

Techniques d'interprétation des relevés de végétation forestière: entre rigueur et pragmatisme

Raymond Delarze
François Clot

Bureau d'études biologiques R. Delarze (CH)*
Bureau Clot-Plumettaz (CH)

Techniques for interpreting forest vegetation surveys: between stringency and pragmatism

In order to interpret the 12,000 vegetation survey samples taken in the forests of Canton Vaud, half of which were placed in a systematic grid, it was necessary to develop a complex dichotomous key. This obliged the phytosociologist to specify the criteria identifying each plant community. The most recent version of the automatic dichotomous key provided satisfying results in 90% of all cases, though an expert appraisal can not be entirely dispensed with. A certain need for further improvements on the key was identified.

Keywords: forest vegetation survey, phytosociology, Vaud, Switzerland
doi: 10.3188/szf.2009.s0007

* Chemin des Artisans 6, CH-1860 Aigle, courriel delarze.raymond@bluewin.ch

Un des buts principaux de l'interprétation de relevés de végétation est d'effectuer un classement en fonction des parentés floristiques et des affinités écologiques. Or la banque de données floristiques du canton de Vaud, riche de 12 000 relevés, dont près de la moitié disposée systématiquement sur une grille d'inventaire d'un point tous les 400 m (Hartmann et al 2009, ce numéro), présente plusieurs particularités qui ont influencé le choix des modes d'analyse et d'interprétation.

Une première difficulté est liée au nombre de relevés à classer. Un examen approfondi de chacun des 12 000 relevés enregistrés paraissait difficilement concevable sans recourir à des méthodes de tri automatique. Une qualité égale aurait de toute façon été difficile à garantir du début à la fin d'un traitement plus fin des données, nécessairement étalé sur plusieurs années.

Une seconde difficulté résulte de l'échantillonnage systématique, qui ne fait aucun cas de l'hétérogénéité et de la typicité des stations relevées. Ceci a pour conséquence que beaucoup de relevés ne correspondent pas à des cas bien typés, mais souvent à des situations de transition, à des milieux hétérogènes ou perturbés, situations bien réelles sur le terrain mais réfractaires à la classification. Considéré sous un autre angle, l'échantillonnage systématique possède toutefois l'immense avantage de pouvoir traiter des données objectives sur la répartition de

chaque espèce, avec la possibilité d'analyses multiples statistiquement correctes.

La méthode choisie devait être suffisamment robuste et souple pour tirer le meilleur parti des données disponibles, d'une part pour asseoir la typologie régionale, d'autre part pour attribuer le plus grand nombre possible de relevés à cette typologie.

C'est cette préoccupation qui a guidé des choix méthodologiques portant successivement sur:

- le choix du système de référence,
- la définition des critères de tri,
- le mode de classement et d'attribution aux syntaxons.

Choix du système de référence

Comme toute formation végétale, la forêt est le résultat de l'interaction de nombreux facteurs écologiques dont l'intensité varie progressivement, et de manière souvent non corrélée, d'un point à l'autre du territoire. Ceci a pour conséquence que la composition floristique du tapis forestier varie de façon continue le long de gradients écologiques, offrant un très grand nombre de combinaisons possibles selon les paramètres locaux (figure 1). Dans ce contexte, les seuls points de repère qui s'imposent naturellement sont les «pôles», c'est-à-dire les situations où un facteur écologique prend une valeur extrême (mi-



Fig. 1 L'interprétation des relevés de végétation: une affaire de classement des espèces en fonction des parentés floristiques et des affinités écologiques.

lieu très sec, très acide, etc.). Mais que faire de la majorité des cas affectant des valeurs moyennes? La nécessité de disposer de jalons intermédiaires est rapidement devenue évidente, même si la position de ces derniers sur des gradients écologiques continus relève forcément de la convention.

Après quelques tâtonnements, il est apparu qu'une typologie ancrée dans le système phytosociologique serait un gage de fiabilité pour l'interprétation écologique des groupements et pour la comparaison avec les travaux menés dans d'autres cantons. Il a donc été décidé d'adopter ce référentiel en se basant sur des syntaxons reconnus. Ce faisant, on renonçait à décrire un système entièrement nouveau. Il s'agissait plutôt de rattacher les données vaudaises à un système existant, sans perdre toutefois la possibilité de souligner certains éléments originaux (figure 4).

Ainsi, les méthodes de tri utilisées s'appuient toutes sur un cadre de référence phytosociologique.

Dans la méthode dite «manuelle», le système de référence fait partie intégrante du bagage du botaniste effectuant la «taxation d'expert» des relevés. Dans la méthode de clé automatique, un programme de tri dichotomique simulant une classification hiérarchique aboutit forcément à l'un des syntaxons inclus dans la clé. Enfin, la méthode d'attribution automatique sélectionne, parmi une série prédéfinie de syntaxons, celui dont la ressemblance floristique avec le relevé à taxer est la plus forte.

Cette apparente simplicité ne doit toutefois pas occulter le fait qu'un tel système de référence est mis en place de manière itérative. Même si le cadre général a été admis dès le départ, de nombreux ajustements se sont déroulés au fur et à mesure que les analyses progressaient. Ces retouches ont porté non seulement sur la définition des critères, mais aussi sur celle des unités fines: choix des relevés de référence et des limites des syntaxons, systématisation de la logique de classement basée sur la hiérarchisation des facteurs écologiques.

La nécessité d'interpréter des milliers de relevés distribués dans toute la gamme des situations écologiques rencontrées dans le canton de Vaud a naturellement mené à ajuster la typologie de manière à ce qu'elle corresponde à une partition cohérente et complète de cet espace.

Critères de tri des relevés

Dans la plupart des typologies forestières récentes (Rameau 1994, Ott et al 1997, Burnand et al 1998), la définition des unités ne repose plus seulement sur la flore (espèces caractéristiques, différentielles, etc.), mais sur une combinaison de critères floristiques et écologiques (climat, sol) observables directement sur le terrain. La détermination du groupement peut donc s'avérer délicate si certaines données écologiques font défaut.

Dans les relevés de la banque de données floristiques du canton de Vaud (figure 2), les informations floristiques sont complètes (liste des espèces avec recouvrement) mais les informations écologiques ne concernent qu'un nombre limité de paramètres (altitude, exposition, pente, topographie, lithologie); les données pédologiques manquent, notamment les indications sur la présence de calcaire ou les signes d'hydromorphie, critères souvent utilisés pour identifier une station forestière sur le terrain.

Le travail d'analyse a dû par conséquent être adapté aux informations disponibles. Il se base essentiellement sur les données floristiques, avec l'appoint de quelques paramètres écologiques qui se sont avérés utilisables (altitude, pente, lithologie). Il s'écarte ainