18 personnes disponibles pendant une période de 6 semaines entre le 1^{er} mai et le 20 juin), et le temps nécessaire pour inventorier les parcelles (présence/absence de l'habitat + inventaire botanique).

Il a été décidé de vérifier un ensemble aléatoire de mailles de 5 x 5 km dérivées du maillage ETRS 10 x 10 km utilisé pour l'article 17. Afin d'acquérir une évaluation précise pour chaque sous-région de Wallonie, 5 sous-ensembles de mailles ont été choisis au hasard. En 2012, l'évaluation a commencé avec un ensemble théorique de 215 mailles à vérifier (avec une moyenne estimée de 2 jours/maille/expert). Cependant l'expérience a montré que l'objectif était trop ambitieux et, à ce jour, seulement 125 mailles ont effectivement été visitées.

Figure 6.1 Matrice utilisée pour évaluer les parcelles d'habitat 6510 «Prairies de fauche de basse altitude» en Wallonie, Belgique

6510 en Wallonie		Pelouses maigres de fauche de basse altitude Évaluation au niveau de la parcelle		
Indicateurs		A : très bon	B : bon à modéré	C : mauvais
Superficie		≥ 1 ha	entre 0,5 et 1 ha	< 0,5 ha
		A : très bon	B : bon à modéré	C : mauvais
Espèces caractéristiques (soulignées) et espèces indicatrices d'un bon état de conservation		<i>Anthriscus sylvestris</i> <i>Arrhenatherum elatius</i> <i>Avenula pubescens</i> <i>Centaurea gr. jacea</i> <i>Crepis biennis</i> <i>Daucus carota</i> <i>Lathyrus pratensis</i> <i>Lotus corniculatus</i> <i>Sanguisorba minor</i>	<i>Brachypodium pinnatum</i> <i>Briza media</i> <i>Bromus erectus</i> <i>Campanula rapunculus</i> <i>Galium mollugo</i> <i>Geranium pratense</i> <i>Heracleum sphondylium</i> <i>Knautia arvensis</i> <i>Leontodon hispidus</i> <i>Leucanthemum vulgare</i>	<i>Colchicum autumnale</i> <i>Pastinaca sativa</i> <i>Pimpinella major</i> <i>Rhinanthus angustifolius</i> <i>Rhinanthus minor</i> <i>Saxifraga granulata</i> <i>Tragopogon pratensis</i> <i>Trisetum flavescens</i>
	Nombre d'espèces caractéristiques	≥ 7	entre 4 et 6	= 3 (si < 3 ce n'est pas l'habitat 6510)
Couverture des espèces caractéristiques	≥ 50%	entre 25 et 50%	entre 10 et 25%	
Perturbations				
Indicatrices de pâturage		<i>Bellis perennis</i> <i>Cynosurus cristatus</i> <i>Lolium perenne</i>	<i>Poa annua</i> <i>Ranunculus repens</i> <i>Rumex crispus</i>	<i>Rumex obtusifolius</i> <i>Taraxacum sp.</i> <i>Trifolium repens</i>
	Couverture des espèces	< 40%	Entre 40 et 60%	>60%
Indicatrices d'eutrophisation		<i>Alopecurus pratensis</i> <i>Bromus hordeaceus</i>	<i>Cirsium vulgare</i> <i>Phleum pratense</i>	<i>Poa trivialis</i> <i>Urtica dioica</i>
	Couverture des espèces	< 10%	Entre 10 et 30%	>30%

6.1.2. Les listes rouges des habitats

À ce jour, les listes rouges des habitats réalisées en Europe sont principalement basées sur des typologies phytosociologiques et ont été réalisées indépendamment des cartographies d'habitat.

Les territoires disposant de listes rouges ou de méthodologies pour leur élaboration au niveau des associations végétales (terrestres et aquatiques) sont :

- > la République tchèque (Moravec *et al.*, 1983, 1995 ; Kučera, 2009.);
- > la région de Vorarlberg en Autriche (Grabherr & Polatschek, 1986);
- > le littoral français (Géhu, 1991; Bioret, 2011);
- > le littoral de la mer des Wadden (Westhoff *et al.*, 1993; Von Nordheim *et al.*, 1996)
- > l'Espagne (Loidi, 1994);
- > la mer Baltique (von Nordheim & Boedeker, 1998);
- > l'Allemagne (Rennwald, 2000 ; Abdank, 2000, 2004, Berg *et al.*, 2004);
- > la Slovaquie (Maglocky & Valachovič, 1996);
- > le Royaume-Uni (Rodwell & Cooch, 1998);
- > la Hongrie (Borhidi & Santa, 1999);
- > les Pays-Bas (Weeda *et al.*, 2005).

Au niveau des alliances végétales, des listes rouges existent également en ex-URSS (Solomeshch *et al.*, 1997) et dans différents rapports non publiés en Lettonie (Pakalne *et al.*, 1995), en République tchèque (Kučera *et al.*, 1995) et en Slovaquie (Valachovič & Rodwell, 1995). Certains de ces pays disposent de cartes de distribution des syntaxa à différentes échelles et sous différents formats (cartes de répartition par points ou images vectorielles) qui permettent de représenter visuellement les listes rouges des végétations. Dans de très rares cas, des cartes de distribution historiques ont utilisé une typologie permettant des comparaisons temporelles et donc une évaluation des tendances.

Des listes rouges élaborées sur la base de classifications nationales ou régionales d'habitats/biotopes ont été produites pour les territoires suivants :

- > l'Autriche (Essl *et al.*, 2002a, 2000b, 2004, 2008 ; Traxler *et al.*, 2005);
- > la Bulgarie (voir <http://e-ecodb.bas.bg/rdb/en/vol3>);
- > l'Allemagne (Riecken *et al.*, 2006);
- > la Finlande (Raunio *et al.*, 2008);
- > la Norvège (Lindgaard & Henriksen, 2011);
- > les zones humides de France métropolitaine (Carré, 2012);
- > la mer des Wadden (von Nordheim *et al.*, 1996);
- > la mer Baltique (HELCOM, 1998);
- > la mer Méditerranée et l'Atlantique du Nord-Est (OSPAR, 2003).

Les typologies utilisées pour ces études sont : CORINE biotopes, la classification EUNIS, les types d'habitats de l'annexe I de la directive Habitats ou des typologies propres au projet ou au territoire.

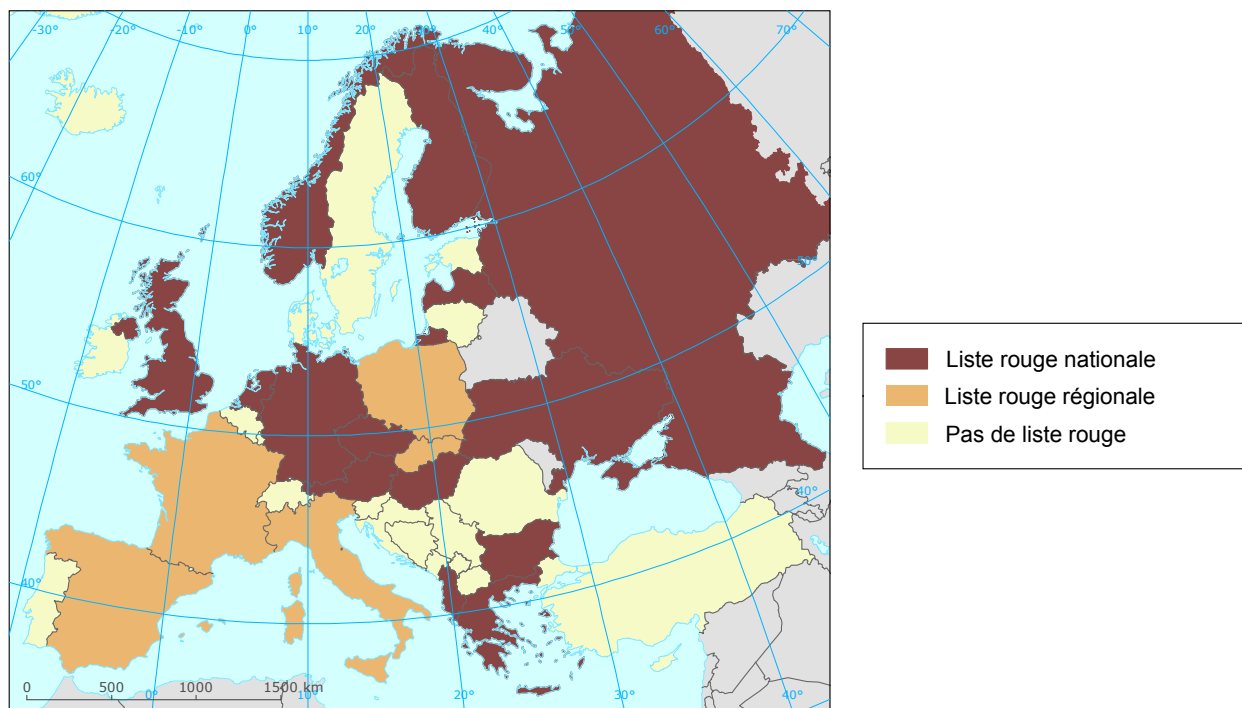
À l'avenir, une utilisation plus approfondie des cartographies d'habitats pour l'élaboration de listes rouges pourrait fournir une meilleure estimation des zones d'occupation et des zones d'occurrence, ainsi que de la dispersion ou du degré de fragmentation des habitats. La comparaison de cartes à différentes dates pourrait alors permettre d'évaluer les tendances à la hausse, à la baisse ou stables. Grâce aux SIG, les cartographies d'habitats pourraient permettre de développer l'usage des listes rouges dans les domaines de la gestion et de la conservation du patrimoine naturel, de l'aménagement du territoire et de l'évaluation des services écosystémiques.

Un projet de liste rouge européenne des habitats, financé par l'UE, est en cours d'élaboration à la suite d'une étude exploratoire pour la Direction générale de l'environnement. La méthode proposée est compatible avec les dernières propositions de l'UICN (Keith *et al.*, 2013) et basée sur la classification des habitats EUNIS.

Carte 6.1 Les listes rouges des végétations et des habitats en Europe

Note : les listes rouges (LR) sont dites régionales lorsqu'elles ne couvrent qu'une partie du territoire national, par exemple le littoral français

Source : Rodwell *et al.* (2013)



Encadré 6.5 - Étude de cas : la liste rouge des biotopes d'Autriche

Le premier catalogue des biotopes d'Autriche et la liste rouge des biotopes ont été produits entre 2000 et 2008 (Essl *et al.*, 2002b, 2004, 2008a ; Traxler *et al.*, 2005), en suivant principalement les méthodes développées en Allemagne (Riecken *et al.*, 1994).

Le catalogue des écosystèmes

Malgré une superficie relativement réduite (84 000 km²), l'Autriche bénéficie d'une grande diversité d'écosystèmes, depuis les régions montagneuses des Alpes orientales jusqu'aux plaines de l'Est. Elle se trouve à la transition des zones biogéographiques océanique tempérée, continentale tempérée et subméditerranéenne. Le catalogue des biotopes d'Autriche contient 488 écosystèmes regroupés hiérarchiquement au sein de 11 groupes principaux d'écosystèmes. Au total, 383 biotopes sont considérés comme des écosystèmes naturels ou semi-naturels de grande valeur patrimoniale et 105 biotopes sont des écosystèmes modifiés de faible ou sans valeur patrimoniale (par exemple, les forêts et prairies gérées de manière intensive et les écosystèmes urbains).

La distribution actuelle des biotopes peut être représentée à travers des cartes de présence/absence par maille d'environ 35 km² grâce à la base de données des écosystèmes d'Autriche (c'est-à-dire les forêts, les tourbières, les prairies et les écosystèmes agricoles). Dans la plupart des cas, le niveau de connaissance est jugé bon à cette échelle, les cartes de répartition reflètent donc de manière fiable l'étendue réelle des écosystèmes en Autriche.

La liste rouge des écosystèmes

Le niveau de menace sur les biotopes est une préoccupation importante. Environ trois quarts des types de biotopes évalués ont été placés dans une catégorie de menace. Cinq types de biotopes ont été complètement détruits, 33 sont menacés de disparition, 123 sont vulnérables et 123 en danger. Seuls 93 biotopes de grande valeur patrimoniale ne sont pas menacés - principalement des biotopes d'altitude, certains biotopes forestiers et des biotopes géomorphologiques.

Globalement, la restauration des biotopes n'est possible que sous certaines conditions et nécessite de très longues durées. Un total de 110 types de biotopes ne peut pas être régénéré ou ne pourrait l'être que sur des périodes extrêmement longues, et 232 types de biotopes sont considérés difficiles à restaurer. Seuls 41 types de biotopes peuvent être restaurés sous certaines conditions et dans des durées plus courtes (environ 15 ans). Ces résultats montrent clairement les limites des possibilités de restauration des habitats.

Les menaces qui pèsent sur les biotopes en Autriche sont sérieuses et il est prouvé que l'état de conservation de nombreux types de biotopes nécessitant une gestion traditionnelle extensive se détériore. La menace la plus importante est l'eutrophisation, suivie par l'abandon des modes de gestion traditionnels extensifs qui s'accompagne par la fermeture des milieux. Les autres menaces importantes sont l'application de biocides et d'intrants chimiques diffus, les défrichements, les reboisements, l'intensification de l'occupation du sol, l'artificialisation et les interventions sur les milieux aquatiques et humides telles que les obstructions de rivière, les drainages et les ouvrages hydro-électriques. Dans la plupart des cas, les biotopes sont soumis à différents types de menace simultanément.

6.2. Les politiques d'aménagement du territoire

La cartographie des habitats permet de nombreuses applications pour l'accompagnement des politiques d'aménagement du territoire. En particulier pour la mise en œuvre des trames vertes et bleues, les mesures agri-environnementales, les études d'impacts, la gestion forestière et la caractérisation des services écosystémiques.

Le programme *Carta della Natura* en Italie a été développé comme un outil d'aide à l'aménagement du territoire

Encadré 6.6 - Étude de cas : Carta della Natura en Italie

Le système *Carta della Natura* en Italie est basé sur l'hypothèse que les connaissances sur l'environnement, y compris la répartition des habitats, sont essentielles à une mise en œuvre efficace des politiques environnementales. Il fournit une représentation à la fois complexe et synthétique de l'environnement en Italie et combine des informations sur les facteurs physiques, biotiques et anthropiques permettant d'évaluer la valeur patrimoniale, les risques de dégradation et la fragilité des écosystèmes.

Le système propose différentes applications : l'identification des réseaux écologiques, les études d'impact et l'évaluation des politiques environnementales. *Carta della Natura* peut être utilisé pour identifier des habitats (y compris les habitats de l'annexe I) et des paysages, permettant le suivi des actions de conservation et de restauration.

En mobilisant les jeux de données appropriés, il est possible de modéliser des scénarios d'évolution de l'environnement et des réponses possibles sous forme de cartes thématiques. Par exemple, en Sardaigne, un indice de pression anthropique basé sur le nombre d'habitants a été calculé en tenant compte des flux touristiques (nombre de lits disponibles) et permet une prédiction des risques anthropiques sur les habitats naturels. La comparaison entre un état de stress et un état de référence aide à identifier les principales zones à risque à certaines périodes de l'année (Laureti *et al.*, 2011)

Une autre application importante de *Carta della Natura* est l'identification des types d'habitats sensibles aux plantes exotiques envahissantes. L'identification des zones sensibles permet de cibler plus efficacement les opérations de surveillance et de restauration.

6.2.1. Des réseaux écologiques aux infrastructures vertes

Depuis les années 1980, de nombreuses initiatives en Europe visant à établir des réseaux écologiques à des échelles locales, régionales, nationales ou supranationales, se sont développées. Il s'agissait principalement de répondre à la fragmentation croissante des habitats et à ses effets négatifs sur la mobilité et la migration des espèces. Au cours des dernières années, l'intérêt pour le concept de réseaux écologiques s'est accru avec la prise de conscience de la menace potentielle du changement climatique pour la biodiversité européenne.

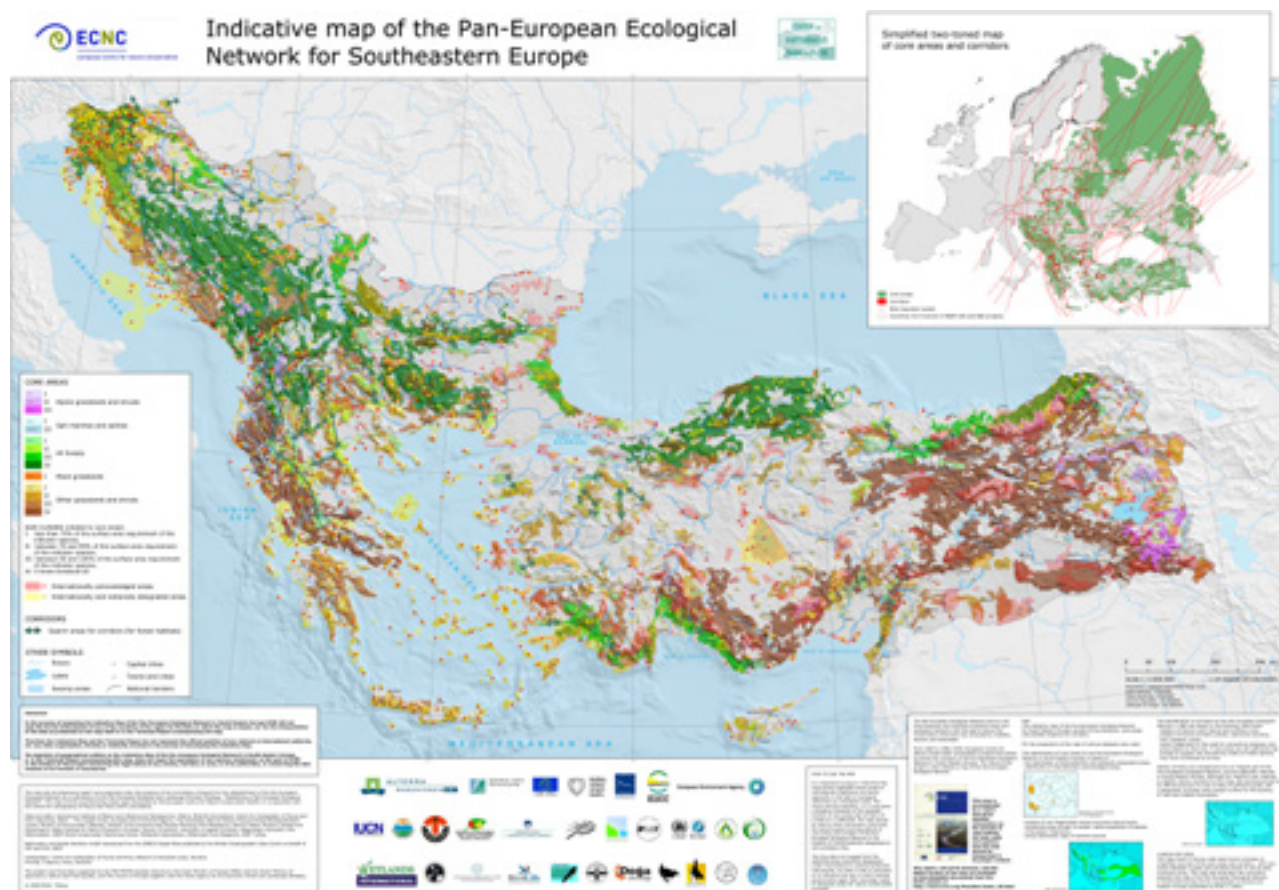
Indépendamment de l'échelle à laquelle ils se rapportent (locale, régionale, nationale ou internationale), les réseaux écologiques comprennent généralement au moins une partie des éléments suivants : des zones cœur (généralement des aires protégées), des corridors dont des pas japonais (*stepping stones*), des zones tampons et des zones de restauration.

En 1995, le « réseau écologique paneuropéen » (*Pan-European Ecological Network, PEEN*) a été lancé comme un élément clé de la stratégie paneuropéenne pour la diversité biologique et paysagère, validée par les 54 pays présents à la troisième conférence ministérielle intitulée « Un environnement pour l'Europe » réunie à Sofia en Bulgarie. Le réseau PEEN a été conçu comme un réseau physique à mettre en œuvre sur le terrain pour assurer la conservation des écosystèmes, des habitats, des espèces et des paysages d'importance européenne. Mais il s'est également agi d'un mécanisme de coordination par lequel les partenaires pouvaient élaborer et mettre en œuvre des actions de coopération basées sur une variété d'initiatives existantes. Celles-ci comprennent Natura 2000, le réseau européen de réserves biogénétiques, le concept de réseau écologique européen (EECONET, *European Ecological Network*), la convention de Berne (y compris le réseau Émeraude), la convention de Bonn sur les espèces migratrices et les nombreux réseaux écologiques nationaux et régionaux déjà en cours de développement.

Plusieurs cartes indicatives du réseau PEEN pour l'Europe ont été produites : en Europe centrale et orientale (2002), en Europe du Sud (2006) et en Europe occidentale (2006) (Bonnin *et al.*, 2007).

Dans la plupart des cas, et en l'absence de cartographies d'habitats, la cartographie des corridors écologiques est basée sur les types d'occupation du sol (plutôt que sur des habitats ou sur des types de végétation) combinés avec d'autres caractéristiques écologiques comme les aires protégées, les points chauds de la biodiversité et la présence des espèces.

Carte 6.2 Carte indicative du réseau écologique paneuropéen pour le sud-est de l'Europe



Source: ECNC (2006)

L'adoption par la Commission européenne d'une stratégie pour l'infrastructure verte en mai 2013 est une étape clé dans la mise en œuvre de la stratégie de la biodiversité 2020 de l'UE. En particulier, le deuxième objectif vise à « la préservation et l'amélioration des services écosystémiques et le rétablissement d'au moins 15 % des écosystèmes dégradés dans toute l'Union européenne » d'ici à 2020. Les cartes de végétation potentielle naturelle (VPN) ont souvent été utilisées pour planifier les projets de restauration ; elles peuvent aider à choisir le type de végétation adapté aux conditions du site (climat, type de sol, etc.). À titre d'exemple, Rodwell & Paterson (1994) utilisent la carte européenne de végétation potentielle (Bohn *et al.*, 2000-2003) (voir section 2.4) pour proposer des essences forestières dans le cadre des programmes de reboisement en Grande-Bretagne. Rodwell (2005) a également utilisé la carte de VPN pour anticiper des paysages dans le futur au nord de l'Angleterre.

Un des concepts sous-jacents de l'infrastructure verte est la multifonctionnalité des espaces. Sous réserve de gestion appropriée, une zone est capable de fournir de multiples avantages: conservation de la biodiversité, rétention d'eau, lutte contre les inondations, refroidissement d'îlots urbains, atténuation de l'impact du changement climatique et autres.

Encadré 6.7 - Exemples de composants d'une infrastructure verte

L'infrastructure verte comprend les espaces naturels et semi-naturels en zones rurales, urbaines, terrestres, côtières, marines et en eau douce – depuis de vastes zones sauvages jusqu'aux toitures végétalisées.

Un groupe de travail mis en place par la Commission européenne a identifié certaines composantes de l'infrastructure verte.

- › Les zones à haute valeur de biodiversité, par exemple les aires protégées (les sites Natura 2000) et leurs zones tampons.
- › Les zones à haute valeur naturelle effective ou potentielle en dehors des zones protégées (par exemple les zones inondables, les zones humides, les marais côtiers, les prairies extensives et les forêts).
- › Les écosystèmes agricoles gérés durablement, les forêts à haute valeur pour la biodiversité ordinaire.
- › Les rivières et les cours d'eau, y compris les plaines inondables, les marais et les forêts riveraines.
- › Les îlots boisés, les haies et les bandes fleuries peuvent servir de corridors écologiques ou de pas japonais (stepping stones) pour la faune, par exemple, dans les zones gérées de manière intensive.
- › Les parcelles d'habitats restaurées et les niches écologiques créées pour des fonctions ou des espèces-cibles spécifiques, notamment pour augmenter les aires d'alimentation, de reproduction ou de repos, pour faciliter les migrations / dispersions d'espèces, ou pour améliorer le stockage du carbone et le cycle de l'eau d'une zone.
- › Les aménagements artificiels, écoducs ou écoponts, conçus pour favoriser le déplacement des espèces à travers les infrastructures fragmentantes (routes et autoroutes) et rétablir la perméabilité du paysage. Ou certains aménagements multi-fonctionnels comme les sols perméables en milieu urbain qui permettent les échanges d'eau et de gaz entre le sol et l'atmosphère (sous réserve d'avoir un impact significatif ou de faire partie d'une action plus large pour la biodiversité).
- › Les zones multifonctionnelles qui contribuent au maintien ou à la restauration des écosystèmes (par exemple, maintien du fonctionnement hydraulique des tourbières, et de l'agriculture biologique et de la sylviculture multifonctionnelle, par opposition aux usages exclusivement productifs des zones agricoles et des forêts).
- › Les éléments urbains (tels que les forêts urbaines et péri-urbaines, les zones agricoles urbaines, les parcs riches en biodiversité, les murs et toitures végétalisés) qui permettent aux écosystèmes de fonctionner et d'offrir leurs services. Ces éléments devraient également connecter les zones urbaines, péri-urbaines et rurales.
- › Les structures rurales d'origine anthropique telles que les murs de pierre et les terrasses, les bâtiments historiques et les haies bocagères.

6.2.2. L'évaluation de l'impact environnemental

L'évaluation de l'impact environnemental (EIE) est une procédure qui permet d'anticiper les implications environnementales en amont de la prise de décision. Dans l'Union européenne, deux directives ont pour objectif de s'assurer que les plans, programmes et projets susceptibles d'avoir des incidences notables sur l'environnement sont soumis à une évaluation environnementale avant leur approbation ou leur autorisation. Il s'agit de la directive 2001/42/CE sur l'évaluation stratégique des incidences sur l'environnement ou ESIE, et de la directive 2011/92/UE sur l'évaluation des incidences de certains projets publics et privés sur l'environnement.

Outre les critères géologiques, hydrologiques, toxicologiques, acoustiques... des informations sur la biodiversité sont collectées et analysées. L'évaluation des données biologiques est particulièrement importante dans le cas de projets influençant des sites Natura 2000, selon l'article 6 paragraphe 3 de la directive Habitats. Les cartographies d'habitats ou de végétation représentent une source potentielle d'information pour l'évaluation biologique.

6.2.2.1. Utilisation de données issues de cartographies d'habitat

Les habitats ne présentent pas un intérêt pour la conservation uniquement en tant que types d'habitats naturels, ils fournissent également un biotope pour des espèces de plantes et d'animaux. Les cartographies d'habitat contiennent parfois des informations sur les espèces végétales, ou *a minima* sur leur présence potentielle. Ainsi la structure responsable de l'EIE peut proposer ou ordonner une enquête ciblée sur les sites potentiels. De même, l'information sur la qualité et la quantité de certains habitats peut servir pour estimer les tailles de populations d'espèces particulières. Par exemple, les données sur la qualité et la superficie des prairies sèches calcicoles à orchidées permettent une estimation approximative des populations d'orchidées; les informations sur la superficie, la structure et la quantité de bois mort d'une hêtraie peuvent aider à appréhender des conditions potentielles pour les champignons et les insectes des forêts anciennes.

6.2.2.2. Les étapes de l'évaluation de l'impact environnemental

L'EIE se compose de plusieurs étapes ou phases, en commençant par la sélection et le cadrage. La sélection (*screening*) doit déterminer si une EIE est requise en fonction du type de projet et de son ampleur (par exemple si la superficie affectée est supérieure à une surface déterminée). Alternativement, la sélection peut être basée sur des informations spécifiques au site. Celle-ci comprend notamment la présence d'espèces ou d'habitats d'intérêt communautaire. Dans ce cas, l'intérêt des cartographies d'habitats est évident. Le résultat du processus de sélection est généralement présenté sous la forme d'un examen environnemental initial (EEI). La principale conclusion est la classification du projet, en fonction de sa sensibilité environnementale potentielle. Cela permet de déterminer si une EIE est nécessaire, et à quel niveau de détail.

Le cadrage (*scoping*) intervient en amont dans le cycle du projet, en même temps que les études de planification et de pré-faisabilité. Le cadrage est le processus d'identification des principaux problèmes environnementaux, et constitue certainement l'étape la plus importante d'une EIE. Plusieurs acteurs, en particulier les décideurs, la population locale et la communauté scientifique sont impliqués pour déterminer quelles questions devraient être prises en considération.

Pour évaluer l'impact sur un type d'habitat d'un projet sur un site particulier, l'opérateur ou la structure en charge doit tenir compte de la qualité et la superficie de l'habitat concerné, ainsi que de son importance locale/régionale/nationale ou européenne. La connectivité de l'habitat avec son environnement est également évaluée. Plusieurs questions sont envisagées. Quelle est la superficie de l'habitat concernée par le projet? Comment sera-t-il fragmenté, en particulier pour des projets linéaires? Est-il connecté avec des habitats environnants? Les grandes bases de données d'habitats aident à répondre à ces préoccupations. De même, les cartographies détaillées des habitats sur de vastes territoires (nationaux ou régionaux) fournissent de meilleurs outils d'aide à la décision que lorsque les données sont limitées à certaines zones naturelles protégées.

La structure en charge de l'EIE peut approuver le projet (publication d'une déclaration positive) même en cas d'impacts négatifs sur l'environnement (par exemple sur des habitats ou des espèces). Dans ce cas, le projet doit généralement faire prévaloir des arguments sur la santé, la défense ou des avantages sociaux, et des mesures de compensation doivent être proposées. Lorsqu'une cartographie des habitats est disponible, l'opérateur peut demander au promoteur de restaurer un habitat d'un site voisin.

Encadré 6.8 - Étude de cas en République tchèque

La cartographie des habitats de République tchèque couvre l'ensemble des habitats naturels du territoire. Les données sont disponibles librement sur demande à l'Agence pour la conservation de la nature. En République tchèque, seules les personnes habilitées par le ministère de l'Environnement sont autorisées à réaliser des EIE et des évaluations de projets affectant les sites Natura 2000 (espèces et habitats d'intérêt communautaire). Cet encadré illustre deux exemples ayant mobilisé la couche cartographique des habitats tchèques.

L'inventaire et la conservation des habitats et des espèces pendant la reconstruction d'une voie ferrée

La reconstruction d'une voie ferrée le long d'une rivière au fond d'une vallée a été proposée. Elle incluait la stabilisation des talus par des grillages et des clôtures. La phase de sélection (*screening*) a permis d'identifier des impacts négatifs potentiels de ces mesures de sécurité sur des habitats d'intérêt communautaire (prairies rupicoles annoniques, pentes rocheuses calcaires avec végétation chasmophytique et fourrés péripannoniques subcontinentaux) dans un site Natura 2000 à proximité. Un inventaire détaillé a été commandé ainsi qu'une évaluation de ces habitats durant l'étude de cadrage.

Les mesures de compensation pour les prairies sèches et les forêts thermophiles après l'augmentation de la production de chaux

Une usine de chaux a prévu une augmentation de sa production. Cette production implique la production d'oxyde d'azote par combustion à haute température. Ceux-ci représentent une source de fertilisation après lessivage dans le sol par la pluie. Cela constitue une menace pour les prairies sèches à faible productivité (oligotrophiles) et les forêts thermophiles. Au cours de l'EIE, un modèle de dépôt des émissions d'azote a été créé ; selon ce modèle, plusieurs sites Natura 2000 seraient influencés négativement. Le propriétaire de l'usine de chaux a signé un accord pour compenser les effets négatifs avec une gestion conservatoire : le pâturage des prairies sèches et l'entretien en taillis des forêts thermophiles.

6.2.3. Les mesures agri-environnementales

Les mesures agro-environnementales ont été introduites dans la Politique agricole commune (PAC) de l'UE et sont obligatoires dans tous les États membres de l'UE.

Afin d'atteindre les objectifs nationaux pour l'adoption de mesures agro-environnementales, il est nécessaire de disposer de données de base pour comprendre les facteurs critiques de l'environnement et plus généralement du milieu rural. Par exemple, pour maintenir des normes suffisantes de qualité des eaux dans une région, il est important de recueillir des informations de base sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines. Pour le maintien et la protection des écosystèmes naturels, la collecte de données de référence doit fournir des informations sur la vulnérabilité particulière des écosystèmes au niveau de l'exploitation agricole. En termes de biodiversité, les données de base doivent remplir les critères suivants :

- > les données doivent être disponibles à échelle de la parcelle et du paysage ;
- > les données utilisées doivent être récentes ;
- > les données doivent refléter la diversité des écosystèmes au niveau de la parcelle et du paysage ;
- > les données doivent être reproductibles dans le cadre de suivis ;
- > la collecte de données doit être aléatoire ;
- > la méthodologie de cartographie doit être basée sur des normes reconnues par des experts au niveau européen ;
- > les données cartographiques peuvent être interprétées pour établir des modèles paysagers et écologiques ;
- > les données cartographiques peuvent être interprétées pour le développement de mesures agro-environnementales adéquates.

Ceci met en évidence le rôle important de la cartographie des habitats dans le cadre de la mise en oeuvre des mesures agro-environnementales.

6.2.3.1. Description du système de cartographie des prairies pour les politiques agro-environnementales

Dans le cadre de projets nationaux d'inventaire des prairies en Europe centrale et orientale, un système d'inventaire et de suivi a été élaboré par des experts nationaux des végétations prairiales avec le soutien de la Société Royale Néerlandaise pour la conservation de la nature (Veen & Šeffler, 1999; Veen *et al.*, 2009).

Le système d'inventaire et de cartographie comprend les différentes phases suivantes :

- > la localisation au niveau national de complexes de prairies par l'interprétation d'images satellites;
- > la vérification de la situation réelle des prairies identifiées sur la base d'expertises régionales;
- > l'élaboration d'un système de classification préliminaire des types de prairies et des espèces diagnostics sur une base phytosociologique;
- > la cartographie des végétations de prairies basée sur un échantillonnage stratifié à travers le pays et la gestion d'une base de données associée;
- > la classification statistique des données botaniques en utilisant les espèces végétales diagnostiques (au niveau de l'alliance phytosociologique);
- > l'élaboration d'une stratégie pour la gestion et la conservation des prairies à haute valeur naturelle.

Ce système de cartographie et d'interprétation est compatible avec les critères théoriques mentionnés ci-dessus. Les résultats sont disponibles à plusieurs échelles et reflètent la diversité des écosystèmes. Les données de végétation sont également étroitement liées aux paramètres abiotiques tels que les conditions climatiques (Veen & Metzger, dans Veen *et al.*, 2009). L'intensité de la gestion peut être démontrée, car elle est liée à l'abondance des espèces tolérantes aux nitrates. Des recherches scientifiques ont identifié les communautés végétales qui reflètent certains régimes de gestion ou la déprise agricole. Des classifications des types de végétation prairiaux sont disponibles pour l'ensemble des régions de l'UE (par exemple Ellenberg, 1982; Matuszkiewicz, 2001; Oberdorfer, 1998; Horvat, 1974 et Doniřã, 1992). En harmonisant cette méthodologie à travers l'UE, il serait possible de construire une base de données européenne pour les prairies (voir paragraphe 3.1.2).

Photo 6.2 Pelouse sèche pannonienne (*Seslerio-Festucion pallentis*) dans la région de Vienne, Autriche



Source : J. Ichter

Encadré 6.9 - Étude de cas : l'inventaire national des prairies en Slovaquie

L'inventaire des prairies de Slovaquie a été réalisé entre 1998 et 2006 par l'ONG DAPHNE (Institut d'écologie appliquée). Cet inventaire ainsi que ses phases ultérieures ont été financées par le Fond pour l'environnement mondial (FEM) et le ministère slovaque en charge de l'Environnement.

La cartographie de terrain a été effectuée à l'échelle du 1/25 000 et basée sur les cartes militaires couvrant l'ensemble du pays. Certaines classes d'occupation du sol issues de CORINE Land Cover ont été utilisées pour présélectionner les prairies potentielles et ont été représentées sur les cartes de travail utilisées par les opérateurs de terrain (844 000 hectares).

Une équipe de coordination a développé une méthodologie de cartographie (Šeffler *et al.*, 1999) qui a été révisée après la première année de terrain (Šeffler *et al.*, 2000). Le travail de cartographie est concentré uniquement sur les prairies ayant une composition spécifique naturelle. Les polygones de prairie plus ou moins homogènes ont été cartographiés sur le terrain. Pour chaque polygone les cartographes ont relevé la composition en plantes vasculaires ; ils ont estimé la couverture en utilisant une échelle de Tansley (3 pour une couverture supérieure à 50%, 2 pour une couverture entre 1% et 50% et 1 pour la couverture inférieure à 1%), et un ensemble d'autres données importantes (par exemple le type d'habitat, la couverture arborée et arbustive et les modes de gestion).

Plus de 100 experts ont participé au projet. Au total 16 738 polygones ont été cartographiés soit 323 000 ha, ce qui représente plus de 96% de la superficie des prairies présélectionnées en Slovaquie. La base de données du projet contient près d'1 million d'enregistrements d'espèces végétales.

Les données de l'inventaire ont été utilisées à plusieurs fins. Elles ont servi de base pour l'identification des sites du réseau Natura 2000. DAPHNE en tant que responsable de la préparation de la proposition scientifique des SIC a proposé les polygones de prairies les plus intéressants sur le plan écologique. Toutefois, tous les polygones n'ont été acceptés par les autorités slovaques pour la proposition finale.

Le système d'information a été largement utilisé pour la mise en œuvre du programme agro-environnemental. Depuis 2003, le plan pour la conservation des prairies naturelles et semi-naturelles a été une partie intégrante du programme agro-environnemental. Les agriculteurs ne peuvent bénéficier du programme que pour les prairies avec une composition spécifique naturelle certifiée par une autorité spéciale (DAPHNE entre 2003 et 2006 et l'Agence nationale pour la conservation de la nature depuis 2007). La certification a été essentiellement basée sur les données de la cartographie nationale des prairies. Ainsi l'inventaire a permis de cibler les paiements agro-environnementaux.

Enfin, les données de l'inventaire ont été largement utilisées comme base de référence pour les suivis. Il est prévu que les données soient utilisées pour le récent programme de surveillance des habitats Natura 2000. En 2012, les données ont été utilisées pour les suivis dans le cadre de la mise en œuvre du programme agro-environnemental. Comme la plupart des données ont été obtenues avant l'adhésion de la Slovaquie à l'UE, la comparaison avec l'état actuel des prairies permettra d'évaluer l'impact des subventions de l'UE sur la biodiversité.

6.2.4. Gestion forestière

Encadré 6.10 - La cartographie biotopique forestière en France

Principe

La cartographie biotopique forestière a été mise au point en Allemagne dans les années 1980 dans le cadre de la gestion forestière. Cette méthode d'écodiagnostic pour une gestion intégrée et durable des forêts a été adoptée en France dans les années 1990 par l'Office national des forêts (Lalanne, 2001). L'objectif de la cartographie biotopique forestière est de donner une vision d'ensemble de la biodiversité d'une forêt, tout du moins en ce qui concerne l'ensemble des associations végétales présentes, ainsi que leur état de conservation et leur structuration dans l'espace sylvatique étudié. Elle se concentre également sur les habitats non forestiers associés et les habitats de substitution à préserver. Enfin, elle permet d'identifier les différentes successions végétales possibles pour retourner aux écosystèmes proches de l'état naturel ou aux écosystèmes semi-naturels à haute valeur patrimoniale (par exemple les landes des Calluno-Ulicetea, les prairies des Festuco-Brometea).

Méthode

Sur le terrain, chaque unité de gestion est divisée en parcelles de végétation floristiquement homogènes représentées au 1/5 000. Pour chaque unité, un relevé phytosociologique est établi. À l'aide de grilles préétablies, la diversité structurale de ces unités est quantifiée ainsi que leur richesse en communautés végétales subordonnées et leur richesse en éléments structurants (bois mort sur pied, arbres creux, chablis, etc.).

Par la suite, les différents jeux de données sont informatisés, avant d'être analysés.

Applications

Différentes applications de l'approche biotopique pour la cartographie forestière existent.

Elles permettent :

- › l'évaluation de la naturalité des parcelles forestières, c'est-à-dire la différence entre la végétation potentielle (le métaclimax) et la végétation actuelle ;
 - › des évaluations de la diversité et de la rareté en termes d'associations végétales (diversité horizontale, verticale et complexité structurale), de mosaïques paysagères ou d'écocomplexes, mais également pour les espèces animales et végétales ;
 - › l'identification d'habitats rares et menacés, tant au niveau européen (directive Habitats) qu'au niveau national, régional et local ;
 - › la création de zones forestières d'intérêt écologique protégées, de réserves intégrales ou gérées et de parcelles de sénescences.
-

Encadré 6.11 - La cartographie de la végétation pour la détection des changements paysagers en Norvège

La cartographie de la végétation en Norvège

La plupart des cartes de la végétation en Norvège sont à l'échelle du 1/2 000 au 1/5 000 (Bryn, 2006). La typologie utilisée comprend 45 types de végétation et 9 autres types d'occupation du sol. En outre, un certain nombre de données supplémentaires sont enregistrées pour chaque polygone. Elles fournissent des informations importantes qui, par définition, ne sont pas comprises dans le type de végétation. Il s'agit par exemple de la couverture en lichens, des fourrés de saules, des formes dominées par les graminées et du statut de gestion. L'approche méthodologique combine le travail de terrain avec l'interprétation de photos aériennes. Plus de 10% du territoire de la Norvège a été cartographié (Rekdal & Bryn, 2010).

L'expansion des forêts en Norvège

En comparant les cartes de végétation actuelle avec des cartes de végétation interprétées et d'anciennes photographies aériennes, des changements paysagers peuvent être détectés à certaines échelles. En suivant cette méthode, il a été démontré qu'au cours des dernières décennies, les forêts se sont étendues dans toute la Norvège (Bryn & Hemsing, 2012). Les explications de l'expansion des forêts se sont principalement concentrées sur les changements climatiques et de l'occupation du sol. La modélisation de la végétation potentielle à partir de cartes de végétation actuelle a montré que de nombreux écosystèmes en Norvège sont encore fortement influencés par les modes de gestion antérieurs. Par ailleurs, en raison de la déprise rurale d'autres changements devraient également avoir lieu à l'avenir (Hemsing & Bryn, 2012). Jusqu'à 15,9% de la Norvège continentale est actuellement déboisé du fait de l'utilisation antérieure des terres (Bryn *et al.*, 2013).

Distinguer les effets de la gestion de ceux du changement climatique

Il est possible de séparer spatialement les effets de la régénération naturelle des forêts suite à un changement d'occupation du sol de l'expansion des forêts lié aux changements climatiques (Bryn, 2008 ; Bryn *et al* 2013). Et ce, grâce à l'interprétation de la végétation antérieure et à la modélisation de scénarios sur la végétation naturelle potentielle et sur les changements climatiques, et en utilisant les cartes de végétation actuelle comme base, en combinaison avec d'autres méthodes (par exemple, les mesures de la croissance de la forêt). À partir d'une étude de la végétation d'une région montagneuse dans le sud de la Norvège, il a été démontré que l'élévation de la limite altitudinale et l'expansion forestière, souvent attribuées au changement climatique, étaient un effet de la régénération naturelle des forêts, un processus qui a été climatiquement retardé entre 1959 et 1995 (Bryn, 2008). Pour la période 1995-2006, les données indiquent un effet préliminaire du changement climatique intensifiant la régénération naturelle des forêts et qui repousserait probablement les limites forestières à des altitudes plus élevées.

Photo 6.3 Cartographie de la végétation en Norvège



Source: Anders Bryn

6.3. La cartographie des écosystèmes et de leurs services

Les sociétés bénéficient de nombreux avantages des écosystèmes en bon état de fonctionnement. Ceux-ci fournissent plusieurs services (par exemple des produits agricoles, du bois, un contrôle de l'érosion, la pollinisation et la beauté esthétique) qui soutiennent les sociétés humaines et leur bien-être. Certains de ces services sont relativement bien intégrés par les marchés, tandis que d'autres peuvent être considérés comme des biens communs menacés par des processus socio-économiques spontanés (Kumar, 2010). Afin d'optimiser l'aménagement du territoire et les décisions politiques, l'ensemble du spectre des services écosystémiques doit être pris en considération. Mais pour que cela fonctionne, les services écosystémiques doivent être quantifiés et surveillés activement. Nous ne pouvons pas gérer ce que nous ne pouvons pas mesurer.

L'action 5 de la Stratégie de la biodiversité de l'UE oblige les États membres à « cartographier et évaluer l'état des écosystèmes et de leurs services sur leur territoire national d'ici à 2014 ». Inévitablement, la première étape de cet engagement ambitieux et exigeant est de produire des cartes des écosystèmes comme base pour l'évaluation des services qu'ils fournissent. Idéalement, tous les types d'écosystèmes qui agissent comme des unités fonctionnelles devraient être cartographiés et évalués séparément. Toutefois, la disponibilité des données, le manque de temps, un besoin de cohérence et de standardisation incitent à utiliser des cartes d'occupation du sol facilement disponibles par rapport à des cartes des écosystèmes d'une résolution thématique supérieure. La majorité des études de cas existantes proposent une typologie des écosystèmes en grande partie basée sur les catégories CORINE Land Cover (Burkhart *et al.*, 2009, Maes *et al.*, 2011 et 2012).

L'harmonisation des activités d'évaluation des États membres est une activité importante pour de grands acteurs européens (y compris la DG Environnement de l'AEE, le Centre commun de recherche et le groupe de travail MAES *Mapping and Assessment of Ecosystem Services* de l'UE). Toutefois, cette harmonisation doit avoir un certain degré de flexibilité, afin de refléter le contexte écologique, social et historique spécifique à chaque État membre. En conséquence, les États membres sont encouragés à utiliser une typologie des écosystèmes plus détaillée si disponible, avec comme seule restriction d'établir des correspondances vers la typologie de l'UE pour les classes les plus détaillées (par exemple les types d'habitats ou de végétation). Ainsi, les cartographies nationales des habitats ou de la végétation peuvent apporter une contribution idéale pour les évaluations des services écosystémiques des États membres. Une publication récente de la Commission européenne propose des correspondances entre la typologie MAES et la classification des habitats EUNIS (Maes *et al.*, 2013).

Outre la distinction des types d'habitats écologiquement distincts au sein de catégories d'occupation du sol, les cartographies d'habitats peuvent fournir d'autres informations pertinentes pour l'évaluation des services écosystémiques. Par exemple, plusieurs programmes de cartographie ont intégré différents descripteurs pour la qualité des habitats cartographiés (par exemple l'état ou la santé des écosystèmes, l'intégrité écologique, la naturalité, l'hémérobie, l'état de la végétation et le niveau de dégradation) (Czúcz *et al.*, 2012). Comme la dégradation compromet la capacité des écosystèmes à fournir certains services, les données sur l'état écologique des écosystèmes peuvent présenter un intérêt crucial dans plusieurs contextes politiques (par exemple l'évaluation de services écosystémiques, le rapportage et la surveillance, l'aménagement du territoire). Même l'action 5 de la stratégie pour la biodiversité de l'UE fait référence à la nécessité de « cartographier [...] l'état des écosystèmes » et pas simplement de « cartographier les écosystèmes ». Enfin, pour que l'évaluation de la qualité des habitats cartographiés constitue un apport utile aux processus politiques au niveau européen, les définitions et les systèmes de classification utilisés pour évaluer les niveaux de dégradation devraient être harmonisés, de même que les catégories d'habitat.

Tableau 6.1 La typologie des écosystèmes recommandés pour l'évaluation des services écosystémiques en Europe par le groupe de travail du MAES (Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services)

Grandes catégories d'écosystèmes (niveau 1)	Types d'écosystèmes pour la cartographie et l'évaluation (niveau 2)
Terrestre	Urbain
	Terres agricoles
	Prairies
	Forêts et espaces boisés
	Landes et fourrés
	Végétation clairsemée
	Zones humides
Eau douce	Rivières et lacs
Marin	Bras de mer et eaux de transition
	Littoral
	Plateau continental
	Haute mer

Source: Maes et al., 2013

6.4. Références clés

Bohn U., Hettwer C., & Gollub, G. [Bearb./Ed.] (2005). *Anwendung und Auswertung der Karte der natürlichen Vegetation Europas / Application and Analysis of the Map of the Natural Vegetation of Europe*. BfN-Skripten 156, Bundesamt für Naturschutz, Bonn.

European Commission. (2013). *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Green Infrastructure (GI) — Enhancing Europe's Natural Capital*. COM/2013/0249 final. European Commission, Brussels.

Keith, D. A., Rodríguez, J. P., Rodríguez-Clark, K. M., Nicholson, E., Aapala, K., Alonso, A., et al. (2013). *Scientific Foundations for an IUCN Red List of Ecosystems*. PloS one, 8(5), e62111.

Maes, J., Teller, A., Erhard, M., Liqueste, C., Braat, L., Berry, P., Egoh, B., Puydarrieux, P., Fiorina, C., Santos, F., Paracchini, M.L., Keune, H., Wittmer, H., Hauck, J., Fiala, I., Verburg, P.H., Condé, S., Schägner, J.P., San Miguel, J., Estreguil, C., Ostermann, O., Barredo, J. I., Pereira, H. M., Stott, A., Laporte, V., Meiner, A., Olah, B., Royo Gelabert, E., Spyropoulou, R., Petersen, J. E., Maguire, C., Zal, N., Achilleos, E., Rubin, A., Ledoux, L., Brown, C., Raes, C., Jacobs, S., Vandewalle, M., Connor, D., Bidoglio, G. (2013). *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. An analytical framework for ecosystem assessments under action 5 of the EU biodiversity strategy to 2020*. Publications office of the European Union, Luxembourg.

Veen, P., Jefferson, R., De Smidt, J., & Van der Straaten, J. (2009). *Grasslands in Europe of high nature value*. Zeist: KNNV Publishing.

7. Approche historique de la cartographie de la végétation et des habitats dans différents pays d'Europe

RÉSUMÉ DU CHAPITRE

La manière dont différents pays ont mis en œuvre la cartographie de la végétation et des habitats est généralement liée à des spécificités culturelles et au contexte académique du pays, mais elle reflète également son histoire politique. Il est donc utile d'avoir une perspective historique de différents pays européens.

Ce chapitre n'est pas une analyse exhaustive de tous les pays d'Europe, mais plutôt un aperçu des types de cartographies réalisés et des différences méthodologiques. L'approche phytosociologique est dominante en Europe centrale et du sud, tandis que d'autres approches sont utilisées en Europe du Nord, notamment en Scandinavie. Les pays sont présentés par ordre alphabétique, à l'exception du Danemark, de la Finlande, de l'Islande, de la Norvège et de la Suède regroupés dans les « pays nordiques ».

7.1. Allemagne

7.1.1. Approche historique

L'Allemagne bénéficie d'une longue histoire de la cartographie de la végétation basée sur l'approche phytosociologique classique principalement développée par R. Tüxen et ses collaborateurs dans les années 1940. Tüxen a fondé en 1934 le bureau allemand (*Reichsanstalt*) pour la cartographie de la végétation, qui est devenu en 1955 l'Institut national de recherche pour les sciences de la végétation. L'Institut a été à l'initiative de plusieurs conférences internationales sur la cartographie de la végétation (Braun-Blanquet, 1959). Ces travaux ont permis la production d'un ensemble de cartes de la végétation actuelle et de cartes interprétées de la végétation potentielle naturelle (VPN).

En Allemagne, la cartographie de la végétation concerne principalement des cartes de VPN, initialement préparées au 1/25 000 et au 1/50 000 (10 cartes publiées). Plus tard, 9 cartes ont été publiées à l'échelle du 1/200 000, avec 5 cartes couvrant l'ensemble de l'Allemagne de l'est (l'ex-République démocratique allemande). Les deux initiatives sont restées inachevées en raison d'une insuffisance de financement et de géobotanistes formés dédiés au projet.

Dans le cadre de la création de la carte de la VPN d'Europe (Bohn *et al.*, 2000-2003) (voir section 2.4), une carte générale pour l'Allemagne a été produite à l'échelle du 1/1 000 000 en 1997. Depuis lors, un jeu de 6 cartes au 1/500 000 couvrant toute l'Allemagne a été compilé (Suce *et al.*, 2010). Un volume de texte explicatif est actuellement en préparation (Schröder, en prép.). Les cartes sont également disponibles sous forme de couches SIG et seront accessibles sur un portail web cartographique compatible avec la directive INSPIRE. À l'échelle régionale, de nombreuses cartes détaillées de la végétation ont été produites dans le cadre d'études scientifiques ou de projets d'aménagement (études d'impact et politiques de conservation du patrimoine naturel). Il existe également quelques exemples de cartes de sigma-associations (par exemple Schwabe, 1987).

7.1.2. Développements récents

Dans les années 1970, des projets de cartographie des biotopes ont été initiés dans la plupart des *Länder* (États fédéraux allemands) suite à la prise de conscience croissante des menaces et des pressions sur les écosystèmes et les biotopes. Un biotope est défini comme une zone avec des conditions environ-

nementales uniformes fournissant un lieu de vie pour un assemblage spécifique de plantes et d'animaux (Ssymank *et al.*, 1993). Il représente une unité écologique intégrale, pour les communautés végétales et animales, et est utilisé comme unité cartographiable pour la planification et la gestion conservatoire du patrimoine naturel.

Des programmes de caractérisation et de cartographie des biotopes ont été développés indépendamment dans les 16 Länder et, dans la plupart des cas, une cartographie sélective des biotopes considérés comme menacés a été réalisée. Dans certains cas, la cartographie a été limitée aux espaces protégés. La plupart des Länder ont affiné et adapté leurs méthodes, et disposent de trois périodes complètes de cartographie. La situation actuelle et la disponibilité des données sont résumées par Kaiser *et al.* (2013). En 1993, une première liste des biotopes d'Allemagne (Blab & Riecken, 1993) a été diffusée. En 1994, la première édition du Livre rouge des biotopes d'Allemagne est parue (Riecken *et al.*, 1994). La seconde édition (Riecken *et al.*, 2006) est actuellement disponible, et une troisième édition est prévue pour 2016.

La directive Habitats de 1992 a identifié une liste d'habitats à protéger dans l'UE à travers le réseau Natura 2000. En Allemagne, un manuel d'interprétation national (Ssymank *et al.*, 1998, et une version préliminaire en 1993) et des adaptations régionales par les différents Länder ont été réalisés pour la cartographie de habitats de l'annexe 1, pour documenter le statut des sites d'importance communautaire et pour les évaluations prévues à l'article 6 de la directive Habitats.

Les programmes de cartographie des biotopes des différents Länder sont toujours indépendants, mais les définitions sont plus homogènes que par le passé, grâce aux adaptations pour le Livre rouge des types de biotopes allemands et pour la directive Habitats. La cartographie des biotopes et de la végétation constituent des informations importantes pour les politiques de conservation de la nature, l'aménagement du territoire et la gestion des aires protégées. Les exigences de rapportage de la directive Habitats (article 17) ont renforcé la nécessité d'une mise à jour régulière des données cartographiques sur les biotopes en Allemagne, ce qui a partiellement contrebalancé les coupes budgétaires pour la conservation de la nature.

7.2. Bulgarie

7.2.1. Approche historique

Les premières cartes de végétation de la Bulgarie ont été produites au début du 20^e siècle. En 1939, la première carte forestière détaillée a été publiée au 1/20 000 avec 12 unités cartographiques. En 1961, cette carte a été améliorée et mise à jour avec un total de 21 unités cartographiques. La même année, un grand projet de cartographie de la végétation de l'ensemble du pays a été réalisé par une équipe composée de chercheurs de l'Institut de botanique de l'Académie bulgare des sciences. Les informations collectées ont porté sur une approche de la végétation par les espèces dominantes.

À la suite de cet inventaire, la légende de la carte a été publiée en 1969 (Velchev *et al.*, 1969). L'échelle de restitution est au 1/200 000 avec des levés de terrain basés sur des cartes topographiques au 1/50 000. La légende a été structurée de manière à fournir des informations sur la végétation potentielle et actuelle. Les unités ont été divisées en quatre groupes en fonction des étages d'altitude : la végétation de haute montagne (8 unités), l'étage des forêts de conifères (15 unités), l'étage des forêts de hêtres (15 unités) et l'étage des forêts de chênes (39 unités). Malheureusement après plusieurs années de cartographie de terrain, le projet a été abandonné et aucune carte n'a été publiée.

En 1973, l'Atlas de la République populaire de Bulgarie a été publié. Il comprend une carte de la végétation au 1/1 000 000 (Bondev, 1973) et une carte forestière au 1/1 500 000 (Bondev & Jordanov, 1973).

La carte la plus récente de la végétation a été élaborée et publiée en 1991 (Bondev, 1991). Elle contient 150 unités cartographiques organisées hiérarchiquement depuis l'association végétale jusqu'aux grands types de formations. La végétation primaire (potentielle) est représentée par 97 unités (89 forêts, 2 fourrés et 6 herbacées) et les types de végétation secondaires par 53 unités (10 forêts, 13 fourrés, 11 herbacées et 19 terres agricoles). À partir des années 1970, plusieurs cartographies ont été produites au niveau régional, notamment dans des réserves naturelles, des parcs naturels et d'autres zones protégées (par exemple Meshinev *et al.*, 1994 et 2000).

7.2.2. Développements récents

Après les changements politiques en 1990, les phytosociologues bulgares ont commencé à utiliser l'approche de Braun-Blanquet afin de se rapprocher des standards européens. En 2001, un projet d'inventaire national des prairies a été initié avec un financement du Programme international de gestion de la nature mis en place par les Pays-Bas. Le résultat de cet inventaire est une carte au 1/25 000. Entre 2002 et 2004, l'inventaire des prairies réalisé par un groupe d'experts a permis de cartographier 350 000 ha de prairies semi-naturelles en dessous de 1 700 m d'altitude. Pour les besoins de l'inventaire, 260 cartes topographiques et 200 photographies satellites au 1/25 000 ont été utilisées. La classification des prairies comprend 28 unités cartographiques, principalement au niveau de l'alliance végétale (Meshinev *et al.*, 2005).

La mise en œuvre de la directive Habitats de l'UE, en particulier la sélection des sites pour le réseau Natura 2000, a conduit à la mise en œuvre de nouveaux projets de cartographie. De 2011 à 2013, la phase I du projet de cartographie et d'identification de l'état de conservation des espèces et des habitats naturels a couvert l'ensemble des sites Natura 2000 de Bulgarie (34,3% du pays). Ce projet a pour but d'aider le ministère en charge de l'environnement et des eaux à poursuivre la mise en œuvre et la gestion du réseau Natura 2000. Ce travail est basé sur la mobilisation de cartes existantes, des modélisations et des vérifications sur le terrain. Il existe cependant toujours un besoin de cartes de la végétation actuelle sur de grandes superficies, *a minima* au niveau de l'alliance, pour fournir des informations sur la biodiversité et la gestion des ressources naturelles.

7.3. Espagne

Après l'introduction en Espagne du concept de succession de végétation de l'école Braun-Blanquet à la fin des années 1950 et 1960, S. Rivas-Martínez a été le premier à définir les types de végétation potentielle naturelle (VPN) en Espagne. À la fin des années 1970, ICONA l'*Instituto para la Conservación de la Naturaleza* (Institut espagnol pour la conservation de la nature) a commandé un projet de cartographie des séries de végétation d'Espagne au 1/400 000. Le travail de terrain a été achevé en 1981 et publié en 1987. La carte et la légende qui l'accompagne ont eu une influence cruciale sur le développement des inventaires de la végétation en Espagne et sur les politiques de conservation des différentes administrations. La légende est un ouvrage présentant un aperçu des conditions générales, bioclimatologie et biogéographie du pays, ainsi qu'une description de chaque série. Les 100 unités de la carte représentent une synthèse de l'importante diversité des écosystèmes terrestres en Espagne.

L'une des principales contributions de ce travail a été d'introduire la notion de dynamique de la végétation auprès des gestionnaires et de proposer un diagnostic pour l'ensemble du pays (une référence écologique naturelle à la fois pour les zones bien conservées et pour les zones dégradées). La carte fournit un cadre pour la description écologique au niveau national. Cette carte doit être remplacée par une nouvelle édition en cours de préparation, avec de nouvelles unités et une plus grande échelle géographique (1/250 000) ; la légende a déjà été publiée (Rivas-Martínez, 2007 et 2011). Le programme LIFE de l'UE a également financé un projet visant à cartographier les habitats de la directive Habitats en préalable à la mise en œuvre du réseau Natura 2000 (voir encadré 6.1).

Au niveau régional, plusieurs communautés autonomes espagnoles ont mené des projets de cartographie des habitats et/ou de la végétation ; voir les études de cas au chapitre 4 pour plus d'informations.

7.4. Estonie

7.4.1. Approche historique

Les premières cartographies de la végétation en Estonie ont été réalisées à la fin du 18^e siècle à des fins de foresterie. On dénombre près de 150 inventaires forestiers datant des années 1820, incluant des cartographies des peuplements forestiers et des plans de gestion (Meikar & Viilma, 2002). En 1922, J.G. Granö a proposé une division de l'Estonie en 15 districts basés sur la physionomie des plantes ; en 1925, K.R. Kupffer a publié la première carte des régions végétales des pays baltes, avec une révision de l'Estonie en 1935 par T. Lippmaa. En 1934, Lippmaa a initié un programme de cartographie de la végétation d'Estonie à l'échelle du 1/42 000 accompagnée de la description de 42 unités cartographiques. En raison de la Seconde Guerre mondiale, cette cartographie n'a été finalisée qu'en 1955, avec une carte généralisée au 1/200 000 publiée en 1956 et une analyse exhaustive des données de cartographie publiée par L. Laasimer en 1965. Le système de classification de la végétation adopté est écologique : les associations sont établies

sur la base des propriétés du sol au niveau de l'habitat, des conditions d'humidité, ainsi que de la composition en espèces végétales et de leur abondance. Les associations sont regroupées dans des ensembles sur la base des caractéristiques du sol, tandis que les groupes d'associations sont réunis au sein de séries par les formes de vie dominantes et le régime hydrique de l'habitat. Les unités hiérarchiquement plus élevées sont regroupées sur la base du régime hydrique. En 1946, un inventaire des tourbières a été initié, bien qu'une première carte générale de la répartition des principaux types de tourbières ait été publiée en 1922 (Wellner, 1922). Sur la base de l'inventaire des tourbières, une carte au 1/600 000 a été publiée en 1961 (Торфяной фонд Эстонской ССР [Inventaire des tourbières de la République socialiste soviétique d'Estonie], 1961).

7.4.2. Développements récents

Après l'indépendance de l'Estonie en 1992, un besoin de disposer de cartographies des habitats et de la végétation est apparu ; d'une part pour la mise en œuvre de la directive Habitats de l'UE et, d'autre part, pour s'associer aux projets européens de cartographie. Les cartographies thématiques d'étendue nationale en Estonie sont généralement basées sur des données issues du satellite Landsat et de SIG (par exemple Remm, 2004 ; Aaviksoo Muru, 2008). Les zones incluses dans le réseau Natura 2000 ont été cartographiées pour la première fois en 2004. Plusieurs cartographies ont également été réalisées dans le cadre de projets d'inventaire des habitats, par exemple pour l'inventaire des prairies côtières et des plaines inondables (Leibak & Lutsar, 1996), pour établir le réseau estonien de conservation des forêts (Viilma *et al.*, 2001) et pour évaluer l'état de conservation et la valeur patrimoniale des tourbières (Paal & Leibak, 2011).

7.5. France

7.5.1. Approche historique

Après la Seconde Guerre mondiale, le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) a créé en 1947 une unité à Toulouse sous la direction de Henri Gaussen dans le but de produire une carte au 1/200 000 de la couverture végétale en France. Cet ambitieux projet visait à fournir un inventaire géographique et statistique de l'occupation du sol et de fournir des informations sur les dynamiques de la végétation du pays et de la valeur potentielle des terres.

Entre 1947 et 1991, 64 feuilles ont été publiées par 52 auteurs.

Chaque feuille comprend :

- i) une carte au 1/200 000 illustrant la couverture végétale au moment où la carte a été produite ;
- ii) une série de huit petites cartes au 1/1 250 000 détaillant le climat, le sol, la végétation potentielle et d'autres informations pertinentes.

La carte de la couverture végétale au 1/200 000 est basée sur le principe d'une répartition de la végétation au sein d'ensembles cohérents : les « séries de végétation » ou « étages de végétation » dans les zones de montagne. La distribution géographique des séries et des étages de végétation est déterminée par les habitats et les conditions climatiques et édaphiques. Chaque série ou étage peut être défini par une essence forestière dominante.

Cependant, dans un pays avec une longue histoire et de fortes pressions anthropiques, les essences forestières ne sont pas toujours présentes de manière dominante au sein de formations forestières denses. En réalité, chaque série ou étage de végétation dispose de différents stades, par exemple la prairie, la lande ou la forêt caducifoliée.

La carte accorde une part importante aux couleurs, chaque couleur représente une série de végétation. Les couleurs reflètent les significations attribuées intuitivement aux couleurs primaires : le rouge évoque la chaleur et est attribué aux séries dont les espèces dominantes nécessitent un climat plus chaud, alors que le bleu tend à traduire l'humidité et est donc attribué à des espèces comme le hêtre qui préfèrent un certain niveau d'hygrométrie. Ces couleurs primaires sont déclinées en différentes nuances entre le chaud et sec et le froid et humide.

Les tons illustrent l'état de la végétation. Les tons sombres représentent des communautés proches de la végétation climacique, c'est-à-dire avec peu ou pas de pression anthropique et proches de l'écosystème d'équilibre par rapport au climat local. Les tons plus clairs représentent des niveaux de perturbation de la végétation plus avancés. Les terres cultivées qui représentent un stade pratiquement sans végétation naturelle sont représentées en blanc.

Les cartes de la couverture végétale de la France offrent ainsi un aperçu de la végétation locale, de la biodiversité et des conditions écologiques. Elles constituent un outil important pour l'aménagement du territoire au niveau national. Elles servent également en écologie végétale et pour mieux comprendre l'adaptation des espèces végétales aux changements environnementaux.

7.5.2. Développements récents

Voir section 1.2.

7.6. Italie

7.6.1. Approche historique

Dans les années 1940 en Italie, l'utilisation de la phytosociologie pour l'analyse de la distribution géographique de la végétation a conduit à la publication d'une carte de la végétation physiognomique au niveau local (Sappa & Chiarrè, 1949). La première carte phytosociologique a été publiée par V. Giacomini en 1954, suivie en 1955 par la carte de la végétation de la région de Spluga par Giacomini et S. Pignatti.

Plusieurs auteurs ont réalisé des cartographies nationales à petite échelle géographique (<1/1 000 000). Le premier exemple est la carte botanique de l'Italie au 1/5 000 000 par A. Fiori (1908). Elle a été suivie par d'autres cartes : les formations végétales au 1/2 500 000 (Fiori, 1936) ; les zones de végétation en Italie au 1/5 000 000 (Beguinet, 1933) ; la végétation d'Italie au 1/6 000 000 (Giacomini et Fenaroli, 1958) ; la végétation forestière d'Italie au 1/2 000 000 (Tomaselli, 1973) et la végétation réelle au 1/1 000 000 (Fenaroli, 1979).

7.6.2. Développements récents

En 1992, Pedrotti a publié une carte de la végétation actuelle d'Italie illustrant les types de végétation physiognomique au 1/1 000 000. Elle a fourni des informations fiables mais peu détaillées sur 54 types de végétation.

En 2010, Blasi a coordonné une équipe importante d'experts régionaux de plusieurs universités. Ils ont adopté une nouvelle méthode intégrée pour produire une carte nationale des séries de végétation à l'échelle du 1/250 000. Cette carte, accompagnée d'un ouvrage présentant la végétation de chaque région administrative, est composée de trois feuilles au 1/500 000. Elle est basée sur un travail de cartographie à des échelles allant du 1/50 000 au 1/100 000 (Blasi, 2010).

La carte des séries de végétation d'Italie combine, pour la première fois à l'échelle nationale, l'approche inductive de l'école européenne de la phytosociologie avec l'approche déductive de la classification des écorégions développée aux États-Unis au milieu du 20^e siècle. L'utilisation de la classification des écorégions depuis plus de 10 ans (Blasi *et al.*, 2000 ; Capotorti *et al.*, 2012) a conduit à la définition d'unités environnementales correspondant, selon l'échelle géographique, aux mêmes séries de végétation. En bref, la carte des séries de végétation d'Italie met en évidence la diversité potentielle de la végétation en Italie, tandis que les monographies analysent la végétation actuelle au niveau régional en décrivant les dynamiques de végétation (syndynamiques), c'est-à-dire chaque étape des séries de végétation.

Un autre élément novateur est l'usage exclusif des relevés phytosociologiques classiques pour les séries de végétation par opposition aux synrelevés (relevés d'associations végétales). Les synrelevés rendent objectivement plus difficiles la reconnaissance et la cartographie d'environnements homogènes par induction. Outre l'utilisation innovante d'approches deductives (définition cartographique d'environnements écologiquement homogènes) et inductives (inventaires classiques de la végétation), ce projet national de cartographie a fourni de nombreuses informations pour la caractérisation et la cartographie de séries de végétation à la fois sur des zones très restreintes et très étendues. Par exemple, la série du *Junipero hemisphaericae - Abieto nebrodensis sigmetum* couvre 320 hectares et représente 0,001% de la superficie de l'Italie, tandis que le *Oleo sylvestris - Quercu virgiliana sigmetum* couvre une superficie de 517 000 hectares et représente environ 19% de la surface de l'Italie.

Globalement, la carte des séries de végétation d'Italie confirme le potentiel forestier de plus de 90% du territoire national (la couverture forestière actuelle est supérieure à 30%), et met en évidence une diversité très importante des types de végétation. La carte représente 240 séries de végétation (*sigmeta*) et 39 *geosigmeta* classés dans la légende par région climatique, type bioclimatique et secteur géographique. Les séries sont caractérisées en fonction de leur nom latin, de leur répartition géographique, de leur écologie et de leur physiognomie. La richesse des informations disponibles a permis notamment d'illustrer

la répartition des forêts de hêtres en 41 séries de végétation différentes et en 85 séries pour les forêts de chênes caducifoliées. Aucune série de végétation ne se trouve à la fois dans les Alpes et dans le reste de la péninsule. Des séries de végétation distinctes ont été trouvées dans les mêmes conditions écologiques dans les Apennins centrales et méridionales. Les régions avec les plus fortes proportions en plantes endémiques sont la Sardaigne et la Sicile (avec un total de 58 espèces exclusives).

La carte des séries de végétation peut être utilisée pour évaluer l'hétérogénéité du paysage et de la végétation, et pour les comparer avec l'occupation du sol en termes de dynamique et de potentialité. Elle peut être utilisée pour la conservation des ressources naturelles, pour fournir les bases scientifiques d'une stratégie d'adaptation au changement climatique, et comme référence pour la planification et la gestion des paysages en Europe.

La carte des séries de végétation est également essentielle pour détecter les sites avec une hétérogénéité potentielle maximale. Elle permet d'identifier les différents degrés de perturbations dues aux activités humaines qui les éloignent de leur potentiel. Ceci s'applique notamment aux projets de restauration et de requalification.

En comparant les cartes d'occupation du sol aux cartes de séries de végétation d'un territoire, on obtient des informations sur son état de conservation. L'évaluation de l'état de conservation est cependant plus pertinente lorsque les analyses sont effectuées sur des parcelles appartenant à la même série de végétation.

La cartographie des séries de végétation en Italie est un point de départ pour évaluer l'hétérogénéité de la végétation actuelle et potentielle, qui représente le modèle de référence pour l'évaluation de la fonctionnalité écologique et de l'état de conservation d'un territoire.

7.7. Lettonie

7.7.1. Approche historique

L'étude de la végétation en Lettonie a débuté au début du 20^e siècle. K.R. Kupffer (1872-1935) a produit la première carte de la végétation en Lettonie pour l'île Moricsala (Kupffer, 1931). Les premiers chercheurs ont décrit la végétation en fonction de la physionomie et des espèces végétales dominantes. Cependant, les inventaires floristiques ont prévalu pendant cette période. Après la Seconde Guerre mondiale, les botanistes en Lettonie ont commencé à utiliser l'école russe des espèces végétales dominantes pour l'étude de la végétation (par exemple Tsinzerling, 1938 ; Lavrenko, 1950 et Alexandrova, 1973). Leur travail a été essentiellement consacré à la description des communautés végétales des tourbières (par exemple Tabaka, 1960), des prairies (par exemple Sabardina, 1957) et des forêts (par exemple Sakss, 1955). En 1959, la cartographie de la végétation à l'échelle nationale a commencé en Lettonie sous les auspices de l'Institut de biologie en lien avec d'autres cartographies de la végétation sur de vastes territoires dans d'autres parties de l'ex-URSS.

L'unité de cartographie est un groupe d'associations végétales avec un total de 50 unités de cartographie (Tabaka & Birkmane, 1970). Malheureusement, le principal résultat, une carte de la végétation au 1/200 000, n'a pas été publié pour des raisons politiques. L'objectif principal de cette cartographie de la végétation à l'échelle nationale était essentiellement scientifique. Des cartes de la végétation ont également été réalisées dans des espaces naturels protégés. Des cartes détaillées de la végétation (par exemple au 1/10 000) existent également pour certaines régions. À la même époque, de nombreuses expéditions botaniques associées à des analyses du climat et de la géologie ont abouti à la délimitation de huit régions géobotaniques en Lettonie (Kabucis, 1995). En outre, la collaboration durable entre botanistes lettons, lituaniens et estoniens a abouti à la publication conjointe d'une flore des pays baltes avec une description des régions géobotaniques des trois pays (Laasimer *et al.*, 1993 ; Kuusk *et al.*, 1996 ; Kuusk *et al.*, 2003). Dans les années 1980, le professeur M. Laiviņš a commencé à utiliser l'approche phytosociologique de Braun-Blanquet (Braun-Blanquet, 1964) dans les études de végétation (Laiviņš, 1984). De nombreux autres chercheurs ont suivi cette approche à partir des années 1990.

En parallèle, la classification et la cartographie des peuplements forestiers a une longue histoire qui remonte au début du 20^e siècle. Des types de condition pour la croissance forestière ont été déterminés en fonction de la productivité des peuplements, des attributs écologiques et des attributs biologiques, dont les espèces de plantes vasculaires et de bryophytes. Un total de 23 types forestiers en fonction des conditions de croissance a été distingué et utilisé pour la cartographie des forêts à des fins de gestion forestière (Buss, 1997). Toutefois, les syntaxa de végétation forestière distingués en Lettonie correspondent mal avec les unités de classification des peuplements forestiers (Prieditis, 1997).

7.7.2. Développements récents

Entre 2000 et 2002, la première et unique cartographie de la végétation sur de vastes territoires en Lettonie a été réalisée à l'occasion de l'inventaire des prairies semi-naturelles d'intérêt biologique. Ce projet a couvert presque toute la Lettonie. La couverture des espèces de plantes vasculaire a été évaluée selon trois catégories, et chaque unité de cartographie a été affectée à l'un des types d'habitats de prairie ou à un complexe d'habitats (Kabucis *et al.*, 2003) qui, à son tour, peut être attribué à une association végétale. Une carte de la végétation forestière basée sur des unités phytosociologiques a été réalisée dans le parc national du Ķemeri (Prieditis, 1995). Il existe également des cartes des structures de végétation utilisant l'imagerie satellite, par exemple pour le lac Engure dans le parc naturel d'Engure (Aunins *et al.*, 2000) et une carte des habitats du parc national de Gauja (Aunins, 2001). Une carte des micropaysages a également été produite dans 12 tourbières protégées (Namatēva, 2012). Depuis le début du 20^e siècle, les aires protégées sont toujours la cible la plus courante des projets de cartographie des habitats. L'échelle spatiale et les unités cartographiques varient selon la taille de la zone naturelle protégée et les objectifs de l'étude.

Depuis que la Lettonie a commencé le processus d'adhésion à l'UE en 2000, beaucoup d'attention a été accordée à l'identification des habitats de l'Annexe I de la directive Habitats, et à la cartographie de ces types d'habitats dans les sites Natura 2000. Par ailleurs, des chercheurs de la faculté de biologie de l'université de Lettonie ont préparé une carte des habitats de l'annexe I dans une zone de 300 m le long de la côte de Lettonie (projet LIFE-Nature *Piekrastes biotopu aizsardzība apsaimniekošana non Latvijā*, 2006).

À l'heure actuelle, il existe un besoin urgent de cartographie des types d'habitats de l'annexe I à l'échelle nationale en Lettonie, et ce besoin est identifié dans presque tous les documents pertinents relatifs à la conservation de la biodiversité. La cartographie de la végétation traditionnelle fondée uniquement sur les unités définies par la phytosociologie semble être négligée, malgré le fait que de nombreux types d'habitats de l'annexe I soient basés sur des syntaxa.

7.8. Lituanie

7.8.1. Approche historique

L'histoire des inventaires de la végétation en Lituanie, comme ailleurs dans les pays baltes, est complexe ; les bouleversements politiques importants du 20^e siècle ont entraîné des changements significatifs dans les méthodes utilisées par les phytosociologues.

La position géographique de la Lituanie a amené des idées et des influences à la fois des pays nordiques (l'école phytosociologique d'Uppsala) et d'Europe centrale (l'approche phytosociologique züricho-montpelliéraine dite de Braun-Blanquet). Cependant, ces idées ont été uniquement appliquées pour l'évaluation de la diversité des communautés végétales (par exemple Regelis, 1926 ; Dagys, 1933 ; Žvironaitė, 1934 ; Mowszowicz, 1938) et aucune carte n'a été produite, à l'exception de la carte du complexe de tourbière de Kamanos préparée selon la tradition phytosociologique nordique (Brundza, 1937).

Après la Seconde Guerre mondiale, la science de la végétation en Lituanie a été fortement influencée par l'école géobotanique russe. De nombreuses unités de végétation ont été définies principalement par les espèces végétales dominantes, mais cette approche ne propose pas de solution efficace pour la cartographie de la végétation. Parmi les initiatives à retenir, on trouve les cartes du cadastre forestier lituanien compilées selon les principes de l'école biogéocœnotique russe (V. Sukatchev). Les principaux facteurs définissant les unités sont les caractéristiques du site, les essences d'arbres dominantes, les éléments du paysage et les caractéristiques économiques forestières (Karazija, 1988). Ces plans cadastraux couvraient environ 33% de la superficie du pays et étaient mis à jour tous les 10 ans.

Pendant cette période, une carte de la végétation à l'échelle du paysage (1/1 000 000) avec des éléments de végétation potentielle a été publiée (Natkevičaitė-Ivanauskienė, 1981).

7.8.2. Développements récents

Les changements récents dans le domaine de la cartographie de la végétation ont été liés à la nécessité de mettre en œuvre la directive Habitats de l'UE avant l'adhésion à l'UE en 2004. Ce travail a abouti à la cartographie de la végétation des prairies semi-naturelles au niveau des alliances phytosociologiques (19 unités cartographiques et 54 000 hectares cartographiés) achevée en 2005 (Rašomavičius *et al.*, 2006). Elle a été suivie par la poursuite de projets de cartographie des habitats qui devraient aboutir à des cartes de distribution pour tous les types d'habitats de l'annexe I sur l'ensemble du pays (Rašomavičius, 2012).

7.9. Les pays nordiques : Danemark, Finlande, Islande, Norvège et Suède

7.9.1. Approche historique

Les pays nordiques, dont le Danemark, la Finlande, l'Islande, la Norvège et la Suède, ont des pratiques proches concernant la cartographie de la végétation. Les premières expériences de cartographie en Scandinavie sont basées sur des travaux phytosociologiques qui ont débuté dans la seconde moitié du 19^e siècle et qui se sont développés dans la première moitié du 20^e siècle (par exemple von Post, 1851 ; Cajander, 1909 ; Raunkjær, 1910 ; Du Rietz, 1921 ; Fries, 1913 ; Nordhagen, 1936). En partie à cause du nombre limité d'espèces végétales et du manque d'espèces indicatrices claires, une approche connue sous le nom d'école phytosociologie nordique ou d'Uppsala a été développée (par exemple Diekmann, 1995 ; Lawesson *et al.*, 1997). Les premières cartes phytosociologiques ont été produites à différentes époques, par exemple en 1937 en Norvège (Mork & Heiberg, 1937), et en 1957 en Islande (Johannesson et Thorsteinsson, 1957). En Islande, la cartographie de la végétation a démarré dans les années 1960, alors que la Norvège et la Suède ont augmenté leurs efforts principalement à partir du milieu des années 1970 (Ihse & Wastenson, 1975 ; Ihse, 1994 ; Andersson, 2010 ; Rekdal & Bryn, 2010).

7.9.2. Développements récents

La cartographie de la végétation dans les pays nordiques est réalisée principalement à deux échelles spatiales : à grande échelle géographique pour la cartographie des unités de végétation détaillées en lien étroit avec la phytosociologie (par exemple Pahlsson, 1994 ; Fremstad, 1997), et à petite échelle géographique pour la cartographie physionomique qui peut être effectuée par interprétation de photographies aériennes (Ihse & Wastenson, 1975 ; Andersson, 2010 ; Gudjonsson, 2010 ; Rekdal & Bryn, 2010). Souvent, les cartes de végétation dans les pays nordiques ont été produites en utilisant la seconde approche, en utilisant des échelles allant du 1/20 000 au 1/80 000. En Suède, la cartographie a commencé dans les montagnes et a été développée pour couvrir les plaines. Aujourd'hui, les cartes de végétation couvrent environ 53% de la Suède, mais la production a cessé et de nouvelles méthodes utilisant des données issus de la télédétection (notamment l'imagerie satellite, les photos aériennes numériques et LiDAR) sont actuellement en cours d'élaboration (Olsson *et al.*, 2011).

Au cours de la dernière décennie, l'effort de cartographie dans la plupart des pays nordiques a lentement dérivé de la cartographie de la végétation traditionnelle vers la cartographie de types d'habitats, par exemple les habitats naturels dans les sites Natura 2000 (Allard & Skånes, 2010). La Finlande, la Suède et le Danemark sont membres de l'UE et ont donc besoin de cartes des habitats de l'annexe I pour mettre en œuvre la directive Habitats, tandis que la Norvège et l'Islande (hors UE) ont initié leurs propres projets de cartographie des habitats (par exemple Halvorsen *et al.*, 2009) dont certains basés sur des cartes de végétation (par exemple Magnusson *et al.*, 2009). Cette évolution s'explique à la fois par la nécessité de cartographier des unités qui ne peuvent pas être définies par la végétation (par exemple les récifs coralliens d'eau froide), par le besoin d'inclure plus de détails et de descriptions que lors de cartographies classiques de la végétation, et pour des raisons juridiques liées aux unités de cartographie.

7.10. Royaume-Uni

Les premières tentatives de cartographie systématique de la végétation au Royaume-Uni concernent les inventaires botaniques en Écosse (Smith, 1900a et 1900b ; Smith, 1904-5), dans le Yorkshire (Smith & Moss, 1903 ; Smith & Rankin, 1903), dans le Somerset (Moss, 1906) et dans le Derbyshire (Moss, 1913). Cependant, les espoirs que ces travaux constituent la base d'un programme national de cartographie ont été mis à mal par la Première Guerre mondiale. Au cours des 70 années suivantes, de nombreuses cartes de végétation de petites localités ou de vastes zones (comme les hautes terres écossaises) ont été produites avec différentes méthodes et légendes. Il a fallu toutefois attendre la publication de la Classification nationale de la végétation (Rodwell, 1991-2000) pour disposer d'une typologie phytosociologique exhaustive pour la cartographie. Depuis, une grande partie du Royaume-Uni, y compris les hautes terres (par exemple Averis & Averis, 2003), les forêts (Kirby, 2001), les systèmes de dunes côtières (par exemple Dargie, 1998) et les prairies de plaines (par exemple Jefferson & Roberstson, 1996), a été cartographiée à l'aide de la classification nationale. Il n'y a cependant pas eu de coordination nationale en termes d'échelles, de conventions graphiques ou de gestion de l'information.

D'autres projets de cartographie des habitats au Royaume-Uni peuvent également être associés dans une certaine mesure à des types de végétation ou à la classification nationale. La phase 1 de la cartographie des habitats (JNCC, 2010) a été largement utilisée pour les inventaires de terrain de plaine et a été associée à la télédétection pour les régions de montagne. La qualité et la disponibilité des cartes sont variables, mais un bon exemple de la valeur de ces données a été récemment publié au pays de Galles (Blackstock *et al.*, 2010). Les catégories plus larges d'habitats, dérivées du Plan d'action du Royaume-Uni pour la biodiversité, servent de typologie pour la carte d'occupation du sol du Royaume-Uni produite par le Centre d'écologie et d'hydrologie dans le cadre du Countryside survey en 1990, 2000 et 2011 (voir <http://www.ceh.ac.uk>). Dérivé de l'imagerie satellitaire et de données cartographiques numériques, cet inventaire offre une couverture continue au niveau national à une résolution de 25 m.

7.11. Slovaquie (et l'ex-Tchécoslovaquie)

7.11.1. Approche historique

La cartographie de la végétation en Tchécoslovaquie a une longue histoire, à commencer par la cartographie de la distribution des plantes ligneuses. La cartographie géobotanique a commencé juste après la Seconde Guerre mondiale en 1947, mais la cartographie officielle a été initiée en 1954, sous la coordination des institutions universitaires. Au début, un travail important sur les concepts théoriques et les méthodes de cartographie a été réalisé. Des auteurs tels que R. Mikyska, R. Neuhäusl, J. Moravec et d'autres collègues ont développé des concepts légèrement différents de la notion de végétation potentielle naturelle (Neuhäusl, 1963). La carte géobotanique de la Tchécoslovaquie a été publiée en 1968 ; le premier volume de cet ouvrage est consacré à la Bohême et à la Moravie. Il contient 21 cartes au 1/200 000 (Mikyska *et al.*, 1968) basées sur des levés de terrain au 1/50 000. Les auteurs ont distingué 19 unités cartographiques basées sur l'approche phytosociologique zuricho-montpellieraine. Ces unités ne sont pas toutes au même niveau hiérarchique : certaines représentent des classes de végétation, d'autres, mieux définies, des alliances. Le deuxième volume, consacré à la Slovaquie, a été publié en 1987 et la végétation est représentée sous forme de 12 cartes à la même échelle. Le nombre total d'unités de cartographie est de 41, avec le plus de diversité dans les Carpates et dans le bassin pannonique (Michalko *et al.*, 1987). Les principaux experts de ce projet sont D. Magic et J. Berta sous la coordination de J. Michalko.

La carte de la végétation de la Slovaquie appartient à la catégorie des cartes dites de végétation naturelle reconstruite. Contrairement à la cartographie de la végétation potentielle contemporaine selon Tüxen (1956), la cartographie de la végétation naturelle reconstruite vise à représenter la couverture végétale de la fin de l'âge postglaciaire, avant tout impact humain. Les deux concepts sont presque identiques dans un paysage inchangé, alors que des différences majeures se produisent lorsque les conditions d'habitats ont été irréversiblement changées par l'homme (Moravec, 1998).

7.11.2. Développements récents

La cartographie de la végétation au cours des dernières années a surtout porté sur la végétation actuelle. Plusieurs projets ont été menés à partir de 1998 dans le but de représenter la distribution et l'état de conservation des différents types d'habitats. L'inventaire national des prairies (voir l'étude de cas encadré 6.9), des tourbières (au 1/10 000) et des habitats Natura 2000 non-forestiers (au 1/25 000) a été organisé par DAPHNE, l'Institut d'écologie appliquée, et par l'Agence pour la conservation de la nature de l'État slovaque. Les deux derniers inventaires étaient liés à la désignation des sites du réseau Natura 2000. Les résultats n'ont pas été publiés, mais ont été intégrés dans un SIG largement utilisé par les organismes de conservation de la nature.

Le dernier projet d'inventaire est la cartographie des forêts anciennes (2009-2010) organisé par l'ONG FSC Slovakia. Toutes les forêts anciennes de plus de 25 ha ont été cartographiées et enregistrées dans une base de données. Cette information est disponible en ligne sur <http://www.pralesy.sk>

8. Conclusion

La cartographie de la végétation bénéficie d'une longue histoire et reste une discipline très active en Europe. Elle se situe à l'interface entre la science de la végétation et la géographie, la recherche universitaire et la gestion conservatoire. La cartographie de grandes superficies, telles que des pays ou des régions entières, représente toutefois un défi où le temps et les ressources sont des contraintes récurrentes et la qualité un objectif permanent.

Malgré la diversité des projets rencontrés dans le cadre de cette enquête, les mêmes questions stratégiques sont souvent soulevées. Le point de départ de chaque projet consiste à définir les objectifs ; au départ il s'agit généralement d'un ou deux engagements correspondant aux activités ou aux responsabilités de la structure à l'initiative du projet. Souvent, des objectifs secondaires sont liés aux intérêts des partenaires du projet (par exemple la recherche universitaire, l'aménagement du territoire ou la foresterie). Il est cependant nécessaire de définir une hiérarchie entre les différents objectifs, afin de concevoir un projet et une méthode de cartographie compatibles avec le temps et les ressources disponibles (humaines, matérielles et financières).

Par conséquent, différents facteurs doivent être arbitrés pour obtenir les résultats souhaités : précision géographique importante ou large emprise spatiale, description détaillée des communautés végétales ou grandes catégories d'habitats, tous les types d'habitats ou uniquement les habitats protégés, cartographie de terrain ou télédétection des habitats. La durée du projet doit également être considérée avec attention : les projets qui ne prévoient pas suffisamment de temps sont susceptibles de rencontrer des problèmes de qualité, tandis que les projets sur de longues durées peuvent avoir des difficultés à être menés à terme.

La qualité du produit final est le résultat d'une combinaison entre la précision topographique (spatiale) et la précision typologique (thématique). Pour les programmes sur de grands territoires qui nécessitent un certain niveau d'homogénéité, il est nécessaire de mettre en œuvre des méthodes de cartographie standardisées. Cela inclut une typologie explicite avec des outils de diagnostic adaptés (par exemple des règles de décision, des clés de détermination et des guides d'interprétation). En outre, pour obtenir des résultats comparables dans le temps et dans l'espace, il est recommandé que le projet produise des informations simples mais fiables et cohérentes plutôt que des données détaillées mais hétérogènes.

Pour évaluer la qualité des résultats, la validation des cartes peut être qualitative ou quantitative. L'évaluation qualitative est l'approche la plus fréquemment utilisée et habituellement effectuée par des experts régionaux et nationaux. Cependant, la validation quantitative est plus fiable pour mesurer la précision. Elle doit être fondée sur des analyses statistiques robustes et des plans d'échantillonnage appropriés.

Enfin, l'amélioration continue à la fois technique (par exemple les SIG, la télédétection, la modélisation, la gestion des données et l'analyse statistique) et méthodologique (par exemple, les approches paysagères et dynamiques en phytosociologie, les méthodes de surveillance et de suivi des habitats) offrent des perspectives encourageantes pour l'avenir.

Le large éventail d'usages et d'applications présentés illustrent comment les cartographies d'habitats et de végétation sont des outils polyvalents pour la mise en œuvre de politiques en faveur de la biodiversité.

Liste des cartes, figures et photos

Figure 2.1 Exemple d'une série à Quercus pubescens en Italie.....	13	Figure 5.1 Correspondances entre les typologies des programmes de cartographie et les classifications européennes.....	57
Figure 2.2 Exemple d'une géosérie en phytosociologie paysagère dans le centre de l'Italie	14	Carte 5.2 Les cartes de végétation potentielle naturelle au niveau national et régional en Europe.....	58
Figure 2.3 L'approche inductive de cartographie des séries de végétation	16	Tableau 5.1 Les principaux variables environnementales utilisés pour la cartographie des habitats en Europe.....	60
Figure 2.4 Combinaison d'approches inductives et déductives pour la cartographie des séries de végétation.....	16	Photo 5.2 Cartographie de mosaïques d'habitats en Bretagne (France).....	63
Carte 2.1 Couverture des cartes de la végétation naturelle de l'Europe.....	17	Figure 5.2 Évolution du nombre de projets utilisant l'imagerie satellite pour la cartographie des habitats en Europe.....	64
Tableau 3.1 L'approche phytosociologique de la classification de la végétation.....	20	Figure 5.3 Part du travail de terrain dans les principaux programmes de cartographie des habitats.....	64
Tableau 3.2 Extrait du tableau de correspondance entre l'annexe I de la directive Habitats et la classification des habitats EUNIS.....	26	Photo 5.2 Les outils nomades de cartographie au Parc naturel du <i>Český kras</i> en République tchèque	65
Figure 3.1 Types de relations possibles entre différentes classifications d'habitat et symboles utilisés par le site web EUNIS.....	26	Figure 5.4 Mise à jour des cartographies d'habitat sur de vastes territoires.....	65
Tableau 3.3 Contribution de différentes techniques de télédétection pour la cartographie des habitats naturels à 2 niveaux de classification au 1/25 000 et au 1/50 000.....	32	Photo 5.3 Mise à jour de la carte des biotopes de République tchèque	66
Figure 4.1 Les filtres utilisés pour l'enquête.....	36	Figure 5.5 Types de données floristiques acquises par les programmes de cartographie d'habitats sélectionnés.....	67
Figure 4.2 Les journaux scientifiques mentionnés dans l'enquête européenne.....	37	Figure 5.6 Ensemble de règles pour l'élaboration d'une clé d'identification pour la cartographie des habitats de Flandre, Belgique.....	68
Carte 4.1 Étendue de l'enquête européenne.....	38	Photo 6.1 Protocole de suivi de la qualité des habitats dans le parc naturel du <i>Český kras</i> en République tchèque.....	76
Figure 4.3 Étendue géographique (à gauche) et thématique (à droite) des projets sélectionnés	42	Carte 6.1 Les listes rouges des végétations et des habitats en Europe.....	79
Figure 4.4 Trois exemples représentatifs de grands programmes de cartographie en fonction de leurs caractéristiques clés	43	Carte 6.2 Carte indicative du réseau écologique paneuropéen pour le sud-est de l'Europe.....	81
Figure 4.5 Les principales catégories de maîtres d'ouvrage de cartographie d'habitats sur de vastes territoires.....	45	Photo 6.2 Pelouse sèche pannonienne (Seslerio-Festucion pallentis) dans la région de Vienne, Autriche.....	85
Figure 4.6 Nombre de projets achevés ou en cours par année.....	46	Photo 6.3 Cartographie de la végétation en Norvège.....	88
Figure 4.7 Durée des projets de cartographie sur de vastes territoires en Europe.....	47	Tableau 6.1 La typologie des écosystèmes recommandés pour l'évaluation des services écosystémiques en Europe par le groupe de travail du MAES (Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services).....	90
Carte 4.5 Le découpage des secteurs pour la cartographie des habitats en République tchèque	50		
Carte 5.1 Les typologies utilisées par les projets de cartographie sélectionnés dans le cadre de l'enquête européenne.....	55		

Bibliographie

- Aaviksoo, K., & Muru, K., 2008, A methodology of the satellite mapping and monitoring of protected landscapes in Estonia, *Estonian Journal of Ecology*, 57, 158–184.
- Abdank, A., Berg, C., & Dengler, J., 2000, Gefährdungseinstufung von Pflanzengesellschaften — Vorgehen bei der 'Roten Liste der Pflanzengesellschaften von Mecklenburg-Vorpommern', *Schriftenreihe für Vegetationskunde*, 35, 49–63.
- Abdank, A., Berg, C., Dengler, J., & Isermann, M., 2004, Bilanz der roten liste und Konsequenzen für den Naturschutz, in C. Berg, J. Dengler, A. Abdank, & M. Isermann, Eds., *Die Pflanzengesellschaften Mecklenburg-Vorpommerns und ihre Gefährdung — Textband*, pp. 494–507, Jena, Weissdorn-Verlag.
- Alexandrova, V. D., 1973, Russian approaches to classification of vegetation, in R. H. Whittaker, Ed., *Handbook of Vegetation Science. Ordination and Classification of Communities*, Vol. 5, pp. 493–527, Den Haag, Junk.
- Allard, A., & Skånes, H., 2010, Miljöövervakning via infraröda flygbilder, ett väl använt verktyg med goda framtidsutsikter i Sverige, *Kart och Bildteknik*, 4, 20–23.
- Amadei, M., Capogrossi, R., Francescato, C., Giacanelli, V., Laureti, L., Lisi, A., Luger, N., et al., 2005, *Carta della Natura e Biodiversità nelle Aree Naturali Protette: il Parco Naturale Paneveggio — Pale di San Martino, Rapporti 56/2005*, Rome, APAT — Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici.
- Andersen, E., Baldock, D., Bennett, H., Beaufoy, G., Bignal, E., Brouwer, F., Elbersen, B., et al., 2003, *Developing a High Nature Value Farming area indicator. Internal report for the European Environment Agency*, London, IEEP.
- Anderson, J. E., Plourde, L. C., Martin, M. E., Braswell, B. H., Smith, M.-L., Dubayah, R. O., Hofton, M. A., et al., 2008, Integrating waveform LiDAR with hyperspectral imagery for inventory of a northern temperate forest, *Remote Sensing of Environment*, 112(4), 1 856–1 870.
- Andersson, L., 2010, Geographical vegetation data of Lantmäteriet in Sweden, *Viten*, 1, 9–12.
- Angelini, P., Augello, R., Bagnaia, R., Bianco, P. M., Capogrossi, R., Cardillo, A., Ercole, S., et al., 2009, Il progetto Carta della Natura. Linee guida per la cartografia e la valutazione degli habitat alla scala 1:50.000, *Manuali e Linee Guida 48/2009*, Rome, ISPRA.
- Angelini, P., Bianco, P. M., Cardillo, A., Francescato, C., & Oriolo, G., 2009, Gli habitat in Carta della Natura. Schede descrittive degli habitat per la cartografia alla scala 1:50.000, *Manuali e Linee Guida 49/2009*, Rome, ISPRA.
- Araújo, M. B., Cabeza, M., Thuiller, W., Hannah, L., & Williams, P. H., 2004, Would climate change drive species out of reserves? An assessment of existing reserve-selection methods, *Global Change Biology*, 10(9), 1 618–1 626.
- Araújo, M. B., & New, M., 2007, Ensemble forecasting of species distributions, *Trends in Ecology & Evolution*, 22(1), 42–47.
- Auniņš, A., 2001, *Gaujas Nacionālā parka biotopu klasifikācija*, Riga, Latvijas Dabas fonds.
- Auniņš, A., Zviedre, E., & Brūmelis, G., 2000, Preliminary results of remote sensing based vegetation mapping of Lake Engures, Engure, *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B, Natural, Exact and Applied Sciences*, 54(5/6), 170–176.
- Bagella, S., Caria, M. C., Farris, E., & Filigheddu, R. S., 2007, Issues related to the classification of Mediterranean temporary wet habitats according with the European Union Habitats Directive. *Fitosociologia* 44 (2-Suppl. 1), 245–249.
- Baldwin, R. A., 2009, Use of Maximum Entropy Modelling in Wildlife Research, *Entropy*, 11, 854–866.
- Beaufoy, G., Beopoulos, N., Bignal, E., Dubien, I., Koumas, D., Klepacki, B., Louloudis, L., et al., 1994, *The Nature of Farming. Low Intensity Farming Systems in Nine European Countries*, pp. 1–68, London, IEEP, WWF, JNCC.
- Becking, R. W., 1957, The Zürich-Montpellier School of Phytosociology, *Botanical Review*, 23(7), 411–488
- Beguinet, A., 1933, Carta delle zone di vegetazione d'Italia, 1:5 000 000, *Italia: flora e vegetazione. Enciclopedia italiana*, 19, 729–736.
- Bensettiti, F., Bioret, F., Boulet, V., Gaudillat, V., Herard-Logereau, K., Rameau, J.-C., Balmain, C., Chavaudret-Laborie, C., Chevallier, H., Deniaud, J., Haury, J., Lacoste, J.-P., Malengreau, D., Quéré, E., Roland, J., Van Es, J., 2001–2005, Cahiers d'habitats Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire, Vol. 1–7, Bensettiti, F., Ed., La Documentation française, Paris.

- Berg, C., Dengler, J., Abdank, A., & Isermann, M., Eds., 2004, *Die Pflanzengesellschaften Mecklenburg-Vorpommerns und ihre Gefährdung — Textband*, pp. 1–606, Jena, Weissdorn-Verlag.
- Beven, K. J., & Kirkby, M. J., 1979, A physically based, variable contributing area model of basin hydrology/Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant, *Hydrological Sciences Bulletin*, 24(1), 43–69.
- Biondi, E., Casavecchia, S., & Pesaresi, S., 2010, Interpretation and management of the forest habitats of the Italian peninsula, *Acta Botanica Gallica*, 157(4), 687–719.
- Biondi, E., 2011, Phytosociology today: Methodological and conceptual evolution, *Plant Biosystems*, 145 (sup1), 19–29. doi:10.1080/11263504.2011.602748.
- Bioret, F., Lazare, J.-J., & Géhu, J.-M., 2011, Évaluation patrimoniale et vulnérabilité des associations végétales du littoral atlantique français, *Journal de Botanique*, 56, 39–67.
- Blab, J., & Riecken, U., Eds., 1993, Grundlagen und Probleme einer Roten Liste der gefährdeten Biotop-typen Deutschlands — Referate und Ergebnisse des gleichnamigen Symposiums der BFANL vom 28.–30. Oktober 1991, *Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz*, Vol. 38, p. 339, Bundesamt für Naturschutz.
- Blasi, C., Ed., 2010, *La Vegetazione d'Italia con Carta delle Serie di Vegetazione in scala 1:500 000*, p. 600, Rome, Palombi Editori.
- Blasi, C., Capotorti, G., & Frondoni, R., 2005, Defining and mapping typological models at the landscape scale, *Plant Biosystems*, 139(2), 155–163.
- Blasi, C., Carranza, M. L., Frondoni, R., Rosati, L., & Laura, M., 2000, Ecosystem classification and mapping: a proposal for Italian landscapes, *Applied Vegetation Science*, 2, 233–242.
- Blasi, C., Filibeck, G., Frondoni, R., Rosati, L., & Smiraglia, D., 2004, The map of the vegetation series of Italy, *Fitosociologia*, 41(1), 21–26.
- Blasi, C., & Frondoni, R., 2011, Modern perspectives for plant sociology: The case of ecological land classification and the ecoregions of Italy, *Plant Biosystems*, 145 suppl., 30–37.
- Blasi, C., Zattero, L., Marignani, M., Smiraglia, D., Copiz, R., Rosati, L., & Del Vico, E., 2008, The concept of land ecological network and its design using a land unit approach, *Plant Biosystems*, 142(3), 540–549.
- Bohn, U., & Gollub, G., 2006, The use and application of the map of the natural vegetation of Europe with particular reference to Germany, *Biology & Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy*.
- Bohn, U., Neuhäusl, R., Gollub, G., Hettwer, C., Neuhäuslová, Z., & Weber, H. E., 2000–2003, *Karte der natürlichen Vegetation Europas — Maßstab 1: 2.500.000: 1. Teil: Erläuterungstext mit CD-Rom; Teil 2: Legende; Teil 3: Karten*, U. Bohn & R. Neuhäusl, Eds., Münster, Bundesamt für Naturschutz, Landwirtschaftsverlag.
- Böhner, J., Köthe, R., Conrad, O., Gross, J., Ringeler, A., & Selige, T., 2002, Soil Regionalisation by Means of Terrain Analysis and Process Parameterisation, in E. Micheli, F. Nachtergaele, & L. Montanarella, Eds., *Soil Classification 2001. Research Report No. 7*, Vol. EUR 20398, pp. 213–222, Luxembourg, European Soil Bureau.
- Bölöni, J., Kun, A., & Molnár, Z., Eds., 2003, *Élőhelyismereti útmutató 2.0, mmÁ-NÉR* [manuscript], Vácrátót, MTA ÖBKI.
- Bölöni, J., Molnár, Z., Biró, M., & Horváth, F., 2008, Distribution of the Hungarian (semi-)natural habitats II. Woodlands and shrublands, *Acta Botanica Hungarica*, 50, 107–148.
- Bölöni, J., Molnár, Z., Horváth, F., & Illyés, E., 2008, Naturalness-based habitat quality of the Hungarian (semi-)natural habitats, *Acta Botanica Hungarica*, 50, 149–159.
- Bölöni, J., Molnár, Z., Illyés, E., & Kun, A., 2007, A new habitat classification and manual for standardized habitat mapping, *Annali di Botanica nuova serie*, 7, 105–126.
- Bölöni, J., Molnár, Z., & Kun, A., 2011, *Magyarország élőhelyei, A hazai vegetációtípusok leírása és határozója*, p. 441, Vácrátót, MTA ÖBKI.
- Bondev, I.A., Jordanov, D., 1973. *Карта на горите [текст и карта в м = 1:1 500 000]*, map of the forests. text and map 1:1 500 000, in Gulubov, J., Ed., *Атлас на Народна Република България, Atlas of Public Republic of Bulgaria*, я, General Department of Geodesy and Cartography, София, Sofia, pp. 85, 90.
- Bondev, I.A., 1973. *Карта на растителността [текст и карта в м = 1: 1 000 000]*, vegetation map. text and map 1:1 000 000, in Gulubov, J., Ed., *Атлас на Народна Република България, Atlas of Public Republic of Bulgaria*, Главно управление по геодезия и картография, General Department of Geodesy and Cartography, София, Sofia, pp. 85, 88–89.
- Bondev, I. A., 1991, Растителността на България. Карта в М = 1:600 000 с пояснителен текст, *Vegetation of Bulgaria. Map 1:600 000 with explanatory text*, p.

- 183, София, Sofia, Университетско издателство „Св. Климент Охридски“, St Kliment Ohridski University Press.
- Bonnin, M., Bruszik, A., Delbaere, B., Léthier, H., Richard, D., Rientjes, S., Uden van, G. & A. Terry., 2007, *The Pan-European Ecological Network, taking stock*. Council of Europe. Nature and Environment N°146, Strasbourg.
- Borhidi, A., & Sánta, A., 1999, *Vörös könyv Magyarország növénytakarásairól, vol. I-II, KÖM természetvédelmi hivatalának tanulmánykötetei*, Vol. 6, pp. 1–766, Budapest: Természetbúvár Alapítvány K.
- Bork, E. W., & Su, J. G., 2007, Integrating LiDAR data and multispectral imagery for enhanced classification of rangeland vegetation: A meta analysis, *Remote Sensing of Environment*, 111(1), 11–24.
- Borza, A., & Boşcaiu, N., 1965, *Introducere în studiul covorului vegetal*, Bucureşti: Acad. R. P. Române.
- Botta-Dukát, Z., 2008, Invasion of alien species to Hungarian (semi-)natural habitats, *Acta Botanica Hungarica*, 50 (suppl.), 219–227.
- Braun-Blanquet, J., 1928, *Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde*, 1st ed., pp. 1–330, Berlin, Springer Verlag.
- Braun-Blanquet, J., 1932, *Plant Sociology. The study of plant communities.*, G. D. Fuller & H. S. Conard, Eds., 1st ed., p. 439, New York, London, McGraw-Hill Book Company.
- Braun-Blanquet, J., 1951, *Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde*, 2nd ed., Vienna, Springer Verlag.
- Braun-Blanquet, J., 1959, Reinhold Tüxen sechzig-jährig, *Vegetatio*, 8(5–6), 271–279.
- Braun-Blanquet, J., 1964, *Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde*, 3rd ed., Vienna, New York, Springer Verlag.
- Bredenkamp, G., Chytrý, M., Fischer, H. S., Neuhauslová, Z., & Van der Maarel, E., 1998, Vegetation mapping: Theory, methods and case studies: Introduction, *Applied Vegetation Science*, 1(2), 162–164.
- Brundza, K., 1937, *Kamanos. Hidrografija, stratigrafija ir augalija*, pp. 1–268, Kaunas.
- Bruno, F., Petriccione, B., & Attorre, F., 2003, La cartografia della vegetazione in Italia, *Braun-Blanquetia*, 26.
- Bryn, A., 2006, Vegetation mapping in Norway and a scenario for vegetation changes in a mountain district, *Geographia Polonica*, 79(1), 41–64.
- Bryn, A., 2008, Recent forest limit changes in south-east Norway: Effects of climate change or regrowth after abandoned utilisation? *Norsk Geografisk Tidsskrift — Norwegian Journal of Geography*, 62(4), 251–270.
- Bryn, A., Dourojeanni, P., Hemsing, L. Ø., & O'Donnell, S., 2013, A high-resolution GIS null model of potential forest expansion following land use changes in Norway, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 28(1), 81–98.
- Bryn, A., & Hemsing, L. Ø., 2012, Impacts of land use on the vegetation in three rural landscapes of Norway, *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 8(4), 360–371.
- Brzeziecki, B., Kienast, F., & Wildi, O., 1993, A simulated map of the potential natural forest vegetation of Switzerland, *Journal of Vegetation Science*, 4, 499–508.
- Bunce, R. G. H., Bogers, M. M. B., Evans, D., Halada, L., Jongman, R. H. G., Múcher, C. A., Bauch, B., de Blust, G., Parr, T. W. and Olsvig-Whittaker, L., 2013, The significance of habitats as indicators of biodiversity and their links to species, *Ecological Indicators*, 33, 19–25.
- Bunce, R. G. H., Bogers, M. M. B., Ortega, M., Morton, D., Allard, A., Prinz, M., Peterseil, J., et al., 2012, *Conversion of European habitat data sources into common standards*, *Alterra Report*, Vol. 2277, Wageningen.
- Bunce, R. G. H., Bogers, M. M. B., Roche, P. K., Walczak, M., Geijzendorffer, I. R., & Jongman, R. H. G., 2011, *Manual for Habitat and Vegetation Surveillance and Monitoring: Temperate, Mediterranean and Desert Biomes*, *Alterra Report*, Vol. 2154, p. 106, Wageningen.
- Bunce, R. G. H., Metzger, M. J., Jongman, R. H. G., Brandt, J., Blust, G., De Elena-Rossello, R., Groom, G. B., et al., 2008, A standardized procedure for surveillance and monitoring European habitats and provision of spatial data, *Landscape Ecology*, 23, 11–25.
- Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F., & Windhorst, W., 2009, Landscapes' capacities to provide ecosystem services—a concept for land-cover based assessments, *Landscape online*, 15, 1–22.
- Bušs, K., 1997, Forest ecosystem classification in Latvia. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B, Natural, Exact and Applied Sciences*, 51(5/6), 204–218.
- Cajander, A. K., 1909, Über Waldtypen. *Fennia*, 28(2), 1–175.

- Capotorti, G., Guida, D., Siervo, V., Smiraglia, D., & Blasi, C., 2012, Ecological classification of land and conservation of biodiversity at the national level: The case of Italy, *Biological Conservation*, 147, 174–183.
- Carré, A., 2012, *Liste Rouge des Écosystèmes de l'IUCN. Exercice d'application sur quelques écosystèmes de Zones Humides de France métropolitaine*, pp. 1–82, Saint-Mandé, UICN Comité français, Tour du Valat.
- CAVM Team, 2003, Circumpolar Arctic vegetation map, 1:7,500,000 scale, *Conservation of Arctic Flora and Fauna, CAFF Map No. 1*, Anchorage, AK, US Fish and Wildlife Service.
- CAVM Team., 2005, The Circumpolar Arctic vegetation map, *Journal of Vegetation Science*, 16(3), 267–282, doi:10.1111/j.1654-1103.2005.tb02365.x.
- Cherrill, A., & McClean, C., 1999a, The reliability of 'Phase 1' habitat mapping in the UK: the extent and types of observer bias, *Landscape and Urban Planning*, 45(2–3), 131–143.
- Cherrill, A., & McClean, C., 1999b, Between-observer variation in the application of a standard method of habitat mapping by environmental consultants in the UK, *Journal of Applied Ecology*, 36(6), 989–1008.
- Chytrý, M., Ed., 17995, *Vegetace České republiky 1–3, Vegetation of the Czech Republic*, Prague, Academia.
- Chytrý, M., 1998, Potential replacement vegetation: an approach to vegetation mapping of cultural landscapes, *Applied Vegetation Science*, 1, 177–188.
- Chytrý, M., Berg, C., Dengler, J., Ewald, J., Hennekens, S. M., Jansen, F., Kleikamp, M., et al., 2012, European Vegetation Archive, EVA): a new initiative to strengthen the European Vegetation Survey, *21st EVS Workshop, Vienna, Austria, 24–27 May 2012*, Vienna, EVS.
- Chytrý, M., Kučera, T., & Kočí, M., Eds., 2001, *Katalog biotopů České republiky. Interpretací příručka k evropským programům Natura 2000 a Smaragd, Habitat catalogue of the Czech Republic. A manual to European programmes Natura 2000 and Emerald*, p. 304, Prague, Agentura ochrany přírody a krajiny ČR.
- Chytrý, M., Kučera, T., Kočí, M., Grulich, V., & Lustyk, P., Eds., 2010, *Katalog biotopů České republiky, Habitat catalogue of the Czech Republic*, 2nd ed., p. 445, Prague, Agentura ochrany přírody a krajiny ČR.
- Chytrý, M., & Otýpková, Z., 2003, Plot sizes used for phytosociological sampling of European vegetation. *Journal of Vegetation Science*, 14(4), 563–570.
- Commission of the European Communities, 1991, *Corine Biotopes manual, habitats of the European Community. A method to identify and describe consistently sites of major importance for nature conservation*, EUR, Vol. 12587/3, Luxembourg, Office for Official publications of the European Communities.
- Commission of the European Communities, Heymann, Y., Steenmans, C., Croissille, G., & Bossard, M., 1994, *Corine Land Cover. Technical guide*, Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities.
- Costanza, R., D'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., et al., 1997, The value of the world's ecosystem services and natural capital, *Nature*, 387(6630), 253–260.
- Cristea, V., Gafta, D., & Pedrotti, F., 2004, *Fito-sociologie*, pp. 1–143, Cluj-Napoca, Editura Presa Universitară Clujeană.
- Czúcz, B., Molnár, Z., Horváth, F., & Botta-Dukát, Z., 2008, The natural capital index of Hungary, *Acta Botanica Hungarica*, 50, 161–177.
- Czúcz, B., Molnár, Z., Horváth, F., Nagy, G. G., Botta-Dukát, Z., & Török, K., 2012, Using the natural capital index framework as a scalable aggregation methodology for regional biodiversity indicators, *Journal for Nature Conservation*, 20(3), 144–152.
- Czúcz, B., Torda, G., Molnár, Z., Horváth, F., Botta-Dukát, Z., & Kröel-Dulay, G., 2009, A spatially explicit, indicator-based methodology for quantifying the vulnerability and adaptability of natural ecosystems, in W. L. Filho & F. Mannke, Eds., *Interdisciplinary Aspects of Climate Change*, pp. 209–227, Frankfurt, Peter Lang Scientific Publishers.
- Dagys, J., 1933, Apaščios upės pievos, *VDU MGFĐ*, 7(1), 79–217.
- Dalponte, M., Bruzzone, L., & Gianelle, D., 2008, Fusion of Hyperspectral and LiDAR Remote Sensing Data for Classification of Complex Forest Areas, *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 46(5), 1416–1427.
- Davies, C. E., & Moss, D., 1999, EUNIS Habitat Classification. *Final report to the European Topic Centre on Nature Conservation, European Environment Agency*. Huntingdon, Institute of Terrestrial Ecology.
- Davies, C. E., Moss, D., & Hill, M. O., 2004, *EUNIS habitat classification revised 2004*. European Environment Agency — European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity.

- De Blust, G., Froment, A., Kuijken, E., Nef, L., & Verheyen, R., 1985, *Carte d'Evaluation Biologique de la Belgique. Texte explicatif général*. Brussels, Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie. Centre de Coordination de la Carte d'Evaluation Biologique.
- De Blust, G., Paelinckx, D., & Kuijken, E., 1994, Up-to-date information on nature quality for environmental management in Flanders, in Klijn, Ed., *Ecosystem Classification for Environmental Management*, pp. 223–249, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- De Laubenfels, D.J., 1975, Mapping the world's vegetation. regionalization of formations and flora, in *Syracuse geographical series 4*. Syracuse University Press, Syracuse, New York, pp. 1–246.
- Del Río, S., Penas, A., & Pérez-Romero, R., 2005, Potential areas of deciduous forests in Spain (Castile and Leon) according to future climate change, *Plant Biosystems*, 139, 222–233.
- Dengler, J., Chytrý, M., & Ewald, J., 2008, Phytosociology. Pages 2767–2779 in Jørgensen S. E. & Fath, B. D., Eds.) *Encyclopedia of ecology*, Elsevier, Oxford.
- Dengler, J., Jansen, F., Glöckler, F., Peet, R. K., De Cáceres, M., Chytrý, M., Ewald, J., et al., 2011, The Global Index of Vegetation-Plot Databases (GIVD): a new resource for vegetation science, *Journal of Vegetation Science*, 22, 582–597.
- Devillers, P., Devillers-Terschuren J. & Ledant J-P., 1991, *Corine biotopes manual. Vol. 2. Habitats of the European Community*, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Devilliers, P., & Devilliers-Terschuren, J., 1996, A classification of Palaearctic habitats, *Nature and environment*, 78, 194.
- Di Gregorio, A., & Jansen, L. J. M., 2000, *The Land Cover Classification System, LCCS): Classification 445 Concepts and User Manual*, p. 177, Rome, Cooperazione italiana, UNEP, FAO.
- Diekmann, M., 1995, Delimitation of syntaxa in northern Europe—a case study, *Annali di Botanica*, 53, 65–79.
- Dierschke, H., 1994, *Pflanzensoziologie. Grundlagen und Methoden*, pp. 1–600, Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer.
- Doniță, N., Ivan, D., Coldea, G., Sanda, V., Popescu, A., Chifu, T., Paucă-Comănescu, M., et al., 1992, *Vegetația României*. București, Ed. Tehnică Agricolă.
- Du Rietz, G. E., 1921, *Zur methodologischen Grundlage der modernen Pflanzensoziologie*, Uppsala University.
- Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R. J., et al., 2006, Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data, *Ecography*, 29, 129–151.
- Elith, J., Kearney, M., & Phillips, S. J., 2010, The art of modelling range-shifting species, *Methods in Ecology and Evolution*, 1(4), 330–342.
- Ellenberg, H., 1982, *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht*, 3rd ed., pp. 1–989, Stuttgart, Ulmer.
- Ellmayer, T., Ed., 2005, *Entwicklung von Kriterien, Indikatoren und Schwellenwerten zur Beurteilung des Erhaltungszustandes der Natura 2000-Schutzgüter. Band 3: Lebensraumtypen des Anhangs I der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie*, Vienna, Umweltbundesamt GmbH.
- Emanuelsson, U., 2009, *The Rural Landscapes of Europe — how man has shaped European nature*, pp. 1–383, Stockholm, Swedish Research Council Formas.
- Essl, F., Egger, G., & Ellmayer, T., 2002, *Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Österreichs. Konzept. Monographien*, Vol. 155, pp. 1–40, Vienna, Umweltbundesamt GmbH.
- Essl, F., Egger, G., Ellmayer, T., & Aigner, S., 2002, *Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Österreichs. Wälder, Forste, Vorwälder. Monographien*, Vol. 156, pp. 1–143, Vienna, Umweltbundesamt GmbH.
- Essl, F., Egger, G., Karrer, G., Theiss, M., & Aigner, S., 2004, *Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Österreichs. Grünland, Grünlandbrachen und Trockenrasen Hochstauden- und Hochgrasfluren, Schlagfluren und Waldsäume Gehölze des Offenlandes und Gebüsche. Monographien*, Vol. 167, pp. 1–272, Vienna, Umweltbundesamt GmbH.
- Essl, F., Egger, G., Poppe, M., Rippel-Katzmaier, I., Staudinger, M., Muhar, S., Unterlercher, M., et al., 2008, *Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Österreichs. Binnengewässer, Gewässer- und Ufervegetation. Technische Biotoptypen und Siedlungsbiotoptypen. Reports*, Vol. 134, pp. 1–316, Vienna, Umweltbundesamt GmbH.
- European Commission, 1992, Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. *Official Journal of European Committee*, L 206, 7–50.
- European Commission, 2005, Note to the Habitats Committee: Assessment, monitoring and reporting of conservation status — Preparing the 2001-2007 report under Article 17 of the Habitats Directive, *DocHab-04-03/03 rev.3*. Brussels, European Commission.

- European Commission, 2011a, Note to the Habitats Committee: Reporting Format for the 3rd report under Article 17 of the Habitats Directive for the period 2007 to 2012. *DocHab.-11-05/03*, Brussels, European Commission.
- European Commission, 2011b, *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Our life insurance, our natural capital: an EU biodiversity strategy to 2020*. COM(2011) 244, Brussels, European Commission.
- European Commission, 2013a, *Interpretation Manual of European Union Habitats — EUR28*. Brussels, European Commission, DG Environment, Brussels, http://ec.europa.eu/environment/nature/legislation/habitatsdirective/docs/Int_Manual_EU28.pdf.
- European Commission, 2013b, *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Green Infrastructure, GI — Enhancing Europe's Natural Capital*. COM/2013/0249 final, European Commission, Brussels.
- European Topic Centre on Biological Diversity, 2006a, *Assessment, monitoring and reporting under Article 17 of the Habitats Directive: Explanatory Notes & Guidelines, final draft October 2006*, Paris, European Topic Centre on Biological Diversity.
- European Topic Centre on Biological Diversity, 2006b, *The Indicative Map of European Biogeographical Regions: Methodology and Development*. Retrieved from <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/biogeographical-regions-europe-2005>
- Evans, D., 2006, The habitats of the European Union habitats directive, *Biology & Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy*, 106(3), 167–173.
- Evans, D., 2010, Interpreting the habitats of Annex I — Past, present and future, *Acta Botanica Gallica* 157(4): 677–686.
- Evans, D. & Arvela, M., eds, 2011, *Assessment and reporting under Article 17 of the Habitats Directive — Explanatory Notes & Guidelines for the period 2007–2012. Final version, July 2011*, European Topic Centre on Biological Diversity, Paris.
- Evans, D., Demeter, A., Gajadoš, P., & Halada, L., 2013, Adapting environmental conservation legislation for an enlarged European Union: experience from the Habitats Directive, *Environmental Conservation*, 40(2): 97–107.
- Ewald, J., 2001, Der Beitrag pflanzensoziologischer Datenbanken zur vegetations-ökologischen Forschung, *Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft*, 13, 53–69.
- Ewald, J., 2003, A critique for phytosociology, *Journal of Vegetation Science*, 14(2), 291–296. doi:10.1111/j.1654-1103.2003.tb02154.x.
- Faliński, J. B., 1990–1991, *Kartografia geobotaniczna*, Warsaw, P.P.W.K.
- Faliński, J. B., 1991, Vegetation processes ad subject of geobotanical map. Proceed. XXXIII Symp. Int. Ass. Veg. Science, Warsaw, 8–12 April 1990, *Phytocoenosis*, 3 — *Suppl.*, 1–383.
- Faliński, J. B., & Falińska, K., 1986, Vegetation dynamics in temperate lowland primeval forests: ecological studies in Białowieza Forest, *Geobotany*, 8, 1–537.
- Fekete, G., Molnár, Z., & Horváth, F., Eds., 1997, *A magyarországi élőhelyek leírása és határozókönyve. A Nemzeti Élőhely-osztályozási Rendszer*, pp. 1–374, Budapest, Természettudományi Múzeum.
- Fenaroli, L., 1970, *Carta della vegetazione reale d'Italia, 1:1 000 000, Note illustrative della carta della vegetazione reale d'Italia. Collana Verde n° 28*, pp. 1–125, Rome, Ministero dell'agricoltura e delle foreste.
- Ferrari, C., Pirola, A., & Piccoli, F., 1972, Saggio cartografico della vegetazione delle Valli di Comacchio. *Ann. Univ. Ferrara, Sez. I, I(2)*, 35–54.
- Fiori, A., 1908, Carta Botanica d'Italia, 1:5 000 000, In A. Fiori & G. Paoletti, Eds., *Flora analitica d'Italia*, Vol. I, pp. I–LXXXVI, Padova, Tip. Seminario.
- Fiori, A., 1936, Carta delle formazioni vegetali, 1:250 000 000, In Consociazione Turistica Italiana, Ed., *Atlante fisico-economico d'Italia*, pp. 42–43 + tav.21, Milan, Officine Grafiche Esperia.
- Florinsky, I. V., Eilers, R. G., Manning, G. R., & Fuller, L. G., 2002, Prediction of soil properties by digital terrain modelling. *Environmental Modelling & Software*, 17(3), 295–311.
- Fortin, M.-J., Olson, R. J., Ferson, S., Iverson, L., Hunsaker, C., Edwards, G., Levine, D., et al., 2000, Issues related to the detection of boundaries. *Landscape Ecology*, 15(5), 453–466.
- Franklin, J., 1995, Predictive vegetation mapping: geographic modelling of biospatial patterns in relation to environmental gradients, *Progress in Physical Geography*, 19(4), 474–499.

- Franklin, J., 2009, *Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction*. Ecology, Biodiversity and Conservation Series, pp. 1–320, New York, Cambridge University Press.
- Fremstad, E., 1997, *Vegetasjonstyper i Norge. Temahefte*, Vol. 12, Trondheim, Norw. Inst. Nat. Res.
- Fries, T. C. E., 1913, *Botanische Untersuchungen im nördlichsten Schweden: ein Beitrag zur Kenntnis der alpinen und subalpinen Vegetation in Torne Lappmark*. Uppsala, Almqvist & Wiksells.
- Gauquelin, T., Delpoux, M., Durrieu, G., Fabre, A., Fontès, J., Gouaux, P., Le Caro, P., et al., 2005, Histoire du Service de la carte de la végétation de la France, *La revue pour l'histoire du CNRS*, 13, 1–9.
- Gaussen, H., 1938a, Régions florales, étages et zones de végétation, in Comité National de Géographie, Ed., *Atlas de France*, Planche 26, Société Française de Cartographie.
- Gaussen, H., 1938b, Étages et zones de végétation de la France, *Annales de Géographie*, 47(269), 463–487.
- Gaussen, H., 1947, L'emploi des couleurs en cartographie. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Vol. 224, pp. 450–452, Paris.
- Gaussen, H., Ed., 1961, *Méthodes de la cartographie de la végétation*, Paris, CNRS.
- Gégout, J.-C., Rameau, J.-C., Renaux, B., Jabiol, B., Bar, M., 2007. Les habitats forestiers de la France tempérée. Typologie et caractérisation phytoécologique. Version provisoire, juin 2007, AgroParisTech-ENGREF, Nancy, p. 716 + 6 annexes.
- Géhu, J.-M., 1986, Des complexes de groupements végétaux à la phytosociologie paysagère contemporaine, *Informatore Botanico Italiano*, 18, 53–83.
- Géhu, J.-M., 1991a, L'analyse symphytosociologique et géographique de l'espace. Théorie et méthodologie, *Colloques Phytosociologiques*, 17, 11–46.
- Géhu, J.-M., 1991b, *Livre rouge des phytocoenoses terrestres du littoral français*, pp. 1–236, Bailleul, Centre régional de phytosociologie.
- Géhu, J.-M., 2006, *Dictionnaire de Sociologie et Synécologie Végétales*, Stuttgart, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Geijzendorffer, I. R., & Roche, P. K., 2013, Can monitoring schemes provide indicators for ecosystem services? *Ecological Indicators*, in press.
- Gerard, F., Blank, L., Bunce, R. G. H., Carmel, Y., Caudullo, G., Clerici, N., Deshayes, M., et al., 2012, *Assessing the role of EO in biodiversity monitoring: options for integrating in-situ observations with EO within the context of the EBONE concept*, pp. 1–34, NERC/Centre for Ecology & Hydrology.
- Giacomini, V., 1954, Carta dell'alta Val Loga (1:8 300).
- Giacomini, V., 1973, Carta del paesaggio forestale d'Italia (1:250 000 000).
- Giacomini, V., & Fenaroli, L., 1958, Carta della vegetazione d'Italia (1:6 000 000).
- Gigante, D., Acosta, A. T. R., Agrillo, E., Attorre, F., Cambria, V. E., Casavecchia, S., Chiarucci, A., et al., 2012, Vegitaly: Technical features, crucial issues and some solutions, *Plant Sociology*, 49(2), 71–79.
- Gosz, J. R., 1993, Ecotone hierarchies. *Ecological Applications*, 3, 369–376.
- Grabherr, G., 1998, *Hemerobie österreichischer Waldökosysteme*, Vol. 17, Universitätsverlag Wagner.
- Grabherr, G., & Polatschek, A., 1986, *Lebensräume und Lebensgemeinschaften in Vorarlberg: Ökosysteme, Vegetation, Flora mit roten Listen*, pp. 1–263, Dornbirn: Vorarlberger Verlagsanstalt.
- Gudjonsson, G., 2010, Large-scale vegetation mapping in Iceland, *Viten*, 1(51-54).
- Guisan, A., & Zimmermann, N. E., 2000, Predictive habitat distribution models in ecology, *Ecological Modelling*, 135(2-3), 147–186.
- Guth, J., & Kučera, T., 2006, Natura 2000 habitat mapping in the Czech Republic: Methods and general results, *Ekológia*, 24, Suppl.(1), 39–15.
- Haest, B., Thoonen, G., Vanden Borre, J., Spanhove, T., Delalieux, S., Bertels, L., Kooistra, L., et al., 2010, An object-based approach to quantity and quality assessment of heathland habitats in the framework of Natura 2000 using hyperspectral airborne AHS images, in E. A. Addink & F. M. B. Van Coillie, Eds., *Proceedings of GEOBIA 2010-Geographic Object-Based Image Analysis*, Ghent, Belgium, 29 June–2 July 2010.
- Haines-Young, R. H., Barr, C. J., Black, H. I. J., Briggs, D. J., Bunce, R. G. H., Clarke, R. T., Cooper, A., et al., 2000, *Accounting for nature: assessing habitats in the UK countryside*. London, DETR.
- Halada, L., Evans, D., Romão, C. & Petersen, J-E., 2011, Which habitats of European Importance depend on agricultural practices? *Biodiversity & Conservation* 20 (11): 2 365–2 378.
- Halvorsen, R., Ed., 2009, *Naturtyper i Norge*, Trondheim, NiN artikkel 1. Artsdatabanken.

- Hanganu, J., Dubyna, D., Zhmud, E., Grigoras, I., Menke, U., Drost, H., Ștefan, N., et al., 2002, *Vegetation of the Biosphere Reserve 'Danube Delta' — with Transboundary Vegetation Map on a 1:150,000 scale. RIZA report 2002.049*, p. 90, Lelystad, Danube Delta National Institute, M.G. Kholodny — Institute of Botany & Danube Delta Biosphere Reserve, RIZA.
- Härtel, H., Lončáková, J., & Hošek, M., Eds., 2008, *Mapování biotopů v České republice. Východiska, výsledky, perspektivy, Habitat mapping in the Czech Republic. Background, results and perspectives*, p. 195, Prague, Agentura ochrany přírody a krajiny ČR.
- Hearn, S. M., Healey, J. R., McDonald, M. A., Turner, A. J., Wong, J. L. G., & Stewart, G. B., 2011, The repeatability of vegetation classification and mapping, *Journal of environmental management*, 92(4), 1 174–1 184.
- Helsinki Commission., 1998, *Red list of marine and coastal biotopes and biotope complexes of the Baltic Sea, Belt Sea, and Kattegat. Baltic Sea environment proceedings*, Vol. 75, pp. 1–115, Helsinki, Baltic Marine Environment Protection Commission.
- Hemsing, L. Ø., & Bryn, A., 2012, Three methods for modelling potential natural vegetation, PNV) compared: A methodological case study from south-central Norway, *Norsk Geografisk Tidsskrift — Norwegian Journal of Geography*, 66(1), 11–29.
- Hennekens, S. M., & Schaminée, J. H. J., 2001, TURBOVEG, a comprehensive data base management system for vegetation data, *Journal of Vegetation Science*, 12, 589–591.
- Herbich, J., 2004, *Lasy i bory. Poradniki ochrony siedlisk i gatunków Natura 2000 — podręcznik metodyczny. Tom 5. Ministerstwo Środowiska*, Warsaw.
- Hirzel, A. H., Hausser, J., Chessel, D., & Perrin, N., 2002, Ecological-niche factor analysis: how to compute habitat-suitability maps without absence data? *Ecology*, 83(7), 2 027–2 036.
- Horvat, I., Glavač, V., & Ellenberg, H., 1974, *Vegetation Südosteuropas. Geobotanica selecta*, Vol. 4, pp. 1–768, Stuttgart, Gustav Fischer Verlag.
- Horváth, F., Molnár, Z., Bölöni, J., Pataki, Z., Polgár, L., Révész, A., Oláh, K., et al., 2008, Fact sheet of the MÉTA database 1.2, *Acta Botanica Hungarica*, 50, 11–34.
- Horváth, F., & Polgár, L., 2008, MÉTA SQL expert interface and access service, *Acta Botanica Hungarica*, 50 (suppl.), 35–45.
- Horváth, F., & Szitár, K., Eds., 2007, *Agrártájak növényzetének monitorozása. A hatás-monitorozás elméleti alapjai és gyakorlati lehetőségei*, Vácrátót, MTA ÖBKI.
- Houborg, R., & Boegh, E., 2008, Mapping leaf chlorophyll and leaf area index using inverse and forward canopy reflectance modelling and SPOT reflectance data. *Remote Sensing of Environment*, 112(1), 186–202.
- Huang, S., Potter, C., Crabtree, R. L., Hager, S., & Gross, P., 2010, Fusing optical and radar data to estimate sagebrush, herbaceous, and bare ground cover in Yellowstone, *Remote Sensing of Environment*, 114(2), 251–264.
- Hudak, A. T., Lefsky, M. A., Cohen, W. B., & Berterretche, M., 2002, Integration of LiDAR and Landsat ETM+ data for estimating and mapping forest canopy height, *Remote Sensing of Environment*, 82(2–3), 397–416.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G., 2002, Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices, *Remote Sensing of Environment*, 83(1–2), 195–213.
- Ichter, J., Savio, L., Evans, D., Poncet, L., in press., State-of-the-art of vegetation mapping in Europe: results of a European survey and contribution to the French program CarHAB. Documents phytosociologiques — Actes du colloque "Cartographie de la végétation en Europe" St-Mandé.
- Idena — Visor, n.d., *idena — Infraestructura de Datos Espaciales de Navarra*. Gobierno de Navarra, retrieved from http://idena.navarra.es/navegar/?layerid=BIODIV_Pol_SerieVe50m
- Ihse, M., 1994, Vegetationskartering i Sverige — historik och visioner, *Kartbladet*, 1, 32–49.
- Ihse, M., & Wastenson, L., 1975, *Flygbildstolkning av fjällvegetation — En metodstudie för översiktlig kartering*, Stockholm, PM no 596, Naturvårdsverket.
- Ingurumenari buruzko kartografia — Cartografia ambiental, n.d., *circa — Communication & Information Resource Centre Administrator*. Gobierno Vasco. Retrieved from http://212.142.249.33/Public/irc/ejie/gis/library?l=/habitatak_lurzoruaren/series_vegetacin&vm=detailed&sb=Title
- Ivan, D., 1979, *Fitocenologie și vegetația Republicii Socialiste România*, pp. 1–331, București, Editura Didactică și Pedagogică.
- Ivan, D., & Doniță, N., n.d., *Metode practice pentru studiul ecologic și geografic al vegetației*, pp. 1–294, București, Editura Didactică și Pedagogică.

- Jackson, Stephen T. 2013. Natural, Potential and Actual Vegetation in North America, *Journal of Vegetation Science* 24 (4): 772–776.
- Jetz, W., McPherson, J. M., & Guralnick, R. P., 2012, Integrating biodiversity distribution knowledge: toward a global map of life. *Trends in ecology & evolution*, 27(3), 151–9.
- Jefferson, R.G., Robertson, H.J., 1996. Lowland grassland: wildlife value and conservation status, in: English Nature Research Reports No. 169. English Nature, Peterborough.
- Johannesson, B., & Thorsteinsson, I., 1957, *Gróðurkort og lýsing Gnúpverjafréttar*, Reykjavík, Rit Landbúnaðardeildar, Gróðurkort 1, Atvinnudeild Háskólans.
- Joly, D., Brossard, T., Cardot, H., Cavailhes, J., Hilal, M., & Wavresky, P., 2010, Les types de climats en France, une construction spatiale. *Cybergeog: European Journal of Geography [online]. Cartographie, Imagerie, SIG*, Document 501, doi:10.4000/cybergeog.23155.
- Jongman, R. H. G., Bouwma, I. M., Griffioen, A., Jones-Walters, L., & Van Doorn, A. M., 2011, The Pan European Ecological Network, PEEN, *Landscape Ecology*, 26, 311–326.
- Jongman, R. H. G., Ter Braak, C. J. F., & Van Tongeren, O. F. R., 1995, *Data Analysis in Community and Landscape Ecology*, pp. 1–324, New York, Cambridge University Press.
- Kabucis, I., 1995, Ģeobotāniskie rajoni., G. Kavacs, Ed., *Latvijas Daba: Enciklopēdija*, Rīga, Latvijas Enciklopēdija.
- Kabucis, I., 2001, *Latvijas biotopi. Klasifikators*, Rīga, Latvijas Dabas fonds.
- Kabucis, I., Rūsiņa, S., & Veen, P., 2003, *Grasslands of Latvia — Status and conservation of semi-natural grasslands. Report*, Rīga, Latvian Fund for Nature, KNNV.
- Kaiser, T., Schlumprecht, H., Finck, P., & Riecken, U., 2013, *Biotopkartierungen in den deutschen Bundesländern — Aktueller Stand und Methodenvergleich. Natur und Landschaft Heft*, in print, Vol. 3.
- Karazija, S., 1988, *Lietuvos miškų tipai.*, Mokslas, Ed., Vilnius.
- Keith, D. A., Rodríguez, J. P., Rodríguez-Clark, K. M., Nicholson, E., Aapala, K., Alonso, A., et al., Zambrano-Martínez, S., 2013, Scientific Foundations for an IUCN Red List of Ecosystems, *PloS one*, 8(5), e62111.
- Kelly, A. L., Franks, A. J., & Eyre, T. J., 2011, Assessing the assessors: Quantifying observer variation in vegetation and habitat assessment. *Ecological Management & Restoration*, 12(2), 144–148.
- Kent, M., Gill, W. J., Weaver, R. E., & Armitage, R. P., 1997, Landscape and plant community boundaries in biogeography. *Progress in Physical Geography*, 21, 315–353.
- Kent, M., 2012) *Vegetation description and data analysis: a practical approach*. Wiley-Blackwell, Chichester.
- Kerr, J. T., & Ostrovsky, M., 2003, From space to species: ecological applications for remote sensing. *Trends in Ecology & Evolution*, 18(6), 299–305.
- Keskkonnateabe Keskus., n.d., Corine Land Cover. Retrieved February 27, 2013, from <http://www.keskkonnainfo.ee/main/index.php/et/meist/projektid/>
- Kleijn, D., Rundlöf, M., Scheper, J., Smith, H. G., & Tschardtke, T., 2011, Does conservation on farmland contribute to halting the biodiversity decline? *Trends in Ecology & Evolution*, 26(9), 474–481.
- Kleijn, D., & Sutherland, W. J., 2003, How effective are European agri-environment schemes in conserving and promoting biodiversity? *Journal of Applied Ecology*, 40(6), 947–969.
- Kowarik, I., 1987, Kritische Anmerkungen zum theoretischen Konzept der potentiellen natürlichen Vegetation mit Anregungen zu einer zeitgemässen modifikation. *Tüxenia*, 7, 53–67.
- Kučera, T., 2009, Červená kniha biotopů ČR, in H. Härtel, J. Lončáková, & M. Hošek, Eds., *Mapování biotopů v České republice. Východiska, výsledky, perspektivy*, pp. 66–71, Prague, Agentura ochrany přírody a krajiny ČR.
- Kučera, T., Chytrý, M., Dring, J., & Rodwell, J. S., 1998, *Mapping for Red Data Books in the Czech Republic. Evaluating of vegetation and environmental diversity in landscape level. Report to the UK Darwin initiative*, pp. 1–22, Lancaster: Unit of Vegetation Science, Lancaster University.
- Küchler, A. W., 1967, *Vegetation mapping*, pp. 1–472, New York, The Ronald Press Company.
- Küchler, A. W., & Zonneveld, I. S., 1988a, *Vegetation mapping*, pp. 1–635, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Küchler, A. W., & Zonneveld, I. S., 1988b, *Handbook of Vegetation Science*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Kumar, P., Ed., 2010, *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: ecological and economic foundations*, London, Earthscan.

- Kupfferr, K. R., 1925, Grundzüge der Pflanzengeographie des Ostbaltischen Gebiets, *Abhandlungen der Herder-Instituts*, 1(6), 1–224+5.
- Kupfferr, K. R., 1931, Die Naturschonstätte Moritzholm. Eine geobotanische Studie, *Arbeiten des naturforscher-Vereins zu Riga. Neue Folge*, XIX, 1–138.
- Kuusk, V., Tabaka, L., & Jankevičiene, R., Eds., 1996, *Flora of the Baltic Countries. Compendium of Vascular Plants II*, Tartu, Eesti Loodusfoto AS.
- Kuusk, V., Tabaka, L., & Jankevičiene, R., Eds., 2003, *Flora of the Baltic Countries. Compendium of Vascular Plants III*, Tartu, Eesti Teaduste Akadeemia.
- Laasimer, L., 1965, *Eesti NSV taimkate*, pp. 1–397, Tallinn, Valgus.
- Laasimer, L., Kuusk, V., Tabaka, L., & Lekavičius, A., Eds., 1993, *Flora of the Baltic Countries. Compendium of Vascular Plants I*, Tartu, Eesti Teaduste Akadeemia, Zooloogia ja Botaanika Instituut.
- Laiviņš, M., 1984, Latvijas PSR ezeru salu baltalkšņu mežu sabiedrības, *Mežsaimniecība un Mežrūpniecība*, 6, 23–27.
- Lalanne, A., 2001, La Cartographie biotopique forestière: principes, méthodes, exemples d'utilisation pour le gestionnaire, *Revue Forestière Française*, 53 (Numéro special), 67–74.
- Lambertin, M., 1999, *Groupements végétaux d'altitude dans le Parc National du Mercantour — Phanérogames et Cryptogames vasculaires des étages subalpin et alpin*, pp. 55–94, Parc National du Mercantour.
- Landucci, F., Acosta, A. T. R., Agrillo, E., Attorre, F., Biondi, E., Cambria, V. E., Chiarucci, A., et al., 2012, VegItaly: The Italian collaborative project for a national vegetation database. *Plant Biosystems — An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 146(4), 756–763.
- Laureti, L., & Capogrossi, R., 2011, La valutazione degli habitat: dal Valore Ecologico alla Fragilità Ambientale. *Seminario 'Carta della Natura della Sardegna'*, Cagliari, Regione Autonoma della Sardegna.
- Lavrenko, E. M., 1950, Основные черты биогеографического районирования СССР и приграничных стран, Main features of phytogeographical regionalisation of the USSR and bordering countries, Проблемы ботаники, *The problems of botany*, Vol. 1, MOSCOW, Изд-во Академии наук Латвийской ССР (Publishing House of the Academy of Sciences of the Latvian SSR).
- Lawesson, J. E., Diekmann, M., Eilertsen, O., Fosaa, A. M., & Heikkilä, H., 1997, The Nordic vegetation survey — concepts and perspectives, *Journal of Vegetation Science*, 8, 455–458.
- Lazare, J.-J., 2009, Phytosociologie dynamico-caténale et gestion de la biodiversité, *Acta botanica gallica*, 156(1), 49–61.
- Le Toan, T., Beaudoin, A., Riom, J., & Guyon, D., 1992, Relating forest biomass to SAR data. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 30(2), 403–411.
- Leguédou, S., Party, J.-P., Dupouey, J.-L., Gauquelin, T., Gégout, J.-C., Lecareux, C., Badeau, V., et al., 2009, Réalisation d'une base de données géographique de la végétation de la France pour la modélisation spatiale des charges critiques et des dépôts atmosphériques. *Communication*, pp. 1–95.
- Leguédou, S., Party, J.-P., Dupouey, J.-L., Gauquelin, T., Gégout, J.-C., Lecareux, C., Badeau, V., et al., 2011, La carte de végétation du CNRS à l'ère du numérique. *Cybergeo: European Journal of Geography [online]*. *Environnement, Nature, Paysage*, document 559. doi:10.4000/cybergeo.24688.
- Leibak, E., & Lutsar, L., 1996, *Estonian coastal and floodplain meadows*, pp. 1–247, Tallinn, Kirjameeste Kirjastus.
- Lengyel, S., Déri, E., Varga, Z., Horváth, R., Tóthmérés, B., Henry, P.-Y., Kobler, A., et al., 2008, Habitat monitoring in Europe: a description of current practices, *Biodiversity and Conservation*, 17(14), 3 327–3 339.
- Leuschner, C., 1997, Das Konzept der potentiellen natürlichen Vegetation, (PNV): Schwachstellen und Entwicklungsperspektiven, *Flora*, 192(4), 379–391.
- Lindgaard, A., & Henriksen, S., Eds., n.d., *Norsk rødliste for naturtyper 2011*, Trondheim, Artsdatabanken.
- Lippmaa, T., 1935, Eesti geobotaanika põhihooni. *Acta Instituti et Horti Botanici Universitatis Tartuensis*, 4(3–4), 1–151.
- Lippmaa, T., 1936, Eesti vegetatsioonikaardi koostamise alused ja senise töö tulemusi, *Eesti Loodus*, 5(2), 59–62.
- Loidi Arregui, J. J., 1994, Phytosociology applied to nature conservation and land management, in Y. Song, H. Dierschke, & X. Wang, Eds., *Applied Vegetation Ecology, Proceedings of the 35th IAVS Symposium*, pp. 17–30, (Shanghai), East China Normal University Press.

- Loidi Arregui, J. J., 1999, Preserving biodiversity in the European Union: the Habitats Directive and its application in Spain, *Plant Biosystems*, 133(2), 99–106.
- Loidi Arregui, J. J., & Báscones, J. C., 1995, *Mapa de Series de Vegetación de Navarra, Memoria y Mapa a escala 1:200.000*, p. 99 + map, Pamplona, Publ. Gobierno de Navarra.
- Loidi Arregui, J. J., Biurrun, I., Campos, J.-A., García-Mijangos, I., & Herrera, M., 2011, *La vegetación de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Leyenda del mapa de series de vegetación a escala 1:50.000*, p. 197, Vitoria-Gasteiz: UPV/EHU.
- Lotz, A., 2006. Alpine Habitat Diversity HABITALP Project Report 2002–2006, HABITALP, p. 12.
- Louette, G., Adriaens, D., Adriaens, P., Anselin, A., Devos, K., Sannen, K., Landuyt, W. Van, et al., 2011, Bridging the gap between the Natura 2000 regional conservation status and local conservation objectives, *Journal for Nature Conservation*, 19(4), 224–235.
- Lucas, R., Medcalf, K. A., Brown, A., Bunting, P., Breyer, J., Clewley, D., Keyworth, S., et al., 2011, Updating the Phase 1 habitat map of Wales, UK, using satellite sensor data, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(1), 81–102.
- Lucas, R., Rowlands, A., Brown, A., Keyworth, S., & Bunting, P., 2007, Rule-based classification of multi-temporal satellite imagery for habitat and agricultural land cover mapping, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 62(3), 165–185.
- Maes, J., Paracchini, M. L., & Zulian, G., 2011, *A European Assessment of the Provision of Ecosystem Services: Towards an Atlas of Ecosystem Services. Report EUR*, Vol. 24750, Luxembourg, Publications Office of the European Union.
- Maes, J., Hauck, J., Paracchini, M. L., Ratamáki, O., Termansen, M., Perez-Soba, M., Kopperoinen, L., et al., 2012, *A spatial assessment of ecosystem services in Europe: methods, case studies and policy analysis — phase 2. Synthesis report, PEER Report*, Vol. 4, Cocquio Trevisago (VA), Ispra, Partnership for European Environmental Research.
- Maes, J., Teller, A., Erhard, M., Liqueste, C., Braat, L., Berry, P., Egoh, B., Puydarrieux, P., Fiorina, C., Santos, F., Paracchini, M. L., Keune, H., Wittmer, H., Hauck, J., Fiala, I., Verburg, P. H., Condé, S., Schägner, J. P., San Miguel, J., Estreguil, C., Ostermann, O., Barredo, J. I., Pereira, H. M., Stott, A., Laporte, V., Meiner, A., Olah, B., Royo, Gelabert, E., Spyropoulou, R., Petersen, J. E., Maguire, C., Zal, N., Achilleos, E., Rubin, A., Ledoux, L., Brown, C., Raes, C., Jacobs, S., Vandewalle, M., Connor, D., Bidoglio, G., 2013, Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services, *An analytical framework for ecosystem assessments under action 5 of the EU biodiversity strategy to 2020*, Publications office of the European Union, Luxembourg.
- Maglocky, Š. & Valachovič, M., Eds., 1996, *Red List of Plant Communities, Pteridophyta & Spermatophyta) of Slovakia* [unpublished first draft].
- Magnusson, S. H., Magnusson, B., Olafsson, E., Guðjonsson, G., Guðmundsson, G. A., Kristinsson, H., Egilsson, K., et al., 2009, *Vistgerðir á miðhálandi Íslands. Flokkun, lýsing og verndargildi. NÍ-09008*, Reykjavík, Icelandic Inst. of Nat. History.
- Markides, L., 1999, *Vegetation map of Cyprus 1:250 000*. Ministry of Agriculture natural Resources and Environment of Republic of Cyprus, A. O. of Land and Water Use Section.
- Martellos, S., Attorre, F., De Felici, S., Cesaroni, D., Sbordoni, V., Blasi, C., & Nimis, P. L., 2011, Plant sciences and the Italian National Biodiversity Network. *Plant Biosystems — An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 145(4), 758–761.
- Matuszkiewicz, W., 2001, *Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. Vademecum geobotanicum*, Vol. 3, p. 573, Warsaw, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Mazagol, P. O., 2006, *Recherche de variables contribuant à l'organisation d'un paysage de moyenne montagne: les cas des Hautes Chaumes du Forez*. Université Jean Monnet, Saint-Etienne.
- McRoberts, R. E., Wendt, D. G., Nelson, M. D., & Hansen, M. H., 2002, Using a land cover classification based on satellite imagery to improve the precision of forest inventory area estimates. *Remote Sensing of Environment*, 81(1), 36–44.
- McVean, D. N. & Ratcliffe, D A, 1962) *Plant Communities of the Scottish Highlands. Monographs of the Nature Conservancy No 1 HMSO*, London.
- Meikar, T. & Viilma, K., 2002, Mõningaid ajalooliste metsakorralduste interpreteerimise võimalusi. *Akadeemilise Metsaseltsi Toimetised 19, Tõid Eesti metsanduse ajaloost 4*, pp. 5–12, Tartu.
- Melman, T. C. P., Sierdsema, H., Teunissen, W. A., Wymenga, E., Bruinzeel, L., & Schotman, A. G. M., 2012, Beleid kerngebieden weidevolgels vergt keuzen, *Landschap*, 29(4), 160–172.
- Meshinev, T., Apostolova, I., Georgiev, V., Dimitrov, V., Petrova, A., & Veen, P., 2005, *Grasslands of Bulgaria. Final report on the National Grasslands*

- Inventory Project — Bulgaria 2001–2004. Institute of Botany BAS & KNNV. София (Sofia), Dragon 2003 LTD. Publishers.*
- Meshinev, T., Apostolova, I., Kachaunova, E., Velchev, V., & Bondev, I. A., 2000, Флора и растителни съобщества, Flora and vegetation) [with a map 1: 25 000], in T. Meshinev & A. Popov, Eds., Високопланинска безлесна зона на Националния парк Централен Балкан. Биологично разнообразие и проблеми на неговото опазване, *High mountain treeless zone of Central Balkan National Park. Biological Diversity and Problems of its Conservation*, pp. 1–350, София (Sofia), БШПОБ (BSBCP), Pensoft.
- Meshinev, T., Velchev, V., Petrova, A., Apostolova, I., & Vasilev, P., 1994, *Flora and vegetation on sand dunes in Sunny Beach resort, with a map 1: 2 000*, София (Sofia), Institute of Botany — Bulgarian Academy of Science.
- Michalet, R., & Pautou, G., 1998, Végétation et sols de montagnes. Diversité, fonctionnement et évolution, *Écologie*, 29(1-2), 1–440.
- Michalko, J., Berta, J., & Magic, D., 1986, *Geobotanická mapa ČSSR. 2. Slovenská socialistická republika. Vegetácia ČSSR*, Vol. 6, Bratislava, Veda.
- Mikolajczak, A., 2011a, *Synopsis phytosociologique des habitats naturels et semi-naturels du territoire d'agrément CBNA. CPO 2008–2010. Axe 2 — Annexe I*, CBNA, Région Rhône-Alpes.
- Mikolajczak, A., 2011b, *Connaissance de la végétation: caractérisation, distribution, évaluation. Axe 2.1. CPO 2008–2010*. CBNA, Région Rhône-Alpes.
- Mikyška, R., Deyl, M., Holub, J., Husová, M., Moravec, J., Neuhäusl, R., & Neuhäuslová-Novotná, Z., 1968, *Geobotanická mapa ČSSR. 1. České země*, Academia, Ed., *Vegétace ČSSR*, Vol. 2, Prague.
- Mitchley, J., & Xofis, P., 2005, Landscape structure and management regime as indicators of calcareous grassland habitat condition and species diversity. *Journal for Nature Conservation*, 13(2–3), 171–183.
- Molnár, Z., Bartha, S., Seregélyes, T., Illyés, E., Botta-Dukát, Z., Tímár, G., Horváth, F., et al., 2007, A grid-based, satellite-image supported, multi-attributed vegetation mapping method, *MÉTA, Folia Geobotanica*, 42(3), 225–247.
- Molnár, Z., Biró, M., Bölöni, J., & Horváth, F., 2008, Distribution of the (semi-) natural habitats in Hungary I. Marshes and grasslands. *Acta Botanica Hungarica*, 50 (Suppl. 5), 59–105.
- Molnár, Z., Bölöni, J., & Horváth, F., 2008, Threatening factors encountered: Actual endangerment of the Hungarian (semi-)natural habitats. *Acta Botanica Hungarica*, 50, 199–217.
- 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.
- Moravec, J., Ed., 1983, *Rostlinná společenstva České republiky a jejich ohrožení. Severočeskou přírodou*, 1st ed., Vol. 4, suppl., p. 110, Litoměřice: Okresní vlastivědné muzeum.
- Moravec, J., Ed., 1995, *Rostlinná společenstva České republiky a jejich ohrožení. Severočeskou přírodou*, 2nd ed., Vol. suppl., Okresní vlastivědné muzeum.
- Moravec, J., 1998, Reconstructed natural versus potential natural vegetation in vegetation mapping: a discussion of concepts. *Applied Vegetation Science*, 1, 173–176.
- Mork, E., & Heiberg, H. H., 1937, Om vegetasjonen i Hirkjølen forsøksområde, *Medd. Nor. Skogforsøksvesen*, 19, 617–668.
- Mowszowicz, J., 1938, Flora i zespoły roślinne „Gór Ponarskich” i ich najbliższych okolic, *Prace Tow. Przyj. Nauk w Wilnie, Wydz. Mat*, 13, 367–411.
- Mücher, C. A., Hennekens, S. M., Bunce, R. G. H., Schaminée, J. H. J., & Schaepman, M. E., 2009, Modelling the spatial distribution of Natura 2000 habitats across Europe, *Landscape and Urban Planning*, 92(2), 148–159.
- Mucina, L., 1997, Conspectus of classes of European vegetation, *Folia Geobotanica et Phytotaxonomica*, 32, 117–172.
- Mucina, L., Grabherr, G., & Ellmauer, T., Eds., 1993, *Die Pflanzengesellschaften Österreichs. Teil I: Anthropogene Vegetation; Teil II: Natürliche waldfreie Vegetation; Teil III: Wälder und Gebüsche*, p. 587+323+353, Jena, Gustav Fischer Verlag.
- Mueller-Dombois, D., & Ellenberg, H., 1974, *Aims and methods of Vegetation Ecology*, pp. 1–580, New York, John Wiley & Sons.
- Miyawaki, A., Ed., 1989. 沖繩・小笠原, okinawa and ogasawara, in: 日本植生誌 [10], *Vegetation of Japan*, Vol. 10, Shibundo, 東京, Tokyo, p. 676.
- Nagendra, H., 2001. Using remote sensing to assess biodiversity, *International Journal of Remote Sensing*, 22, 2 377–2 400.
- Nagendra, H., Lucas, R., Honrado, J. P., Jongman, R. H. G., Tarantino, C., Adamo, M., & Mairota, P., 2012, Remote sensing for conservation monitoring:

- Assessing protected areas, habitat extent, habitat condition, species diversity, and threats, *Ecological Indicators*.
- Namatēva, A., 2012, Mikroainavau telpiskais izvietojums ausgtajos purvos ar vienu un vairākiem kupoliem Austrumlatvijas zemienē, *Latvijas Veģetācija*, 22, 12–138.
- Natkevičaitė–Ivanauskienė, M., 1981, Augalijos žemėlapis, in A. Drobnys, Ed., *Lietuvos TSR atlasas*, pp. 98–99, Москва (Moscow).
- Nelson, E., Mendoza, G., Regetz, J., Polasky, S., Tallis, H., Cameron, D. R., Chan, K. M. A., et al., 2009, Modelling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales, *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(1), 4–11.
- Neuhäusl, R., 1963, Vegetationskarte von Böhmen und Mähren, *Ber. Geobot. Inst. Eidgenöss. Tech. Hochsch. Stift. Rübel, Zürich*, 34, 107–121.
- Noirfalise, A., 1987, *Map of the natural vegetation of the member countries of the European Community and the Council of Europe*, Luxembourg, Office for Official Publications of the European Community.
- Nordhagen, R., 1936, *Versuch einer neuen Einteilung der sub-alpinen Vegetation Norwegens*, Bergen, Årbok 7, Bergen Museum.
- Oberdorfer, E., n.d., *Süddeutsche Pflanzengesellschaften, Gesamtwerk*, Jena, Gustav Fischer Verlag.
- Oldfield, T. E. E., Smith, R. J., Harrop, S. R., & Leader-Williams, N., 2004, A gap analysis of terrestrial protected areas in England and its implications for conservation policy, *Biological Conservation*, 120, 303–447.
- Olsson, H., Eklöf, J., Lindberg, E., Nordkvist, K., Nyström, M., Holmgren, J., Nilsson, M., et al., 2011, Flygburen laserskanning för naturvården, *Kart och Bildteknik*, 1, 6–9.
- Onkelinx, T., & Quataert, P., 2009, *Kwaliteitscontrole van de habitatkaart. Raming van de steekproef-grootte [Internal report]*, Brussels.
- OSPAR., 2003, Criteria for the Identification of Species and Habitats in need of Protection and their Method of Application, The Texel-Faial Criteria, *Meeting of the OSPAR Commission, Bremen 23-27 June 2003. Summary Record OSPAR 03/17/1-E. Annex 5*, pp. 1–13, Bremen.
- Ozenda, P., Ed., 1961, *Méthodes de la cartographie de la végétation*, Paris, CNRS.
- Ozenda, P., Ed., 1980, Mitteilungen der 16. Tagung Vegetationskartierung im Gebirge, Klagenfurt, 10–13 September 1979, *Documents de Cartographie Écologique*, Vol. XXIII, pp. 1–72.
- Ozenda, P., Ed., 1981, Colloque Internat. Cartographie végétation à petite échelle, Grenoble, France, 24–27 septembre 1980, *Documents de Cartographie Écologique*, Vol. XXIV, pp. 1–134.
- Ozenda, P., Ed., 1982, Mitteilungen der 16. Tagung Vegetationskartierung im Gebirge, Klagenfurt, 10–13 September 1979, *Documents de Cartographie Écologique*, Vol. XXV, pp. 89–95.
- Ozenda, P. G., 1964, *Biogéographie Végétale*, Paris, Doin.
- Ozenda, P. G., 1982, *Les végétaux dans la biosphère*, Paris, Doin.
- Ozenda, P. G., 1986, *La cartographie écologique et ses applications*, Paris, Masson.
- Ozenda, P. G., & Lucas, M. J., 1987, Esquisse d'une carte de la végétation potentielle de la France à 1/500 000, *Documents de Cartographie Écologique*, 30, 49–80.
- Ozenda, P. G., Noirfalise, A., Tomaselli, R., & Trautmann, W., 1979, Vegetation map of the Council of Europe Member States, *Nature and Environment Series 16*, pp. 1–97, Strasbourg, Council of Europe, European Committees for the Conservation of Nature and Natural Resources.
- Ozenda, P. G., & 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.
- Ozinga, W. A., & Schaminée, J. H. J., 2004, The development of ecological information systems, a new tool in biological research, in S. G. Pandalai, Ed., *Recent Research Developments in Environmental Biology. Part II*, Vol. 1, pp. 531–551, Kerala, Research Signpost.
- Paal, J., & Leibak, E., 2011, *Estonian mires: inventory of habitats*, p. 73 + 35 maps, Tartu, Regio.
- Paelinckx, D., De Saeger, S., Oosterlynck, P., Demolder, H., Guelinckx, R., Leyssen, A., Van Hove, M., et al., 2009, *Habitatkaart, versie 5.2.: indicatieve situering van de Natura 2000 habitats en de regionaal belangrijke biotopen. Integratie en bewerking van de Biologische Waarderingskaart, versie 2. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek*, Vol. 4, Brussels.
- Påhlsson, L., Ed., 1994, *Vegetationstyper i Norden*, København, TemaNord 665, Nordiska Ministerrådet.

- Pakalne, M., Salmina, L., Dring, J., & Rodwell, J. S., 1997, Red Data List of Latvian Wetland Communities. Report to the UK Darwin initiative, Lancaster, Unit of Vegetation Science, Lancaster University.
- Panfili, E., Pesciaioli, P., & Venanzoni, R., 2004, AnArchive: un software per la gestione di dati d'erbario, floristici e vegetazionali da internet, AnArchive: a software for herbarium, floristic and vegetational data management, *Informatore Botanico Italiano*, 36, 110–112.
- Pawar, S., Koo, M. S., Kelley, C., Ahmed, M. F., Chaudhuri, S., & Sarkar, S., 2007, Conservation assessment and prioritization of areas in Northeast India: Priorities for amphibians and reptiles, *Biological Conservation*, 136(3), 346–361.
- Pearce, J., & Ferrier, S., 2000, An evaluation of alternative algorithms for fitting species distribution models using logistic regression, *Ecological Modelling*, 128(2–3), 127–147.
- Pedrotti, F., 1992, Carta della vegetazione reale d'Italia, 1:1 000 000, *Bollettino Associazione Italiana di Cartografia*, 84–85, 145–147.
- Pedrotti, F., 2004, Cartografia della vegetazione. *Cartografia geobotanica*, pp. 39–79, Bologna, Pitagora Editrice.
- Pedrotti, F., 2013, *Plant and vegetation mapping. Geobotany Studies*, pp. 1–294, Berlin/Heidelberg, Springer Verlag.
- Perrin, P., Martin, J., Barron, S., O'Neill, F., McNutt, K., & Delaney, A., 2008, *National Survey of Native Woodlands*, p. 84.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E., 2006, Maximum entropy modelling of species geographic distributions, *Ecological Modelling*, 190, 231–259.
- Phillips, S. J., & Dudík, M., 2008, Modelling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation, *Ecography*, 31, 161–175.
- Piekrastes biotopu aizsardzība un apsaimniekošana Latvijā, 2007, Biotopu kartēšana, *Life-Nature project 'Piekrastes biotopu aizsardzība un apsaimniekošana Latvijā'*, retrieved 20 February 2013 from <http://piekraste.daba.lv/LV/biotopi>.
- Pignatti, S., 1990, Towards a prodromus of plant communities, *Journal of Vegetation Science*, 6, 143–152.
- Pignatti, S., 1995, Il componente vegetale nel paesaggio, in S. Pignatti, Ed., *Ecologia vegetale*, pp. 469–478, Turin, UTET.
- Poore, MED & McVean, D N, 1957) A new approach to Scottish mountain vegetation, *Journal of Ecology*, 45, 401–439.
- Priedītis, N., 1995, *Plānotā Ķemeru Nacionālā parka mežu veģetācijas karte, M 1: 10 000*, Rīga, Latvijas Dabas fonds.
- Priedītis, N., 1997, Vegetation of wetland forests in Latvia: A synopsis, *Ann.Bot. Fennici*, 34, 91–108.
- Puech, C., Durrieu, S., & Bailly, J.-S., 2012, Airborne LiDAR for natural environments Research and applications in France, *Revue Française De Photogrammétrie Et De Télédétection*, 200, 54–68.
- Pușcaru-Soroceanu, E., Ed., 1963. Pășunile și fînețele din Republica Populară Romîna: studiu geobotanic și agroproductiv. Editura academiei Republicii Populare Romîne, București, p. 458.
- Rašomavičius, V., 2012, EB svarbos natūralių buveinių inventorizavimo vadovas. *Buveinių aprašai, būdingos ir tipinės rūšys, jų atpažinimas. VI. Miškų buveinės*, 9010, 9020–9050.
- Rašomavičius, V., Mierasuskas, P., Veen, P., Tukačiauskas, T., Treinys, R., Kazlauskas, R., & Vinskas, D., 2006, *Grasslands of Lithuania — Final report on National Grassland Inventory 2002–2005. Lithuanian Fund for Nature & KNNV*, pp. 1–56, Vilnius: Lithuanian Fund for Nature, KNNV.
- Raunio, A., Schulman, A., & Kontula, T., Eds., n.d., Suomen luontotyyppien uhanalaisuus, Osat 1& 2, *Suomen ympäristö 8/2008*, Helsinki, Suomen ympäristökeskus.
- Raunkiær, C. C., 1904, Om biologiske Typer, med Hensyn til Planternes Tilpasning til at overleve ugunstige Aarstider, *Botanisk Tidsskrift*, 26, 14.
- Raunkiær, C. C., 1910, Formationsundersøgelse og formationsstatistik, *Botanisk Tidsskrift*, 30 (20–132).
- 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. Livrable n° A.2.3.3 programme CarHAB, MEDDE*, pp. 1–77, Grenoble, IRSTEA, FCBN, CBNA, MEDDE.
- Regelis, K., 1926, Apie Lietuvos lankas, *Kosmos*, 3–4, 179–182.
- Rekdal, Y., & Bryn, A., 2010, Mapping of vegetation in Norway, *Viten*, 1, 93–96.
- Remm, K., 2004, Case-based predictions for species and habitat mapping, *Ecological Modelling*, 177(3–4), 259–281.
- Rennwald, E., Ed., 2000, *Verzeichnis und Rote Liste der Pflanzengesellschaften Deutschlands, mit Datenservice auf CD-ROM, Schriftenreihe für Vegetationskunde*, Vol. Heft 35, pp. 1–800, Bundesamt für Naturschutz, Landwirtschaftsverlag.

- Rey, P., 2009, Histoire de la cartographie de la végétation en France, *Bulletin du Comité français de Cartographie. Le Monde des Cartes*, 199(3), 105–115.
- Ricotta, C., Carranza, M. L., Avena, G., & Blasi, C., 2000, Quantitative comparison of the diversity of landscapes with actual vs. potential natural vegetation, *Applied Vegetation Science*, 3, 157–162.
- Ricotta, C., Carranza, M. L., Avena, G., & Blasi, C., 2002, Are potential natural vegetation maps a meaningful alternative to neutral landscapes models? *Applied Vegetation Science*, 5, 271–275.
- Riecken, U., Finck, P., Raths, U., Schröder, E., & Ssymank, A., 2006, *Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen in Deutschland. Zweite fortgeschriebene Fassung 2006. Naturschutz und Biologische Vielfalt*, Vol. Heft 34, pp. 1–318, Bundesamt für Naturschutz, Landwirtschaftsverlag.
- Riecken, U., Ries, U., & Ssymank, A., 1994, *Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen der Bundesrepublik Deutschland. Schriftenreihe für Vegetationskunde*, Vol. Heft 41, pp. 1–184, Greven, Kilda Verlag.
- Rivas-Martínez, S., 1985, *Biogeografía y vegetación: discurso de Salvador Rivas-Martínez*, pp. 1–103, Madrid.
- Rivas-Martínez, S., 1987, *Memoria del mapa de series de vegetación de España*, p. 270, Madrid, I.C.O.N.A.
- Rivas-Martínez, S., 2005, Notions on dynamic-catenal phytosociology as a basis of landscape science, *Plant Biosystems*, 139(2), 135–144.
- Rivas-Martínez, S., 2007a, Mapa de series, geoseries, y geopermaseries de vegetación de España [Memoria del mapa de vegetación potencial de España] Parte I, *Itinera Geobotanica*, 17, 5–436.
- Rivas-Martínez, S., 2007b, Mapa de series, geoseries, y geopermaseries de vegetación de España [Memoria del mapa de vegetación potencial de España] Parte II, *Itinera Geobotanica*, 18(1–2), 5–800.
- Rocchini, D., 2007, Effects of spatial and spectral resolution in estimating ecosystem α -diversity by satellite imagery, *Remote Sensing of Environment*, 111(4), 423–434.
- Rodwell, J. S., Ed., 1990 — 2000, *British plant communities, Volume 1-5*, Cambridge University Press.
- Rodwell J, 2005, Restoring cultural landscapes using the vegetation map of Europe, pp. 371–379, in U. Bohn; C. Hettwer, & G. Gollub, [Bearb./Ed.] *Anwendung und Auswertung der Karte der natürlichen Vegetation Europas/Application and Analysis of the Map of the Natural Vegetation of Europe*, BfN-Skripten 156, Bundesamt für Naturschutz, Bonn.
- Rodwell, J. S., & Cooch, S., 1998, *A provisional red data Book of British plant communities. Report to World Wide Fund for Nature*, Lancaster, Unit of Vegetation Science, Lancaster University.
- Rodwell, J. S., Janssen, J. A. M., Gubbay, S., & Schaminée, J. H. J., 2013, 'Red List Assessment of European Habitat Types, a Feasibility Study', Unpublished report to DG Environment. Wageningen.
- Rodwell, J. & Paterson, G., 1994, *Creating new native woodlands*, Forestry Commission Bulletin 112, HMSO, London,
- Rodwell, J. S., Pignatti, S., Mucina, L., & Schaminée, J. H. J., 1995, European Vegetation Survey: update on progress, *Journal of Vegetation Science*, 6, 59–762.
- Rodwell, J. S., Pignatti, S., Mucina, L., Schaminée, J. H. J., & Chytrý, M., Eds., 1997, European Vegetation Survey: Case Studies. *Special features in vegetation science 14*, pp. 1–238, Uppsala, Opulus Press.
- Rodwell, J. S., Schaminée, J. H. J., Mucina, L., Pignatti, S., Dring, J., & Moss, D., 1998, The scientific basis of the EUNIS Habitat Classification. *Report to the European Topic Centre on Nature Conservation*, Unit of Vegetation Science, Lancaster University.
- Rodwell, J. S., Schaminée, J. H. J., Mucina, L., Pignatti, S., Dring, J., & Moss, D., 2002, *The diversity of European vegetation. An overview of phytosociological alliances and their relationships to EUNIS habitats*, p. 168, Wageningen, National Reference Centre for Agriculture, Nature and Fisheries.
- Romero-Calcerrada, R., & Luque, S., 2006, Habitat quality assessment using Weights-of-Evidence based GIS modelling: The case of *Picoides tridactylus* as species indicator of the biodiversity value of the Finnish forest, *Ecological Modelling*, 196(1), 62–76.
- Rosati, L., Marignani, M., & Blasi, C., 2008, A gap analysis comparing Natura 2000 vs National protected Area network with potential natural vegetation, *Community Ecology*, 9(2), 147–154.
- Rosenqvist, Å., Milne, A., Lucas, R., Imhoff, M., & Dobson, C., 2003, A review of remote sensing technology in support of the Kyoto Protocol, *Environmental Science & Policy*, 6(5), 441–455.
- Rouse Jr, J. W., Haas, R. H., Deering, D. W., Schell, J. A., & Harlan, J. C., 1974, Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *Proceedings of the Third ERTS Symposium*, pp. 309–317, Washington DC, NASA.
- Rübel, E., 1912, *Vorschläge zur geobotanischen Kartographie. Beiträge zur geobotanischen Landesaufnahme der Schweiz. Heft 1*, pp. 1–14.

- Sabardina, G. S., 1957, Луговая Растительность Латвийской ССР (*Grassland vegetation of the Latvian SSR*, Riga, Изд-во Академии наук Латвийской ССР (Publishing House of the Academy of Sciences of the Latvian SSR).
- Sakss, K. A., 1955, Широколиственные леса Латвийской ССР, *Broadleaved forests of Latvian SSR*, Растительность Латвийской ССР, *The vegetation of the Latvian SSR*, Vol. 1, pp. 141–179, Riga, LPSR Zinātņu akadēmija.
- Salisbury, E. J., 1926, The Geographical Distribution of Plants in Relation to Climatic Factors, *The Geographical Journal*, 67(4), 312–335.
- Sappa, F., & Chiarrer, G., 1949, Carta della vegetazione della Val Sangone, in Saggio sulla vegetazione della Val Sangone, Alpi Cozie, *Giornale Botanico Italiano*, 56(1–2), 106–187.
- Schaminée, J. H. J., & Hennekens, S. M., 2001, TURBOVEG, MEGATAB und SYNBIOSYS: neue Entwicklungen in der Pflanzensoziologie, *Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft*, 13, 27–43.
- Schaminée, J. H. J., & Hennekens, S. M., 2005, SynBioSys Europe — examples from European forest communities, *Botanika Chronika*, 18, 201–210.
- Schaminée, J. H. J., & Hennekens, S. M., 2011, SynBioSys Fynbos — applying eco-informatics in vegetation and landscape management. A century of phytosociology & 20 years of the new spirit in phytosociology. *Book of Abstracts. 20th International Workshop of the European Vegetation Survey*, Rome, 6–9 April 2011, p. 18.
- Schaminée, J. H. J., Hennekens, S. M., & Ozinga, W. A., 2007, Use of the ecological information system SynBioSys for the analysis of large datasets, *Journal of Vegetation Science*, 18(4), 463–470.
- Schaminée, J. H. J., Hennekens, S. M., & Rodwell, J. S., 2009, Vegetation-plot data and databases in Europe: an overview, *Preslia*, 81, 173–185.
- Schaminée, J. H. J., Janssen, J. A. M., Hennekens, S. M., & Ozinga, W. A., 2011, Large vegetation databases and information systems: New instruments for ecological research, nature conservation, and policy making, *Plant Biosystems — An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 145(sup1), 85–90.
- Schaminée, J. H. J., Stortelder, A. H. F., & Weeda, E. J., 1996, *De Vegetatie van Nederland. Deel 3: Plantengemeenschappen van graslanden zomen en droge heiden*, pp. 1–355, Uppsala/Leiden, Opulus.
- Schaminée, J. H. J., Stortelder, A. H. F., & Westhoff, V., 1995, *De Vegetatie van Nederland. Deel 1: Inleiding tot de plantensociologie: grondslagen, methoden en toepassingen*, pp. 1–296, Uppsala/Leiden, Opulus.
- Schaminée, J. H. J., Weeda, E. J., & Westhoff, V., 1995, *De Vegetatie van Nederland. Deel 2: Plantengemeenschappen van wateren, moerassen en natte heiden*, pp. 1–360, Uppsala/Leiden, Opulus.
- Schaminée, J. H. J., Weeda, E. J., & Westhoff, V., 1998, *De Vegetatie van Nederland. Deel 4: Plantengemeenschappen van de kust en van binnenlandse pioniermilieus*, pp. 1–346, Uppsala/Leiden, Opulus.
- Schmithüsen, J., 1948, 'Fliesengefüge der Landschaft' und 'Ökotoip': Vorschläge zur begrifflichen Ordnung und Nomenklatur in der Landschaftsforschung, *Berichte zur Deutschen Landeskunde*, 5, 74–83.
- Schröder, L., 2013, *Karte der natürlichen Vegetation Deutschlands 1:500.000. Textvolume, 3 Bände*, in prep., Bonn, Bundesamt für Naturschutz.
- Schröter, C., Brockmann-Jerosch, M. C., Günthart, A., & Vogler, P., 1908, *Das Pflanzenleben der Alpen: Eine schildering der Hochgebirgsflora*, pp. 1–806, Zürich, A. Raustein.
- Schuster, A., 1994, Regional distribution of breeding birds elaborated by a geographic information system — Possibilities and limitations, in E. J. M. Hagemeyer & T. J. Verstrael, Eds., *Bird numbers, 1992: distribution, monitoring, and ecological aspects: proceedings of the 12th International Conference of IBCC and EOAC Noordwijkerhout, The Netherlands, September 14th–18th, 1992*, pp. 493–501, Noordwijkerhout, Statistics Netherlands, Voorburg/Heerlen & SOVON, Beek-Ubbergen.
- Schwabe, A., 1987, Fluß- und bachbegleitende Pflanzengesellschaften und Vegetationskomplexe im Schwarzwald, *Dissertationes Botanicae*, 102, 368+annex.
- Šeffler, J., Stanová, V., Lasák, R., Galvánek, D., & Vicieníková, A., Eds., 1999, *Mapovanie travinnej vegetácie Slovenska, methodical manual*, 1st ed., Bratislava, DAPHNE.
- Šeffler, J., Stanová, V., Lasák, R., Galvánek, D., & Vicieníková, A., Eds., 2000, *Mapovanie travinnej vegetácie Slovenska, methodical manual*, 2nd ed., Bratislava, DAPHNE.
- Seregélyes, T., Molnár, Z., Csomós, Á., & Bölöni, J., 2008, Regeneration potential of the Hungarian (semi-)natural habitats I. Concepts and basic data of the MÉTA database. *Acta Botanica Hungarica*, 50 (suppl.), 229–248.

- Simonson, W. D., Allen, H. D., & Coomes, D. A., 2013, Remotely sensed indicators of forest conservation status: Case study from a Natura 2000 site in southern Portugal, *Ecological Indicators*, 24(0), 636–647.
- Smith, R. J., 1900a, Botanical survey of Scotland. I. Edinburgh district, *Scottish Geographical Magazine*, 16, 385–416.
- Smith, R. J., 1900b, Botanical survey of Scotland. II. North Perthshire district, *Scottish Geographical Magazine*, 16, 441–467.
- Smith, W. G., 1904, Botanical Survey of Scotland. III. and IV. Forfar and Fife, 1, *Scottish Geographical Magazine*, 20, 617–628.
- Smith, W. G., 1905, Botanical survey of Scotland. III. and IV. Forfar and Fife, 2, *Scottish Geographical Magazine*, 21, 57–83.
- Smith, W. G., Moss, C. E., 1903, Geographical Distribution of Vegetation in Yorkshire. Part I: Leeds and Halifax District, *The Geographical Journal*, Wiley on behalf of The Royal Geographical Society, with the Institute of British Geographers, 21, pp. 375–401.
- Smith, W. G., Munn Rankin, W., 1903, Geographical Distribution of Vegetation in Yorkshire. Part II: Harrogate and Skipton District. *The Geographical Journal*, Wiley on behalf of The Royal Geographical Society, with the Institute of British Geographers, 22, pp. 149–178.
- Soberón, J., & Peterson Townsend, A., 2005, Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*, 2, 1–10.
- Sochava, V. B., 1962, Вопросы картографирования в геоботанике. Принципы и методы геоботанического картографирования, Mapping issues in geobotany. Principles and methods of vegetation mapping, Доклады Академии Наук СССР, *Proceedings of the USSR Academy of Sciences*, 5–27.
- Sochava, V. B., & Isachenko, T. I., Eds., 1976, Материалы XII Международного ботанического конгресса/Бот. ин-т им. В.Л. Комарова, *Proceedings of the XII International Botanical Congress/Bot. Inst. V. L. Komarova*, Геоботаническое картографирование, *Geobotanical Mapping*, pp. 1–100, Ленинград (Leningrad), Наука (Nauka).
- Søgaard, B., Skov, F., Ejrnæs, R., Pihl, S., Fredshavn, J., Nielsen, K. E., Clausen, P., et al., 2007, *Criteria for favourable conservation status in Denmark. Natural habitat types and species covered by the EEC Habitats Directive and birds covered by the EEC Birds Directive. NERI Technical report*, Vol. 647, National Environmental Research Institute, Aarhus University.
- Solomeshch, A., Mirkin, B. M., Ermakov, N., Ishbiridin, A., Golub, V., Saitov, M., Zhuravliova, S., et al., 1997, *Red Data Book of Plant Communities in the former USSR. Report to the UK Darwin initiative*, Unit of Vegetation Science, Lancaster University.
- Somodi, I., Czúcz, B., & Zimmermann, N. E., 2009, Modelling the potential vegetation distribution for assessing impact of land use change on the natural habitats in Hungary [abstract]. *52nd International Symposium of the IAVS: Vegetation processes and human impact in a changing world. 30 May–04 June 2009*, p. 107, Xaniá (Chania), IAVS.
- Souter, N. J., Cunningham, S., Little, S., Wallace, T., McCarthy, B., & Henderson, M., 2010, Evaluation of a visual assessment method for tree condition of eucalypt floodplain forests. *Ecological Management & Restoration*, 11(3), 210–214.
- Spanhove, T., Vanden Borre, J., Delalieux, S., Haest, B., & Paelinckx, D., 2012, Can remote sensing estimate fine-scale quality indicators of natural habitats? *Ecological Indicators*, 18(0), 403–412.
- Ssymank, A., Hauke, U., Rückriem, C., Schröder, E., & Messer, D., 1998, *Das europäische Schutzgebietssystem NATURA 2000 — BfN-Handbuch zur Umsetzung der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie, 92/43/EWG und der Vogelschutz-Richtlinie, 79/409/EWG*, A. Ssymank, U. Hauke, C. Rückriem, & E. Schröder, Eds.) *Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz*, Vol. 58, p. 560, Bundesamt für Naturschutz.
- Ssymank, A., Riecken, U., & Ries, U., 1993, Das Problem des Bezugssystems für eine Rote Liste Biotope — Standard-Biototypenverzeichnis, Betrachtungsebenen, Differenzierungsgrad und Berücksichtigung regionaler Gegebenheiten. *Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz*, Vol. 38, pp. 47–58, Bundesamt für Naturschutz.
- Stanisci, A., Feola, S., & Blasi, C., 2005, Map of vegetation series of Ponza Island, Central Italy, *Lazaroa*, 26, 93–113.
- Stevens, J. P., Blackstock, T. H., Howe, E. A., & Stevens, D. P., 2004, Repeatability of Phase 1 habitat survey, *Journal of environmental management*, 73(1), 53–9.
- Stickler, C. M., & Southworth, J., 2008, Application of multi-scale spatial and spectral analysis for predicting primate occurrence and habitat associations in Kibale National Park, Uganda. *Remote Sensing of Environment*, 112(5), 2170–2186.
- St-Onge, B., 2004, L'altimétrie laser à balayage. *Revue Internationale de Géomatique*, 14(3–4), 531–558.

- Store, R., & Jokimaki, J., 2003, A GIS-based multi-scale approach to habitat suitability modelling. *Ecological Modelling*, 169(1), 1–15., retrieved from file://c:/Documents and Settings/mathilde.redon/Mes documents/THESE/PDFs EndNote/219-A GIS-based multi-scale approach to habitat.pdf.
- Store, R., & Kangas, J., 2001, Integrating spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habitat suitability modelling. *Landscape and Urban Planning*, 55, 79–93.
- Stortelder, A. H. F., Schaminée, J. H. J., & Hommel, P. W. F. M., 1999, *De Vegetatie van Nederland. Deel 5: Plantengemeenschappen van ruigten, struwelen en bossen*, pp. 1–380, Uppsala/Leiden: Opulus.
- Strahler, A. H., Logan, T. L., & Bryant, N. A., 1978, Improving forest cover classification accuracy from Landsat by incorporating topographic information. *International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 12 th, Manila, Philippines, pp. 927–942.
- Suck, R., & Bushart, M., 2010, *Karte der potentiellen natürlichen Vegetation Deutschlands 1:500.000. Legende und 5 Karten (unterschiedliche Bearbeiter)*, R. Suck, M. Bushart, G. von Hofmann, L. Schröder, & U. Bohn, Eds., p. 24, Bonn — Bad Godesberg, Bundesamt für Naturschutz.
- T'Jollyn, F., Bosch, H., Demolder, H., De Saeger, S., Leyssen, A., Thomaes, A., Wouters, J., et al., 2009, Criteria voor de beoordeling van de lokale staat van instandhouding van de Natura 2000-habitattypen, Versie 2.0. *report INBO.R.2009.46*, Brussels, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.
- Tabaka, L. V., 1960, Kurzemes zāļu purvu veģetācija, *Latvijas LPSR veģetācija*, Vol. 3, Riga, LPSR Zinātņu akadēmija.
- Tabaka, L. V., & Birkmane, K. J., 1970, Объяснительная записка к крупномасштабной геоботанической карте Латвийской ССР, *The explanatory notes to the large-scale geobotanical map of Latvian SSR*, Riga, LPSR Zinātņu akadēmija.
- Taffetani, F., Orlandini, S., Zitti, S., 2009, Paesaggio vegetale di un'area pre-appenninica dell'Italia centrale: il Bosco dei Monaci Bianchi nelle Marche, Italia, *Fitosociologia* 46, 27–47.
- Talbot, S. S., & Meades, W. J., 2011, Circumboreal Vegetation Map, CBVM): Mapping the Concept Paper, in CAFF Flora Group, CFG, Ed., *CAFF Strategy Series Report No. 3*, pp. 1–16, Akureyri, CAFF International Secretariat.
- Theurillat, J.-P., 1992, Étude et cartographie du paysage végétal, (Symphytocoenologie) dans la région d'Aletsch, Valais, Suisse, *Beitrage zur geobotanischen Landesaufnahme der Schweiz. Heft 68*, p. 384, Teufen: Flück-Wirth.
- Thuiller, W., 2003, BIOMOD — optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. *Global Change Biology*, 9(10), 1 353–1 362.
- Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R., & Araújo, M. B., 2009, BIOMOD — a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*, 32(3), 369–373.
- Tichý, L., 2002, JUICE, software for vegetation classification. *Journal of Vegetation Science*, 13, 451–453.
- Tomaselli, R., 1973, Carta della vegetazione forestale d'Italia, 1:2 000 000, in *La vegetazione forestale d'Italia. Collana Verde n° 33*, pp. 25–60, Rome, Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste.
- Traxler, A., Minarz, E., Englisch, T., Fink, B., Zechmeister, H., & Essl, F., 2005, *Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Österreichs. Moore, Sümpfe und Quellfluren, Hochgebirgsrasen, Polsterfluren, Rasenfragmente und Schneeböden. Monographien*, Vol. 174, pp. 1–268, Vienna, Umweltbundesamt GmbH.
- Tscharntke, T., Clough, Y., Wanger, T. C., Jackson, L., Motzke, I., Perfecto, I., Vandermeer, J., et al., 2012, Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation*, 151(1), 53–59. doi:10.1016/j.biocon.2012.01.068.
- Tsinzerling, Y. D., 1938, Растительность болот/Растительность СССР, *Vegetation of mires/Vegetation of USSR*, Vol. 1, pp. 355–428, Москва — Ленинград (Moscow — Leningrad): Изд-во Академии наук Латвийской ССР (Publishing House of the Academy of Sciences of the Latvian SSR).
- Turner, W., Spector, S., Gardiner, N., Fladeland, M., Sterling, E., & Steininger, M., 2003, Remote sensing for biodiversity science and conservation, *Trends in Ecology & Evolution*, 18(6), 306–314.
- Tüxen, R., 1937, Die Pflanzengesellschaften Nordwestdeutschlands. *Mitteilungen der floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft in Niedersachsen*, 3, 1–170.
- Tüxen, R., 1956, Die heutige potentielle natürliche Vegetation als Gegenstand der Vegetationskartierung, *Angew. Pflanzensoziol.*, 13, 5–42.
- Tüxen, R., Ed., 1963, *Bericht über das Internationale Symposium für Vegetationskartierung vom 23.–26.3.1959 im Stolzenau/Weser*, Weinheim, Cramer Verlag.

- Tüxen, R., 1978, Assoziationskomplexe, Sigmäten): und ihre praktische Anwendung. *Berichte der Internationalen Symposien der Internationalen Vereinigung für Vegetationskunde. Rinteln, 1977*, Vol. XVIII, p. 536, Vaduz: Cramer Verlag.
- Tüxen, R., 1979, Sigmäten und Geosigmäten, ihre Ordnung und ihre Bedeutung für Wissenschaft, Naturschutz und Planung, *Biogeographica*, 16, 79–92.
- Underwood, E., Ustin, S., & Di Pietro, D., 2003, Mapping nonnative plants using hyperspectral imagery, *Remote Sensing of Environment*, 86(2), 150–161.
- Valachovič, M., Očahel'ová, H., Stanová, V., & Maglocký, Š., 1995, *Rastlinné spoločenstvá Slovenska 1. Pionierska vegetácia*, pp. 1–184, Bratislava, Veda.
- Valachovič, M., & Rodwell, J. S., 1998, The Red Data Book of Rare and Endangered Plant Communities of Slovakia. *Report to the UK Darwin Initiative*. Lancaster, Unit of Vegetation Science, Lancaster University.
- Van der Maarel, E., 1975, The Braun-Blanquet approach in perspective, *Vegetatio*, 30(3), 213–219.
- Van Leeuwen, C. G., n.d., A relation theoretical approach to pattern and process in vegetation. *Wentia*, 15, 25–46.
- Vanden Borre, J., Haest, B., Lang, S., Spanhove, T., Förster, M., & Sifakis, N. I., 2011, Towards a wider uptake of remote sensing in Natura 2000 monitoring: Streamlining remote sensing products with users' needs and expectations. *Proceedings of the 2nd International Conference on Space Technology, 15–17 September 2011*, pp. 1–4, Athens, Braun-Blanquet.
- Vanden Borre, J., Paelinckx, D., Múcher, C. A., Kooistra, L., Haest, B., De Blust, G., & Schmidt, A. M., 2011, Integrating remote sensing in Natura 2000 habitat monitoring: Prospects on the way forward, *Journal for Nature Conservation*, 19(2), 116–125.
- Veen, P., Jefferson, R., De Smidt, J., & Van der Straaten, J., 2009, *Grasslands in Europe of high nature value*, Zeist, KNNV Publishing.
- Veen, P., & Šeffler, J., 1999, Proceedings of Technical Workshop on National Grassland Inventory; Bratislava, Royal Dutch Society for Nature Conservation and DAPHNE, Institute for Applied Ecology, Slovakia.
- Velchev, V., Ganchev, S., Bondev, I. A., & Kochev, H., 1969, Проект за легенда на геоботаническата карта на НР България в М = 1:200 000, Draft symbols for the A 1:200 000 geobotanical map of the People's Republic of Bulgaria, *Mittelungen des Botanischen Instituts*, 19, 77–88.
- Venanzoni, R., Landucci, F., Panfili, E., & Gigante, D., 2012, Toward an Italian national vegetation database: VegItaly., J. Dengler, J. Oldeland, F. Jansen, M. Chytrý, J. Ewald, M. Finckh, F. Glöckler, et al., (Eds.), *Biodiversity & Ecology*, 4, 185–190.
- Verbücheln, G., Börth, M., Hinterlang, D., Hübner, T., Michels, C., Neitzke, A., König, H., et al., 2002, *Anleitung zur Bewertung des Erhaltungszustandes von FFH-Lebensraumtypen*, Recklinghausen, Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten Nordrhein Westfalen.
- Vigo, J., & Carreras, J., 2003, Los hàbitats del proyecto Corine en el àmbito territorial catalán: delimitación y cartografía, *Acta Botanica Barcinonensia*, 49, 401–420.
- Vigo, J., Carreras, J., Carrillo, E., Ferré, A., Font, X., Ninot, J. M., & Soriano, I., 2000, L'application des données phytosociologiques à la cartographie de la végétation, *Colloques Phytosociologiques*, 27, 543–552.
- Vigo, J., Carreras, J., & Ferré, A., Eds., 2005, *Manual dels hàbitats de Catalunya, vol. I, Introducció*, Barcelona, Generalitat de Catalunya, Dept de Medi Ambient i Habitatge.
- Vigo, J., Carreras, J., & Ferré, A., Eds., 2006, *Cartografia dels Hàbitats a Catalunya. Manual d'interpretació*, p. 343, Barcelona, Generalitat de Catalunya, Dept de Medi Ambient i Habitatge.
- Viilma, K., Öövel, J., Tamm, U., Tomson, P., Amos, T., Ostonene, I., Sørensen, P. B., et al., 2001, *Estonian Forest Conservation Area Network. Final Report of the Estonian Forest Conservation Area Network Project*, p. 95 + 306, Tartu.
- Von Humboldt, A., & Bonpland, A., 1807, *Essay on the Geography of Plants*, Reprint 20, p. 274, University of Chicago Press.
- Von Nordheim, H., Anderson, O. N., & Thissen, J., Eds., 1996, *Red Lists of Biotopes, Flora and Fauna of the Trilateral Wadden Sea Area, 1995. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz*, Vol. 47, pp. 1–152, Bonn — Bad Godesberg, Bundesamt für Naturschutz.
- Von Nordheim, H., Boedeker, D., Eds., 1998, Red List of Marine and Coastal Biotopes and Biotope Complexes of the Baltic Sea, Belt Sea and Kattegat — Including a comprehensive description and classification system for all Baltic Marine and Coastal Biotopes. *HELCOM-Baltic Sea Environment Proceedings No. 75*, Helsinki Commission, Baltic Marine Environment Protection Commission.
- Von Post, H., 1851, Om växtgeografiska skildringar. *Bot. Not.*, 1851, 110–124.

- Vos, P., Meelis, E., & Ter Keurs, W. J., 2000, A Framework for the Design of Ecological Monitoring Programs as a Tool for Environmental and Nature Management, *Environmental Monitoring and Assessment*, 61(3), 317–344.
- Vriens, L., Bosch, H., De Knijf, G., De Saeger, S., Oosterlynck, P., Guelinckx, R., Van Hove, M., et al., 2011, De Biologische Waarderingskaart. Biotopen en hun verspreiding in Vlaanderen en het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, *INBO.M.2011.1*, Brussels, Mededelingen van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.
- Weber, H. E., Moravec, J., & Theurillat, J.-P., 2000, International Code of Phytosociological Nomenclature. 3rd edition. *Journal of Vegetation Science*, 739–768.
- Weeda, E. J., Kers, A. S., Van Duuren, L., & Schaminée, J. H. J., 2005, Lijst van zeldzame en bedreigde vegetatietypen in Nederland. *Stratiotes*, 30, 9–47.
- Weiss, A. D., 2001, Topographic position and landforms analysis [poster]. *ESRI International User Conference July 9–13*, San Diego, retrieved from http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc_18x22.pdf
- Wellner, A., 1922, *Sisevete uurimise andmed, I. Eesti hüdrograafia ülevaade*, pp. 1–215, Tallinn, Kaubandus-Tööstusministeeriumi väljaanne.
- Westhoff, V., Hobohm, C., & Schaminée, J. H. J., 1993, Rote Liste der Pflanzengesellschaften des Naturraumes Wattenmeer unter Berücksichtigung der ungefährdeten Vegetationseinheiten, *Tuxenia*, 13, 109–140.
- Westhoff, V., & Van der Maarel, E., 1973, The Braun-Blanquet approach, in R. H. Whittaker, Ed., *Handbook of Vegetation Science. Ordination and classification of communities*, Vol. 5, pp. 617–726, The Hague, Junk.
- Wiser, S. K., Spencer, N., De Cáceres, M., Kleikamp, M., Boyle, B., & Peet, R. K., 2011, Veg-X — an exchange standard for plot-based vegetation data, *Journal of Vegetation Science*, 22(4), 598–609.
- Wood, J., 1996, *The geomorphological characterisation of Digital Elevation Models*, University of Leicester.
- Wouters, J., Onkelinx, T., Bauwens, D., & Quataert, P., 2008, *Ontwerp en evaluatie van meetnetten voor het milieu- en natuurbeleid. Leidraad voor de meetnetontwerper*, Brussels, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.
- Yapp, G., Walker, J., & Thackway, R., 2010, Linking vegetation type and condition to ecosystem goods and services, *Ecological Complexity*, 7(3), 292–301.
- Zerbe, S., 1998, Potential natural vegetation: validity and applicability in landscape planning and nature conservation, *Applied Vegetation Science*, 1, 165–172.
- Zhang, J., 2010, Multi-source remote sensing data fusion: status and trends, *International Journal of Image and Data Fusion*, 1(1), 5–24.
- Žvironaitė, V., 1934, Vyžuono miškas, *Kosmos*, 305–375.
- Эстонский НИИ земледелия и мелиорации, (Estonian Institute of Agriculture and Land Reclamation), 1961, *Торфяной фонд Эстонской ССР (Peats of the Estonian SSR)*, pp. 1–77, Tallinn. Liste des organisations

Liste des organisations

AEE	Agence européenne pour l'environnement
Alterra	Wageningen University & Research centre, Alterra
AOPK ČR	Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky (Agence pour la conservation de la nature de République tchèque)
BfN	Bundesamt für Naturschutz (Agence fédérale allemande pour la conservation de la nature)
BILAS	Botanikos institutas, Floros ir geobotanikos laboratorija (Institut lituanien de botanique, Laboratoire de floristique et de géobotanique)
CBNA	Conservatoire botanique national alpin
CdE	Conseil de l'Europe
CIRBFEP	Sapienza Università di Roma, Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali, Dipartimento di Biologia Vegetale - Centro interuniversitario di ricerca biodiversità fitosociologica ed ecologia del paesaggio (Université La Sapienza de Rome, Faculté des Sciences mathématiques, physique et sciences naturelles, Département de biologie végétale - Centre de recherche interuniversitaire sur la biodiversité phytosociologique et l'écologie du paysage)
CFFA	Conservation de la faune et de la flore arctique
CKFF	Center za kartografijo favne in flore (Centre de cartographie de la faune et de la flore - Slovénie)
CNRS	Centre national de la Recherche scientifique
CTE/DB	Centre thématique européen pour la diversité biologique
DAPHNE	DAPHNE - Institut Aplikovanej Ekológie (DAPHNE - Institut d'écologie appliquée)
DG ENV	Directorate-General for the Environment
EC	European Communities/European Commission
EEC	European Economic Community
Eionet	European Environment Information and Observation Network
EVS	European Vegetation Survey
FAO	Food and Agriculture Organization
FCBN	Fédération des Conservatoires botaniques nationaux
FSC	Forest Stewardship Council
GEOVEG	Universitat de Barcelona, Facultat de Biologia, Dept. de Biologia Vegetal - Grup de Recerca de Geobotànica i Cartografia de la Vegetació (Université de Barcelone, Faculté de biologie, Dept. Biologie végétale - Groupe de recherche de géobotanique et de cartographie de la végétation)
HELCOM	Helsinki Commission
IAVS	International Association for Vegetation Science
IB/BAS (ИБ/БАН)	Българската академия на науките, Институтът по ботаника (Institut botanique, Académie Bulgare des sciences)
ICONA	Instituto para la Conservación de la Naturaleza (Institut pour la conservation de la Nature, Espagne)
IGN	Institut national de l'information géographique et forestière
IMBE	Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie marine et continentale: CNRS-INEE - IRD -Aix Marseille Université - Université d'Avignon - Institut Pytheas, Département Processus fonctionnels et Valorisation de la Biodiversité
INBO	Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (Institut de recherche flamand pour la nature et forêt)

IRSTEA	Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture
ISPRA	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (Institut national italien pour la protection et la recherche environnementale)
ISPRS	International Society for Photogrammetry and Remote Sensing
ISTHME Univ. St Etienne	Université Jean Monnet Saint-Etienne, Département scientifique pédagogique et technologique 6 Sciences Humaines et Humanités (SHS), Unité de recherche Image Société Territoire Homme Mémoire Environnement
JNCC	Joint Nature Conservation Committee
JRC	Joint Research Centre
KNNV	Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging (Société royale néerlandaise d'histoire naturelle)
LDF	Latvijas Dabas Fonds (Fond letton pour la nature)
MEDDE	Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie
MNHN	Muséum national d'Histoire naturelle
MTA ÖBKI	Magyar Tudományos Akadémia, Ökológiai és Botanikai Intézet (Académie hongroise des sciences, Institut d'Ecologie et de botanique)
NHM, Skog og landskap	Naturhistorisk museum, Norsk institutt for skog og landskap (Muséum d'histoire naturel Norvégien, Institut Norvégien pour la forêt et les paysages)
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NÍ	Náttúrufræðistofnun Íslands (Institut islandais d'histoire naturelle)
NRC	National Reference Centres
ONF	Office national des forêts
OSPAR	Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est
PřF MU	Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav botaniky a zoologie (Université de Masaryk, Faculté des sciences, Département de botanique et de zoologie)
SAV	Slovenská Akadémia Vied, Botanický ústav (Académie slovaque des sciences, Institut de botanique)
SBI	Società Botanica Italiana (Société botanique italienne)
SISV	Società Italiana di Scienze della Vegetazione (Société italienne de science de la végétation)
SPN - MNHN	Service du patrimoine naturel - Muséum national d'Histoire naturelle
SPW	Service Public de Wallonie
UBA	Umweltbundesamt (Agence fédérale pour l'environnement, Autriche)
UE	Union européenne
UNICAM	Università di Camerino, Scuola di Scienze Ambientali (ex. Dipartimento di Scienze Ambientali) (Université de Camerino, école des sciences de l'environnement (ex. Département des sciences de l'environnement)
Univ. Perugia	Università degli Studi di Perugia, Facoltà di Agraria, Dip. Biologia Applicata, Sez. Biologia vegetale e Geobotanica (Université de Pérouse, Faculté d'agriculture, Département de biologie appliquée section Biologie végétale et géobotanique)
Univ. Stockholm	Stockholms universitet, Naturvetenskapliga fakulteten - Sektionen för geoch och miljövetenskaper, Institutionen för naturgeografi och kvartärgeologi (Université de Stockholm, Faculté des sciences - Sciences de la terre et de l'environnement, Département de géographie physique et de géologie du quaternaire)
Univ. Turun	Turun yliopisto, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta, Maantieteen ja geologian laitos (University de Turku, Faculté de mathématique et de sciences naturelles, Département de géographie et de géologie)

Univ. W-Greece	Πανεπιστήμιο Δυτικής Ελλάδας, Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων (Université de Grèce occidentale, Département de gestion des ressources naturelles et de l'environnement)
UPV/EHU	Universidad del País Vasco, Departamento de Biología Vegetal y Ecología/Euskal Herriko Unibertsitatea, Landareen Biologia eta Ekologia Sailak (Université du pays basque, Département de biologie végétale et d'écologie)
ZRC SAZU	Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Biološki inštitut Jovana Hadžija (Centre de recherche de l'académie slovène des sciences et des arts, Institute de biologie Jovan Hadži)

Liste des acronymes

3D	Trois dimensions
3G	Troisième génération (de technologie mobile de télécommunications)
AE	Agro-environnemental
AirSAR	Airborne Synthetic Aperture Radar
anArchive	an Archive for Botanical Data
ÁNÉR	Általános Nemzeti Élőhely-osztályozási Rendszer (Système national de classification générale des habitats de Hongrie)
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
AURELHY	Analyse Utilisant le Relief pour l'Hydrométéorologie
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
AVIRIS	Airborne Visible and Infrared Imaging Spectrometer
BioHab	A framework for the coordination of biodiversity and habitats
CarHAB	Cartographie des Habitats
CASI	Compact Airborne Spectrographic Imager
CAVM	Circumpolar Arctic Vegetation Map
CHC50	Cartographie des habitats de Catalogne (1/50 000)
CORINE	Coordination de l'information sur l'environnement
EBONE	European Biodiversity Observation Network (projet de recherche financé par l'UE)
EIE	Evaluation de l'impact environnemental
ETM+	Enhanced Thematic Mapper Plus
ETRS	European Terrestrial Reference System
EUNIS	European Nature Information System
EuroVegChecklist	European Vegetation Checklist
ESIE	Evaluation stratégique des incidences sur l'environnement
EVA	European Vegetation Archive
EVI	Enhanced Vegetation Index
FYR	Former Yugoslav Republic
GEF	Global Environmental Facility
GHC	Global Habitat Classification
GIVD	Global Index of Vegetation-Plot Databases
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
GUID	Global Unified Identifier
HIC	Habitat d'intérêt communautaire
HNV	High Nature Value
HR	High resolution
HyMap	Hyperspectral Mapper
ID	Identifiant
INSPIRE	Infrastructure for Spatial Information in the European Community (EU Directive)
INTERREG	Interregional co-operation EU programme
IRC	Infrarouge couleur
IRS	Indian Remote Sensing satellites

IT	Information technology
LAEA	Lambert Azimuthal Equal Area
LAI	Leaf Area Index
LiDAR	Laser Imaging Detection and Ranging
MAES	Mapping and Assessment of Ecosystem Services
MÉTA	Magyarország Élőhelyeinek Térképi Adatbázisa (base de données et cartographie des habitats de Hongrie)
MIR	Medium Infrared
MNT	Modèle numérique de terrain
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
N2000	Natura 2000
NDVI	Normalized Difference of Vegetation Index
NIR	Near Infrared
NVC	National Vegetation Classification
OGC	Open Geospatial Consortium
ONG	Organisation non-gouvernementale
PAC	Politique agricole commune
PEEN	Pan-European Ecological Network
VPN	Végétation potentielle naturelle
Radar	Radio Detection and Ranging
RDA	République démocratique d'Allemagne
SAR	Synthetic Aperture Radars
SIC	Site d'importance communautaire
SIG	Système d'information géographique
SINP	Système d'information sur la nature et les paysages
SPOT	Satellite pour l'observation de la terre
SQL	Structured Query Language
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SynBioSys	Syntaxonomisch Biologisch Systeem (Système biologique syntaxonomique)
VegItaly	Végétation d'Italie
VHR	Very High Resolution
VIS	Visible
VMC50	Carte de végétation de Catalogne

Annexe 1 Liste des projets

Pays	Titre original du projet	Titre anglais du projet
Albania	Inventarizimi kombëtar i pyjeve të Shqipërisë	Albanian National Forests Inventory
Albania	Karte der Waldstufen in Albanien, 1 : 1.000.000 (Markgraf, F., 1949)	Map of forest stages in Albania - 1 : 1 000 000
Albania	Map of the Natural Vegetation of Europe : Albanien, 1 : 500.000 [manuscript map]	Map of the Natural Vegetation of Europe : Albania - 1 : 500 000 [manuscript map]
Andorra	El mapa d'habitats d'Andorra	Habitat mapping Andorra
Austria	Austrian-wide project to map the Annex I priority habitat types	Austrian-wide project to map the Annex I priority habitat types
Austria	Die natürliche Pflanzendecke Österreichs	The natural vegetation cover in Austria
Austria	Karte der aktuellen Vegetation von Tirol 1:100.000	Map of actual vegetation of Tyrol - 1 : 100 0000
Austria	Mapping of Annex I habitats of the FFH-directive	Mapping of Annex I habitats of the FFH-directive
Belgium	Carte de la végétation de la Belgique 1956-1968	Vegetation map of Belgium (1956-1969)
Belgium	Carte d'évaluation biologique	Biological evaluation maps of Belgium (Wallonia)
Belgium	De Biologische Waarderingskaart versie 1	Biological evaluation maps of Belgium (Flanders) version 1
Belgium	De Biologische Waarderingskaart versie 2	Biological evaluation maps of Belgium (Flanders) version 2
Bulgaria	Mapping and Identification of Conservation Status of Natural Habitats and Species	Mapping and identification of conservation status of natural habitats and species
Bulgaria	The vegetation of Bulgaria. 1/600 000	The vegetation of Bulgaria - 1 : 600 000
Croatia	Karta Šumskih Zajednica Republike Hrvatske	Vegetation Map of Forest Communities of Croatia
Croatia	Kartiranje staništa Republike Hrvatske (2000-2004)	Habitat mapping of Croatia
Croatia	Vegetation map of Yougoslavia (Croatia)	Vegetation map of Yougoslavia (Croatia)
Czech Republic	Aktualizace vrstvy mapování biotopů	Habitat mapping layer update
Czech Republic	Mapování biotopů v České republice	Habitat mapping in the Czech Republic
Czech Republic	PNV: vegetation map of Czech Republic	PNV: vegetation map of Czech Republic
Czech Republic	Reconstructed Natural Vegetation of Czechoslovakia	Reconstructed Natural Vegetation of Czechoslovakia
Europe	Carte de la végétation naturelle de la communauté européenne	Natural Vegetation Map of the European Communities and the Council of Europe (from CORINE) from UNEP/GRID-Geneva
Europe	Carte des végétations naturelles (potentielles) d'Europe	Map of the Natural Vegetation of Europe - 1 : 2 500 000
Finland	Valtakunnallinen harjajensuojelu-ohjelma	National esker protection programme
France	Carte de la végétation de la France du CNRS ('carte Gaussen')	Vegetation map of France ('Gaussen map')
Germany	Biotopkataster Rheinland-Pfalz	Rhineland-Palatinate Biotope cadaster
Germany	Vegetationskarte der Bundesrepublik Deutschland - Potentielle natürliche Vegetation	Vegetation map of the Federal Republic of Germany - Potential natural vegetation
Greece	Identification, description and mapping of habitat types in sites important for nature conservation in Greece	Identification, description and mapping of habitat types in sites important for nature conservation in Greece
Hungary	Actual habitat map of the Duna-Tisza region	Actual habitat map of the Duna-Tisza region
Hungary	MÉTA program	MÉTA program
Hungary	National inventory of semi-natural grassland	National inventory of semi-natural grassland
Hungary	Potential vegetation Zólyomi 1989	Potential vegetation Zólyomi 1989
Hungary	Reconstructed vegetation Zólyomi	Reconstructed vegetation Zólyomi
Italy	Carta della Natura 1:50.000	Nature map of Italy (Habitat mapping) 1 : 50 000

Italy	Carta della vegetazione naturale potenziale d'Italia	Potential natural vegetation map of Italy
Italy	Carta delle Serie di Vegetazione d'Italia	Map of vegetation series of Italy
Italy	Carta delle serie di vegetazione della Sardegna 1 : 350 000	Map of vegetation series of Sardinia - 1 : 350 000
Montenegro	Vegetation map of Yougoslavia (Montenegro)	Vegetation map of Yougoslavia (Montenegro)
Netherlands	Vegetation map of the Netherlands (ecotopes and types of actual and potential natural vegetation)	Vegetation map of the Netherlands (ecotopes and types of actual and potential natural vegetation)
Norway	Vegetasjonskartlegging i Norge	Vegetation Mapping in Norway
Poland	Potencjalna roślinność naturalna Polski	Potential natural vegetation of Poland
Poland	Potential natural vegetation of Poland (Potencjalna roślinność naturalna Polski)	Potential natural vegetation of Poland
Portugal	Map of Natural Potential Vegetation (Vegetation Series) of mainland Portugal	Map of Natural Potential Vegetation (Vegetation Series) of mainland Portugal
Romania	Karta Vegetația României 1 : 2.500.000	Vegetation map of Romania - 1 : 2 500 000
Romania	National inventory of semi-natural grassland	National inventory of semi-natural grassland
Slovakia	National inventory of semi-natural grassland	National inventory of semi-natural grassland
Slovakia	RNV: vegetation map of Czechoslovakia (part: Slovakia)	RNV: vegetation map of Czechoslovakia (part: Slovakia)
Slovenia	Gozdovegetacijska karta Slovenije	Forest vegetation map of Slovenia
Slovenia	Vegetacijska karta gozdnih združb	Vegetation map of forest communities of Slovenia
Slovenia	Vegetation map of Yougoslavia (Slovenia)	Vegetation map of Yougoslavia (Slovenia)
Spain	Atlas y Manual de Interpretación de los Hábitat Españoles	Atlas and Interpretation Manual of Spanish Habitats
Spain	Cartografía de Vegetación y usos del suelo de la CAPV (MV2005)	Vegetation and land use mapping of the Basque country (EUNIS 2005)
Spain	Cartografia dels hàbitats de Catalunya (CHC 50)	Habitat mapping of Catalonia
Spain	Cartografía e inventariación de los tipos de hábitats de la Directiva 92/43/CEE en España	Mapping and inventory of Annex I habitats of the FFH-directive in Spain
Spain	Cartografía Temática Ambiental del Principado de Asturias. Mapa de Vegetación	Environmental Thematic Cartography of Asturia. Vegetation Map
Spain	Hàbitats de la Comunidad Valenciana	Habitats of the Valencian Community
Spain	Mapa de Hábitats de Aragon	Map of Habitats of Aragon
Spain	Mapa de la vegetació potencial de Catalunya 1 : 250 000	Potential vegetation map of Catalonia 1 : 250 000
Spain	Mapa de Series de Vegetación de Navarra 1:200.000 (on line 1:50.000)	Map of the vegetation series of Navarre
Spain	Mapa de series vegetación de la Comunidad Autónoma del País Vasco (series de vegetación a escala 1:50.0000)	Map of the vegetation series of Basque Country
Spain	Mapa de vegetació de Catalunya 1 : 50 000	Vegetation map of Catalonia - 1 : 50 000
Spain	Mapa de Vegetación Potencial de España	Potential vegetation map of Spain
Spain	Mapa de Vegetación Potencial de Navarra 1:25.000	Potential vegetation map of Navarra 1 : 25 000
Sweden	Basinventering av skyddade områden och Natura 2000-områden	Baseline mapping of Natura 2000 areas and other areas under nature protection
Switzerland	Carte de la distribution potentielle des milieux naturels de Suisse	Map the potential distribution of natural habitats in Switzerland

Annexe 2 Questionnaire

Pays	Nombre de classes
Intitulé	Correspondances typologiques (Référentiels)
FILTRE PHYTOSOCIOLOGIE (Phytosociologie ou typologie correspondante)	Cartographie des complexes
Végétation avérée, potentielle ou probable	Remarques
FILTRE SUPERFICIE CARTOGRAPHIE (>10.000 km² ou >50% du territoire national)	Approche sérial
Echelle administrative	Remarques
Superficie du territoire	Documents techniques et méthodologiques
Superficie cartographiée (km²)	Référence
% du territoire cartographié - MIN/MAX.	Document d'interprétation typologique
Etat d'avancement	Référence
Date début de projet	Téledétection : photos aériennes
Date début cartographie	Remarques
Date fin de projet	Téledétection : images satellitaires
Contexte du projet	Images mono - ou multi-dates
Maître d'ouvrage	Modélisation
Pilote / maître d'œuvre	Remarques
Autres pilotes d'action	Fonds de cartes
Type d'opérateurs terrain	Données environnementales
Autres...	Méthode de découpage surfacique des polygones
Partenaires	Zone test
Modalités de gouvernance	Remarques
Harmonisation nationale	Mise à jour
Remarques	Remarques
Echelle de restitution	Phase terrain
Echelle d'acquisition	Relevés floristiques
Surface minimale cartographié	Moyens humains phase terrain
Catégorie d'objets cartographiés	Outils nomades
Typologie	Remarques
Niveau typologique	Formation spécifique

Cartographies existantes
Mobilisables ?
Autres sources mobilisées
SIG
Remarques
Gestionnaire(s) Base de données
Entités géographiques
Volume SI
Saisie des données
Digitalisation des polygones
Remarques
Metadonnées
BD Phytosocio
Remarques
Cartes papier
Nombre de cartes papier
Echelle Cartes papier
Légende
SIG en ligne
Pages web
Niveau de diffusion
Remarques
Publications, rapports
Langue de la publication

Financements européens
Financements nationaux
Financements régionaux
Budget(s)
Remarques
Directive Faune, Flore, Habitat
Listes rouges des végétations
Aménagement du territoire
Gestion des espaces naturels
Protection des espaces (SCAP, KBA...)
Evolutions des habitats
Changements climatiques
Modalités de suivis
Interopérabilité avec d'autres territoires
Partenariats institutions européennes
Partenariats institutions internationales
Autres

Annexe 3 Fiches descriptives de 14 projets sélectionnés

- > Allemagne - Cartographie des biotopes
- > France / Grande-Bretagne - ARCH - Assessing Regional Changes to Habitats
- > Bulgarie - Cartographie et identification des statuts de conservation des habitats naturels et des espèces
- > Espagne - Cartographies des habitats et de la végétation de Catalogne
- > Espagne - Cartographie et inventaire des habitats de l'annexe I de la directive 92/43/EEC en Espagne
- > Espagne - Cartographie des habitats EUNIS et des séries de végétation au Pays basque
- > Finlande - Données de bases sur les types d'habitats naturels dans les aires protégées
- > Grèce - Identification, description et cartographie des habitats dans les sites d'importance communautaire en Grèce (1999-2001)
- > Mise à jour de la description et de la délimitation des habitats terrestres dans
- > les sites d'importance communautaire en Grèce (2013-2015)
- > Hongrie - Programme MÉTA – Base de données et cartographie des habitats de Hongrie
- > Europe centrale et orientale - Inventaire national des prairies
- > Italie - Le système *Carta della Natura*
- > Norvège - Cartographie de la végétation en Norvège
- > République tchèque - Cartographie des biotopes de République tchèque
- > Slovaquie - Carte de la végétation des communautés forestières de Slovaquie

Cartographie des biotopes

Biotopkartierung

Superficie du territoire	Étendue de la carte	Superficie cartographiée	
357 000 km ²	régionale	(inconnue)	
Dates du projet	Depuis les années 1970 – en cours		
Maître d'ouvrage		Pilote /Chef de projet	
les 16 États fédéraux (<i>Bundesländer</i>)		variable	
Échelle (Échelle optimale d'utilisation - de publication)	Harmonisation méthodologique nationale	Mise à jour	
1/5 000 – 1/25 000	<input type="checkbox"/>	oui	
Types d'objets cartographiés	Typologie	Nb. classes typologie ou légende	
habitats naturels et semi-naturels (principalement les habitats protégés)	listes régionales des biotopes	-	
Correspondances typologiques			
N2000 <input checked="" type="checkbox"/>	CORINE Biotopes cela dépend	EUNIS cela dépend	Phytosociologie partiellement
Végétation actuelle	Végétation potentielle		
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Phase de terrain	Types d'opérateurs	Ressources humaines (nb d'opérateurs)	
majoritaire	prestataires / agents	-	
Utilisation d'images satellites	Modélisation des habitats		
<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> (cela dépend)	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> (cela dépend)		
Web SIG	Type de système d'information		
cela dépend	régional		

Description du projet

Dans les années 1970, avec une prise de conscience accrue des menaces et des pressions croissantes sur les écosystèmes et les biotopes, des projets de cartographie des biotopes ont été lancés dans la plupart des États fédéraux allemands (*Bundesländer*). Des programmes et des définitions pour la cartographie des biotopes ont été développés indépendamment dans les 16 *Länder* allemands. Dans la plupart des cas, la cartographie a été concentrée exclusivement sur les biotopes considérés comme menacés, dans d'autres cas, la cartographie a été limitée aux zones protégées. La plupart des *Länder* allemands ont affiné et adapté leurs méthodes et disposent de données complètes sur trois campagnes successives de cartographie. La situation actuelle et la disponibilité des données sont résumées par Kaiser *et al.* (2013). En 1993, une première liste de référence des biotopes d'Allemagne a été publiée (Blab & Riecken, 1993), en 1994 une première édition du livre rouge des types de biotopes allemands a été diffusée (Riecken *et al.*, 1994). Actuellement la deuxième édition (Riecken *et al.*, 2006) est disponible et une troisième édition est prévue pour 2016.

Références et liens web

Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 2004 ; Conze, 2007 ; Kaiser *et al.*, 2013 ; Lung, 2010 ; Riecken *et al.*, 2006 ; Von Drachenfelds, 2011

Kent (G.B)
Nord Pas-de-Calais (FRANCE)

UE 27

AEE 32

ARCH - Assessing Regional Changes to Habitats

Superficie du territoire	Étendue de la carte	Superficie cartographiée
17 000 km ² (4 000 km ² Kent + 13000 km ² NPDC)	régionale	100% des 2 régions
Dates du projet	2009-2012	

Maître d'ouvrage	Pilote /Chef de projet
Kent County Council / Région Nord-Pas de Calais (INTERREG IV A)	Kent County Council

Échelle (Échelle optimale d'utilisation - de publication)	Harmonisation méthodologique nationale	Mise à jour
1/10 000	<input type="checkbox"/>	possible

Types d'objets cartographiés	Typologie	Nb. classes typologie ou légende
habitats naturels et semi-naturels	CORINE biotopes (adaptée du niveau 3)	50

Correspondances typologiques			
N2000 <input checked="" type="checkbox"/>	CORINE biotopes <input checked="" type="checkbox"/>	EUNIS <input type="checkbox"/> (partielle)	Phytosociologie <input type="checkbox"/> (partielle)

Végétation actuelle	Végétation potentielle
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Phase de terrain	Types d'opérateurs	Ressources humaines (nb d'opérateurs)
échantillons	privés	inconnu

Utilisation d'images satellites	Modélisation des habitats
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Web SIG	Type de système d'information
<input type="checkbox"/>	-

Description du projet

ARCH est un projet ambitieux visant à améliorer la connaissance et le suivi des habitats et des espèces clés dans les régions du Kent (Royaume-Uni) et du Nord-Pas de Calais (France) dans le cadre du programme de coopération Interreg IVA Two-seas.

Une base de données vectorielle géoréférencée régionale et transfrontalière sur les habitats naturels a été produite au 1/10 000 ainsi qu'une analyse chronologique de l'évolution des habitats naturels des deux territoires transfrontaliers. La cartographie est élaborée à partir d'interprétation de photographies aériennes et complétée par des inventaires de terrain. Une classification commune a été définie sur la base de CORINE biotopes.

L'un des résultats a été le développement d'un outil de cartographie en ligne dans le Nord-Pas de Calais et d'un logiciel de planification et de détection dans le Kent à destination des aménageurs et des professionnels de l'environnement.

Enfin, ce projet a étudié la possibilité d'élaborer et mettre en œuvre un système de surveillance à long terme des changements concernant la superficie, la qualité et la fragmentation des habitats.

Références et liens web

<http://www.archnature.eu/>

http://www.nordpasdecalais.fr/upload/depotWeb/arch_natural_habitats.html

Cartographie et identification des statuts de conservation des habitats naturels et des espèces

Superficie du territoire	Étendue de la carte	Superficie cartographiée
110 879 km ²	nationale (réseau Natura 2000)	~ 30% du territoire national
Dates du projet	2011 – 2013	

Maître d'ouvrage	Pilote /Chef de projet
ministère de l'environnement et des eaux	Dicon Group Ltd.

Échelle (Échelle optimale d'utilisation - de publication)	Harmonisation méthodologique nationale	Mise à jour
1/5 000	<input checked="" type="checkbox"/>	non prévue

Types d'objets cartographiés	Typologie	Nb. classes typologie ou légende
habitats d'intérêt communautaire	habitat de l'ann. I	90

Correspondances typologiques			
HFF <input checked="" type="checkbox"/>	CORINE biotopes <input type="checkbox"/>	EUNIS <input type="checkbox"/>	Phytosociologie <input type="checkbox"/>

Végétation actuelle	Végétation potentielle
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Phase de terrain	Types d'opérateurs	Ressources humaines (nb d'opérateurs)
secondaire (validation des modèles)	universitaires	~ 80

Utilisation d'images satellites	Modélisation des habitats
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Web SIG	Type de système d'information
<input type="checkbox"/>	-

Description du projet

En Bulgarie, un projet de cartographie des habitats dans les sites Natura 2000 appelé « Cartographie et identification de l'état de conservation des habitats naturels et des espèces - Phase I » est en cours. Il couvre l'ensemble des sites d'importance communautaire (SIC) de Bulgarie - environ 30% du pays. L'objectif global du projet est de cartographier et de caractériser l'état de conservation des habitats et des espèces de la directive Habitats. Le commanditaire du projet est le ministère en charge de l'environnement et des eaux. L'échelle de la cartographie est le 1/5000. La liste des unités de cartographie comprend 86 habitats de l'annexe I. En raison du temps très limité du projet (mars 2011 - mars 2013), le projet ne prévoit pas d'inventaires de terrain détaillés, mais des cartographies de terrain combinées avec la validation de modèles déjà préparés.

Références et liens web

Cartographies des habitats et de la végétation de Catalogne

Cartografia dels hàbitats de Catalunya (CHC50)+Mapa de vegetació de Catalunya (VMC50)

Superficie du territoire	Étendue de la carte	Superficie cartographiée
32 113 km ²	régionale	CHC 50: 100 % du territoire régional, Carte de la végétation ≈ 80 %
Dates du projet	CHC 50: 1998 - 2003 Carte de la végétation : 1983 – en cours	

Maître d'ouvrage	Pilote /Chef de projet
Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya	Universitat de Barcelona (Grup de Recerca de Geobotànica i Cartografia de la Vegetació)

Échelle (Échelle optimale d'utilisation - de publication)	Harmonisation méthodologique nationale	Mise à jour
1/50 000	CHC 50 : <input type="checkbox"/> VMC 50 : <input type="checkbox"/>	CHC 50 : oui VMC 50 : non prévu

Types d'objets cartographiés	Typologie	Nb. classes typologie ou légende
habitats naturels et semi-naturels	CHC 50 : CORINE biotopes VMC 50 : Phytosociologie	CHC 50 : 109 VMC 50 : inconnu

Correspondances typologiques

N2000	CORINE Biotopes	EUNIS	Phytosociologie
CHC 50 : <input checked="" type="checkbox"/> VMC 50 : <input type="checkbox"/>	CHC 50 : <input checked="" type="checkbox"/> VMC 50 : <input type="checkbox"/>	CHC 50 : <input type="checkbox"/> VMC 50 : <input type="checkbox"/>	CHC 50 : <input type="checkbox"/> partiellement VMC 50 : <input checked="" type="checkbox"/>

Végétation actuelle	Végétation potentielle
CHC 50 : <input checked="" type="checkbox"/> VMC 50 : <input checked="" type="checkbox"/>	CHC 50 : <input type="checkbox"/> VMC 50 : <input checked="" type="checkbox"/>

Phase de terrain	Types d'opérateurs	Ressources humaines (nb d'opérateurs)
CHC 50 : <input checked="" type="checkbox"/> VMC 50 : <input checked="" type="checkbox"/>	CHC 50 : universitaires VMC 50 : universitaires	CHC 50 : 180 VMC 50 : 40

Utilisation d'images satellites	Modélisation des habitats
CHC 50 : <input type="checkbox"/> VMC 50 : <input type="checkbox"/>	CHC 50 : <input type="checkbox"/> VMC 50 : <input type="checkbox"/>

Web SIG	Type de système d'information
CHC 50 : <input checked="" type="checkbox"/> VMC 50 : <input checked="" type="checkbox"/>	système d'information régional (CHC 50 + VMC 50)

Description du projet

En 1983, une équipe de recherche de l'université de Barcelone a initié le projet de carte de la végétation de Catalogne (VMC50) avec l'objectif de produire 89 feuilles au 1/50 000 couvrant les 32 000 km² de la région. Ce projet est l'héritage d'un travail important de floristique et de phytosociologie en Catalogne dans la seconde moitié du siècle dernier. Un des principaux avantages est la représentation de la végétation à la fois actuelle et potentielle sur la même carte. Dans les années 1990, la création du réseau Natura 2000 a nécessité une plus grande connaissance environnementale sur les habitats et le gouvernement catalan (*Generalitat de Catalunya*) a financé le projet de cartographie des habitats de Catalogne (CHC50) sur la base de la typologie européenne CORINE biotopes. Les deux projets (VMC50 et CHC50) sont basés sur des méthodes similaires et ont été récemment fusionnés au sein d'un même SIG. Aujourd'hui ce produit est aussi largement utilisé comme un outil d'aménagement du territoire.

Références et liens web

Cartographie et inventaire des habitats de l'annexe I de la directive 92/43/EEC en Espagne

Cartografía e inventariación de los tipos de hábitats de la Directiva 92/43/CEE en España

Superficie du territoire	Étendue de la carte	Superficie cartographiée
505 989 km ²	nationale	≈ 24% du territoire national
Dates du projet	1993 - 1996	

Maître d'ouvrage	Pilote /Chef de projet
Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAAME)	groupe de travail du MAAME

Échelle (Échelle optimale d'utilisation - de publication)	Harmonisation	Échelle (Échelle optimale d'utilisation - de publication)
1/50 000	<input checked="" type="checkbox"/>	-

Types d'objets cartographiés	Typologie	Nb. classes typologie ou légende
habitats d'intérêt communautaire	habitats de l'ann. I + phytosociologie (au niveau de l'association)	1700 sous-types

Correspondances typologiques			
N2000	CORINE Biotopes	EUNIS	Phytosociologie
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Végétation actuelle	Végétation potentielle
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Phase de terrain	Types d'opérateurs	Ressources humaines (nb d'opérateurs)
majoritaire	opérateurs privés / universitaires	250

Utilisation d'images satellites	Modélisation des habitats
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Web SIG	Type de système d'information
<input type="checkbox"/>	national

Description du projet

L'Espagne a été le premier pays en Europe à mener un inventaire national des habitats de l'annexe I afin d'identifier de potentiels sites Natura 2000. Ce projet ambitieux mené par ICONA (Institut espagnol pour la conservation de la nature) et soutenu financièrement par des fonds LIFE de l'UE a impliqué environ 30 instituts et centres de recherche à travers le pays.

En préalable au travail de terrain un manuel d'interprétation des habitats de l'annexe I en Espagne a été préparé par le professeur S. Rivas-Martínez. Le manuel décrit les habitats de l'annexe I présents en Espagne, leurs correspondances avec les classifications phytosociologiques et les unités cartographiables. Entre 1994 et 1996, 1 114 feuilles au 1/50 000 ont été produites. Les feuilles ont été numérisées après la fin du projet, ce qui limite leurs applications à grande échelle en raison d'erreurs topologiques.

Références et liens web

Loidi Arregui, 1999 ; Rivas-Martínez *et al.*, 1993

Cartographie des habitats EUNIS et des séries de végétation au Pays basque

*Cartografía de Vegetación y usos del suelo de la CAPV (MV2005)**Mapa de series vegetación de la CAPV*

Superficie du territoire	Étendue de la carte	Superficie cartographiée
7 235 km ²	régionale	100 % du territoire régional
Dates du projet	MV2005 : 2004 - 2006 Séries de végétation : 2004 - 2006	

Maître d'ouvrage	Pilote /Chef de projet
MV2005 : CAPV Séries de végétation : CAPV	MV2005 : IKT Séries de végétation : UPV/EHU

Échelle (Échelle optimale d'utilisation - de publication)	Harmonisation méthodologique nationale	Mise à jour
MV2005 : 1/10 000 Séries de végétation : 1/50 000	MV2005 : <input type="checkbox"/> Séries de végétation : <input type="checkbox"/>	MV2005 : oui (2007) Séries de végétation : non prévu

Types d'objets cartographiés	Typologie	Nb. classes typologie ou légende
MV2005 : tous les habitats + occupation du sol Séries de végétation : habitats naturels et semi-naturels	MV2005 : EUNIS Séries de végétation : Phytosociologie	MV2005 : 235 Séries de végétation : 24

Correspondances typologiques			
HFF	CORINE Biotopes	EUNIS	Phytosociologie
MV2005 : <input checked="" type="checkbox"/> Séries de végétation : <input type="checkbox"/>	MV2005 : <input type="checkbox"/> Séries de végétation : <input type="checkbox"/>	MV2005 : <input checked="" type="checkbox"/> Séries de végétation : <input type="checkbox"/>	MV2005 : <input checked="" type="checkbox"/> (partiellement) Séries de végétation : <input checked="" type="checkbox"/>

Végétation actuelle	Végétation potentielle
MV2005 : <input checked="" type="checkbox"/> Séries de végétation : <input type="checkbox"/>	MV2005 : <input type="checkbox"/> Séries de végétation : <input checked="" type="checkbox"/>

Phase de terrain	Types d'opérateurs	Ressources humaines (nb d'opérateurs)
MV2005 : majoritaire Séries de végétation : majoritaire	EUNIS : prestataires privés Séries de végétation : universitaires	EUNIS : >20 Séries de végétation : 5

Utilisation d'images satellites	Modélisation des habitats
MV2005 : <input type="checkbox"/> Séries de végétation : <input type="checkbox"/>	MV2005 : <input type="checkbox"/> Séries de végétation : <input type="checkbox"/>

Web SIG	Type de système d'information
MV2005 : <input checked="" type="checkbox"/> Séries de végétation : <input type="checkbox"/>	MV2005 : régional (CAPV) Séries de végétation : Universidad del País Vasco

Description du projet

La cartographie de la végétation et de l'occupation du sol du Pays basque (MV2005) a commencé au début des années 1990, à l'échelle du 1/25 000 avec une typologie spécifique. Une première mise à jour a été faite en 2005 au 1/10 000 et la typologie a été remplacée par EUNIS. La dernière révision a été publiée en 2010.

La cartographie des séries de végétation du Pays basque au 1/50 000 est basée sur une connaissance très détaillée des communautés végétales, la légende qui accompagne la carte est une description fine des paysages végétaux et de leur dynamique.

Données de bases sur les types d'habitats naturels dans les aires protégées

Superficie du territoire	Étendue de la carte	Superficie cartographiée
338 424km ²	nationale (aires protégées)	15% du pays
Dates du projet	2002 – 2007	
Maître d'ouvrage		Pilote /Chef de projet
Metsähallitus		Metsähallitus
Échelle (Échelle optimale d'utilisation - de publication)	Harmonisation méthodologique nationale	Mise à jour
-	<input checked="" type="checkbox"/>	-
Types d'objets cartographiés	Typologie	Nb. classes typologie ou légende
habitats naturels et semi-naturels	types d'habitats naturels et habitats d'intérêt communautaire	-
Correspondances typologiques		
HFF <input checked="" type="checkbox"/>	CORINE biotopes <input type="checkbox"/>	EUNIS <input type="checkbox"/>
		Phytosociologie <input type="checkbox"/>
Végétation actuelle		Végétation potentielle
<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Phase de terrain	Types d'opérateurs	Ressources humaines (nb d'opérateurs)
majoritaire (sud de la Finlande) secondaire (nord de la Finlande)	agence	-
Utilisation d'images satellites		Modélisation des habitats
<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Web SIG		Type de système d'information
<input type="checkbox"/>		système d'information national (Metsähallitus' GIS)

Description du projet

En 2002, un projet de collecte de données récentes sur les types d'habitats naturels dans les aires protégées du pays a été initié sur une période 5 ans. Avant ce programme, il existait un besoin de données standardisées gérées dans un système d'information national et d'informations détaillées sur les types d'habitats naturels. L'inventaire couvre une superficie de 4,9 millions d'hectares (15% du territoire).

Les principaux objectifs sont la gestion des aires protégées et la surveillance des sites d'importance communautaire (réseau Natura 2000). Les données sur les types d'habitats naturels sont également utilisées pour l'évaluation de types d'habitats menacés en Finlande.

Dans le sud de la Finlande, la cartographie des habitats est réalisée sur le terrain tandis que dans le nord du pays les cartographies sont réalisées par télédétection et complétées par des inventaires de terrain dans des secteurs spécifiques.

Références et liens web

<http://www.metsa.fi/sivustot/metsa/en/NaturalHeritage/SpeciesandHabitats/CollectionofDataonHabitats/Sivut/BasicDataonNaturalHabitatTypesinProtectedAreas.aspx>

Identification, description et cartographie des habitats dans les sites d'importance communautaire en Grèce (1999-2001)
Mise à jour de la description et de la délimitation des habitats terrestres dans les sites d'importance communautaire en Grèce (2013-2015)

Superficie du territoire	Étendue de la carte	Superficie cartographiée
131 957 km ²	réseau Natura 2000 – sites d'importance communautaire	15% du territoire national (2.000.000 ha)
Dates du projet	projet 1: 1999 - 2001 projet 2: 2013 – 2015	

Maître d'ouvrage	Pilote /Chef de projet
Ministry of Environment, Regional Planning and Public Works Ministry of Environment, Energy and Climate Change	projet 1 : prestataires privés & universitaires (Athènes, Patras, Thessalonique) avec des coordinateurs scientifiques projet 2 : prestataires privés & universitaires (Ioannina, Thessaloniki) avec des coordinateurs scientifiques

Échelle (Échelle optimale d'utilisation - de publication)	Harmonisation méthodologique nationale	Mise à jour
projet 1 : 1/20 000 projet 1 : 1/5 000	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Types d'objets cartographiés	Typologie	Nb. classes typologie ou légende
habitats naturels et semi-naturels	phytosociologie + Habitat de l'annexe 1 + types d'habitats helléniques	-

Correspondances typologiques			
HFF	CORINE biotopes	EUNIS	Phytosociologie
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Végétation actuelle	Végétation potentielle
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Phase de terrain	Types d'opérateurs	Ressources humaines (nb d'opérateurs)
majoritaire	universitaires	> 80

Utilisation d'images satellites	Modélisation des habitats
projet 1 : <input checked="" type="checkbox"/> (photos aériennes noir et blanc) projet 2 : <input checked="" type="checkbox"/> (ortho-photos couleurs)	<input type="checkbox"/>

Web SIG	Type de système d'information
<input type="checkbox"/>	national (centralisé)

Description du projet

Avec 27% de son territoire compris dans le réseau Natura 2000, la Grèce a l'un des pourcentages les plus élevés des sites d'importance communautaire (SIC) et zones de protection spéciale (ZPS) en Europe. Deux projets importants ont été mis en œuvre afin d'identifier, de décrire et de cartographier tous les types d'habitats de l'annexe I dans 237 (1999-2001) et 242 (2013-2015) SIC terrestres (environ 20 000 km²). Le premier projet (1999-2001) a été principalement conçu à des fins d'inventaire, y compris la caractérisation détaillée et la cartographie des communautés végétales et des types d'habitats de l'annexe I correspondants inclus dans les SIC désignés. Le second projet (2013-2015) a utilisé une méthodologie similaire pour la mise à jour de la description, avec une cartographie plus précise des habitats des SIC, et a été combiné à un objectif de surveillance et d'évaluation de leur état de conservation.

Références et liens web

Programme MÉTA – Base de données et cartographie des habitats de Hongrie

MÉTA Program - Magyarország Élőhelyeinek Térképi Adatbázisa

Superficie du territoire	Étendue de la carte	Superficie cartographiée
93 028 km ²	nationale	> 90% du territoire national
Dates du projet	2003 - 2006	

Maître d'ouvrage	Pilote /Chef de projet
MTA ÖBKI	MTA ÖBKI

Échelle (Échelle optimale d'utilisation - de publication)	Harmonisation méthodologique nationale	Mise à jour
~ 1/200 000 (maille de 35 ha)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Types d'objets cartographiés	Typologie	Nb. classes typologie ou légende
tous les habitats	classification Á-NÉR	86

Correspondances typologiques			
HFF <input checked="" type="checkbox"/>	CORINE biotopes <input checked="" type="checkbox"/>	EUNIS <input checked="" type="checkbox"/>	Phytosociologie <input type="checkbox"/>

Végétation actuelle	Végétation potentielle
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Phase de terrain	Types d'opérateurs	Ressources humaines (nb d'opérateurs)
majoritaire	-	300

Utilisation d'images satellites	Modélisation des habitats
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Web SIG	Type de système d'information
<input checked="" type="checkbox"/>	national (centralisé)

Description du projet

Méta est l'un des plus importants programmes nationaux de cartographie des habitats en Europe. Il s'agit d'une méthode de cartographie de la végétation de terrain selon une approche d'écologie du paysage, basée sur un maillage du territoire associé à des images satellites. L'objectif de la carte est d'évaluer les habitats et les paysages (semi-) naturels de Hongrie à travers des inventaires de la végétation. Les données recueillies sont également utilisées pour prévoir les changements futurs de la végétation et des paysages.

La méthodologie a été conçue pour obtenir les résultats les plus homogènes possibles. L'inventaire est basé sur des grilles hexagonales avec des mailles de 35 hectares. Une classification nationale des habitats a été spécifiquement développée pour la cartographie de terrain avec comme objectif d'être utilisable par un grand nombre d'opérateurs (environ 300).

Références et liens web

Molnár *et al.*, 2007 ; Bölöni *et al.*, 2008 ; Horváth & Polgár, 2008 ; Horváth *et al.*, 2008

<http://www.novenyzetiterkep.hu/magyar/katalogus/node/73>

Inventaire national des prairies

Estonie, Lettonie, Lituanie, Slovaquie, Hongrie, Slovénie, Roumanie, Bulgarie

Superficie du territoire	Étendue de la carte	Superficie cartographiée
de 64 559 km ² (Lettonie) à 23 8391 km ² (Roumanie)	nationale	entre 0,27% (Lettonie) et 16,5% (Slovaquie) du territoire national
Dates du projet	1997 - 2006	

Maître d'ouvrage/Pilote/Chef de projet
Royal Dutch Society for Nature Conservation (KNNV) en collaboration avec des organisations nationales (Fonds pour la nature, instituts, sociétés savantes...)

Échelle (Échelle optimale d'utilisation - de publication)	Harmonisation méthodologique nationale	Mise à jour
1/25 000	<input checked="" type="checkbox"/>	non prévu

Types d'objets cartographiés	Typologie	Nb. classes typologie ou légende
types d'habitats spécifiques (prairies naturelles et semi-naturelles)	phytosociologie (au niveau de l'alliance)	19 - 39

Correspondances typologiques			
N2000	Corine Biotopes	EUNIS	Phytosociologie
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> (certains projets)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Végétation actuelle	Végétation potentielle
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Phase de terrain	Types d'opérateurs	Ressources humaines (nb d'opérateurs)
secondaire	variés	25 - 118

Utilisation d'images satellites	Modélisation des habitats
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Web SIG	Type de système d'information
<input type="checkbox"/>	SIG (entre 2 000 et 16 000 polygones)

Description du projet

Le programme d'inventaire des prairies, mis en œuvre dans huit pays d'Europe centrale et orientale (Estonie, Lettonie, Lituanie, Slovaquie, Hongrie, Slovénie, Roumanie et Bulgarie) a été financé par le gouvernement néerlandais dans le cadre du programme BBI-Matra. Une méthode standardisée a été proposée suite à un workshop européen sur les inventaires nationaux des prairies à Bratislava en 1999. Les sites potentiels ont été sélectionnés par des spécialistes des prairies après l'analyse et le traitement d'images satellites et/ou de photos aériennes. Les unités cartographiques ont été définies selon les méthodes de la phytosociologie. La cartographie sur le terrain et la gestion des SIG ont été organisées par les coordinateurs nationaux.

Le principal résultat du programme a été la préparation de stratégies de gestion et de conservation des prairies à haute valeur naturelle dans le cadre des mesures agri-environnementales de la politique agricole commune de l'UE.

Références et liens web

Demeter & Veen, 2001 ; Estonian Fund for Nature é KNNV, 2001, 2002 ; Kabucis *et al.*, 2003 ; Kaligarić *et al.*, 2003 ; Meshinev *et al.*, 2005 ; Rasomavicius *et al.*, 2006 ; Sârbu *et al.* 2004 ; Šeffler & Veen, 1999 ; Šeffler *et al.*, Veen 2007

Inventaire national des prairies

Estonie, Lettonie, Lituanie, Slovaquie, Hongrie, Slovénie, Roumanie, Bulgarie

Superficie du territoire	Étendue de la carte	Superficie cartographiée
de 64 559 km ² (Lettonie) à 23 8391 km ² (Roumanie)	nationale	entre 0,27% (Lettonie) et 16,5% (Slovaquie) du territoire national
Dates du projet		1997 - 2006

Maître d'ouvrage/Pilote/Chef de projet
Royal Dutch Society for Nature Conservation (KNNV) en collaboration avec des organisations nationales (Fonds pour la nature, instituts, sociétés savantes...)

Échelle (Échelle optimale d'utilisation - de publication)	Harmonisation méthodologique nationale	Mise à jour
1/25 000	<input checked="" type="checkbox"/>	non prévu

Types d'objets cartographiés	Typologie	Nb. classes typologie ou légende
types d'habitats spécifiques (prairies naturelles et semi-naturelles)	phytosociologie (au niveau de l'alliance)	19 - 39

Correspondances typologiques			
N2000	Corine Biotopes	EUNIS	Phytosociologie
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> (certains projets)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Végétation actuelle	Végétation potentielle
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Phase de terrain	Types d'opérateurs	Ressources humaines (nb d'opérateurs)
secondaire	variés	25 - 118

Utilisation d'images satellites	Modélisation des habitats
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Web SIG	Type de système d'information
<input type="checkbox"/>	SIG (entre 2 000 et 16 000 polygones)

Description du projet

Le programme d'inventaire des prairies, mis en œuvre dans huit pays d'Europe centrale et orientale (Estonie, Lettonie, Lituanie, Slovaquie, Hongrie, Slovénie, Roumanie et Bulgarie) a été financé par le gouvernement néerlandais dans le cadre du programme BBI-Matra. Une méthode standardisée a été proposée suite à un workshop européen sur les inventaires nationaux des prairies à Bratislava en 1999. Les sites potentiels ont été sélectionnés par des spécialistes des prairies après l'analyse et le traitement d'images satellites et/ou de photos aériennes. Les unités cartographiques ont été définies selon les méthodes de la phytosociologie. La cartographie sur le terrain et la gestion des SIG ont été organisées par les coordinateurs nationaux.

Le principal résultat du programme a été la préparation de stratégies de gestion et de conservation des prairies à haute valeur naturelle dans le cadre des mesures agri-environnementales de la politique agricole commune de l'UE.

Références et liens web

Demeter & Veen, 2001 ; Estonian Fund for Nature é KNNV, 2001, 2002 ; Kabucis *et al.*, 2003 ; Kaligarić *et al.*, 2003 ; Meshinev *et al.*, 2005 ; Rasomavicius *et al.*, 2006 ; Sârbu *et al.* 2004 ; Šeffler & Veen, 1999 ; Šeffler *et al.*, Veen 2007

Le système "Carta della Natura"

Superficie du territoire	Étendue de la carte	Superficie cartographiée
301 336 km ²	nationale	échelle 1/10 000 : ± 0,003% du territoire national échelle 1/50 000 : ± 46,4% du territoire national échelle 1/250 000 : 100% du territoire national
Dates du projet	échelle 1/10 000 : 2009 – en cours échelle 1/50 000 : 2005 – en cours échelle 1/250 000 : 1991 –2003	

Maître d'ouvrage	Pilote /Chef de projet
Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del Mare	ISPRA

Échelle (Échelle optimale d'utilisation - de publication)	Harmonisation méthodologique nationale	Mise à jour
approche multi-scalaire : 1/10 000, 1/50 000 et 1/250 000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Types d'objets cartographiés	Typologie	Nb. classes typologie ou légende
tous types d'habitats	échelle 1/10 000 et 1/50 000: CORINE Biotopes (transition vers EUNIS en cours) échelle 1/250 000 : unités paysagères	échelle 1/10 000 et 1/50 000 : 230 échelle 1/250 000 : 37

Correspondances typologiques		
N2000	CORINE Biotopes	EUNIS
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Végétation actuelle	Végétation potentielle
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Phase de terrain	Types d'opérateurs	Ressources humaines (nb d'opérateurs)
échelles 1/10 000 et 1/50 000 : majoritaire échelle 1/250 000 : secondaire	prestataires privés et universitaires	> 50

Utilisation d'images satellites	Modélisation des habitats
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Web SIG	Type de système d'information
<input checked="" type="checkbox"/>	centralisé, avec une répartition régionale des données

Description du projet

Le système *Carta della Natura* a été développé afin d'être en conformité avec la loi-cadre italienne sur les aires protégées dans le but d'identifier l'état de l'environnement naturel et d'évaluer sa qualité et sa fragilité.

Le système a été développé à trois échelles différentes (1/10 000, 1/50 000 et 1/250 000) et organisé en deux phases principales : la cartographie d'unités territoriales homogènes du point de vue environnemental et le développement de modèles et de procédures qui permettent la production de cartes thématiques et d'indicateurs de la qualité de l'environnement.

Références et liens web

Amadei *et al.*, 2003, 2004 ; Angelini *et al.*, 2009a, b ; Augello & Bianco, 2008 ; Bagnaia *et al.*, 2009 ; Feoli, 2008

Cartographie de la végétation en Norvège

Vegetasjonskartlegging i Norge

Superficie du territoire	Étendue de la carte	Superficie cartographiée
386 204 km ²	nationale	9,35% du territoire national (30 305 km ²)
Dates du projet	1979- en cours	

Maître d'ouvrage	Pilote /Chef de projet
Norwegian Forest and Landscape Institute (NIJOS)	Norwegian Forest and Landscape Institute

Échelle (Échelle optimale d'utilisation - de publication)	Harmonisation méthodologique nationale	Mise à jour
1/25 000	<input checked="" type="checkbox"/>	-

Types d'objets cartographiés	Typologie	Nb. classes typologie ou légende
habitats naturels et semi-naturels	Rekdal, Y. & Larsson, J.Y. (2005)	54

Correspondances typologiques			
N2000 <input type="checkbox"/>	CORINE Biotopes <input type="checkbox"/>	EUNIS <input type="checkbox"/>	Phytosociologie <input checked="" type="checkbox"/>

Végétation actuelle	Végétation potentielle
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Phase de terrain	Types d'opérateurs	Ressources humaines (nb d'opérateurs)
majoritaire	personnel de l'agence	7

Utilisation d'images satellites	Modélisation des habitats
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Web SIG	Type de système d'information
<input checked="" type="checkbox"/>	-

Description du projet

En Norvège, dans les 30 dernières années, la plupart des activités de cartographie des habitats ont été entreprises par l'Institut norvégien pour la forêt et les paysages (NIJOS). Un système opérationnel de cartographie de terrain a été développé dans les années 1980 et amélioré en 2005. Il contient 54 types de végétation principalement basés sur la physiologie, c'est-à-dire les espèces ou groupes d'espèces dominantes, secondairement par des espèces caractéristiques. Il est conçu pour être utilisé à des échelles entre le 1/20 000 et le 1/50 000. Chaque année, environ 500 km² sont cartographiés en utilisant ce système de cartographie.

L'autre classification de la végétation à l'échelle nationale disponible en Norvège, Fremstad (1997), est plus détaillée et adaptée à la cartographie à des échelles comprises entre le 1/5 000 et le 1/20 000. Toutefois, comme il nécessite plus de temps (la productivité a été estimée à 0,5-1 km² par jour), il n'a pas été utilisé pour cartographier de vastes territoires. Les unités de ce système détaillé peuvent être agrégées au sein d'unités du système national de cartographie.

Références et liens web

Rekdal & Larsson, 2005 ; Rekdal & Bryn, 2003 ; Fremstad, 1997

<http://kilden.skogoglandskap.no/map/kilden/index.jsp>

Cartographie des biotopes de République tchèque

Mapování biotopů v České republice

Superficie du territoire	Étendue de la carte	Superficie cartographiée
78 865 km ²	nationale	100 % du territoire national
Dates du projet	1 ^{re} version de la carte : 2000 – 2004 Mise à jour : 2006 – en cours	

Maître d'ouvrage	Pilote /Chef de projet
Nature Conservation Agency of the Czech Republic	Nature Conservation Agency of the Czech Republic

Échelle (Échelle optimale d'utilisation - de publication)	Harmonisation méthodologique nationale	Mise à jour
1/10 000	<input checked="" type="checkbox"/>	oui

Types d'objets cartographiés	Typologie	Nb. classes typologie ou légende
habitats naturels et semi-naturels	Czech biotopes (Chytrý <i>et al.</i> 2010)	177

Correspondances typologiques			
HFF <input checked="" type="checkbox"/>	CORINE Biotopes <input checked="" type="checkbox"/>	EUNIS <input checked="" type="checkbox"/>	Phytosociologie <input checked="" type="checkbox"/>

Végétation actuelle	Végétation potentielle
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Phase de terrain	Types d'opérateurs	Ressources humaines (nb d'opérateurs)
majoritaire	prestataires privés (+ personnel de l'agence)	1 ^{re} version de la carte : 770 opérateurs Mise à jour : 250 opérateurs

Utilisation d'images satellites	Modélisation des habitats
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Web SIG	Type de système d'information
<input checked="" type="checkbox"/>	centralisé au niveau national

Description du projet

La cartographie des habitats de République tchèque est l'un des plus importants programmes de cartographie des habitats en Europe. Il couvre l'ensemble du territoire national (79 000 km²) à grande échelle (1/10 000). Son premier objectif était d'aider à établir le réseau Natura 2000 en République tchèque. Il est maintenant largement utilisé pour différentes activités de l'Agence de la conservation de la nature et de ses partenaires, notamment : le Livre rouge des biotopes de République tchèque, les évaluations d'impact environnemental, l'élaboration des politiques environnementales et des projets universitaires. La cartographie et la méthodologie associée sont régulièrement améliorées et mises à jour.

Références et liens web

Chytrý *et al.*, 2001, 2010 ; Härtel *et al.*, 2009

http://portal.nature.cz/publik_syst/ctihtmlpage.php?what=1035

Carte de la végétation des communautés forestières de Slovénie

Vegetacijska karta gozdnih združb

Superficie du territoire	Étendue de la carte	Superficie cartographiée
20 273 km ²	nationale	57% du pays
Dates du projet	1962 - 2008	

Maître d'ouvrage	Pilote /Chef de projet
Biološki inštitut Jovana Hadžija (ZRC SAZU)	Biološki inštitut Jovana Hadžija (ZRC SAZU)

Échelle (Échelle optimale d'utilisation - de publication)	Harmonisation méthodologique nationale	Mise à jour
1/50 000 – 1/400 000	<input checked="" type="checkbox"/>	non prévu

Types d'objets cartographiés	Typologie	Nb. classes typologie ou légende
communautés forestières	phytosociologie (niveau association)	61

Correspondances typologiques			
HFF <input checked="" type="checkbox"/>	CORINE Biotopes <input checked="" type="checkbox"/>	EUNIS <input type="checkbox"/> possible	Phytosociologie <input checked="" type="checkbox"/>

Végétation actuelle	Végétation potentielle
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Phase de terrain	Types d'opérateurs	Ressources humaines (nb d'opérateurs)
pas de cartographie de terrain (synthèses de cartes existantes et de relevés de végétations)	personnel de l'institut	-

Utilisation d'images satellites	Modélisation des habitats
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Web SIG	Type de système d'information
<input checked="" type="checkbox"/>	national (ZRC SAZU)

Description du projet

Les forêts couvrent plus de la moitié du territoire slovènes et elles ont été bien étudiées au cours du siècle dernier. Cette publication est une synthèse du projet de carte de la végétation de la Yougoslavie lancé dans les années 1960 et d'autres inventaires de la végétation forestière. Les relevés de végétation ont été utilisés pour caractériser les associations végétales comme unités cartographiques de base. Les associations sont définies selon les espèces caractéristiques et différentielles et elles représentent une réponse parfaitement reconnaissable à des facteurs abiotiques et biotiques. La carte de la végétation par le centre de recherche scientifique SAZU est une généralisation de ces unités sur des surfaces homogènes. Il est publié comme une carte interactive à l'échelle du 1/400 000, mais la plupart des feuilles sont disponibles au 1/50 000.

Références et liens web

Marinček *et al.*, 2002

<http://www.metsa.fi/sivustot/metsa/en/NaturalHeritage/SpeciesandHabitats/CollectionofDataonHabitats/Sivut/BasicDataonNaturalHabitatTypesinProtectedAreas.aspx>

Annexe 4 : Synthèse des approches les plus communément utilisées pour la cartographie et la modélisation de la distribution des espèces et des habitats

Concept	Technique de modélisation	Nom du modèle	Logiciel ou application spécifique	Types de données d'observation	Références clés
Maximum d'entropie	Entropie de Shannon	Maxent	Maxent	P	Phillips <i>et al.</i> , 2006
Techniques d'ordination	Indice de distance géométrique moyenne	Ecological Niche Factor Analysis (ENFA)	Biomapper	P	Hirzel <i>et al.</i> , 2002
	Analyses multivariées : ordination comme méthode exploratoire (par exemple ACP, AC, ADC, CCA, RDA)	/	Non (mais : R1; CANOCO2)	P/A	ter Braak, 1986, 1987
Enveloppe environnementale	Réseaux de neurones	SPECIES	Stuttgart Neural Network Simulator (SNNS)	P/A	Pearson <i>et al.</i> , 2002
	Arbres de classification et de régression (CART)	BIOCLIM (+ adaptations: HABITAT; SRE)	BIOCLIM	P, P/A	Busby 1991, Nix 1986; Walker & Cocks, 1991
	Indices de similarités multivariés	DOMAIN	Domain	P, P/A	Carpenter <i>et al.</i> , 1993
	Distance de Mahalanobis	Correlation invariante d'échelle	Non (mais : ArcView, MATLAB)	P	Farber & Kadmon, 2003 ; Shao & Halpin, 1995
Régression	Modèles linéaires / additifs généralisés Combinaison d'arbres de classification et de régression et boosting*	GLMs / GAMs et adaptations: Multivariate adaptive regression splines (MARS)	Non (mais: R1)	P/A	Guisan <i>et al.</i> , 2002, Pearce & Ferrier, 2000 ; Friedman 1991

Algorithme génétique	Algorithme génétique	GARP Genetic Algorithm for Rule-set Production	GARP Modelling System / Desktop GARP	P/A P, P/A, Ab	Guisan <i>et al.</i> , 2002, Pearce & Ferrier, 2000 ; Friedman 1991 Stockwell & Noble, 1991
Théorème de Bayes	Statistiques bayésiennes	/	Non (mais : ArcView, WofE)	P/classes	Bonham-Carter <i>et al.</i> , 1989; Aspinall, 1992
Géostatistiques Techniques de classifications (decision rules)	Krigeage	/	Non (mais : MATLAB DACE toolbox; ArcGIS Geostats, R1)	P, P/A	

*boosting = méthode combinant plusieurs modèles simples pour améliorer l'efficacité des prédictions.

1 = équipe de développement de R (2012)

2 = ter Braak & Smilauer, 1998

Note :

Logiciels : les exemples en parenthèses correspondent aux types génériques des logiciels existants

Types de données : P = présence, P/A = présence/absence, Ab = abondance

**MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE
NATURELLE**

Service du Patrimoine Naturel

36 rue Geoffroy Saint-Hilaire
CP 41 - 75231 Paris Cedex 05

+33 (0)1 71 21 46 35
webspn@mnhn.fr
spn.mnhn.fr

European Environment Agency



MUSÉUM
NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE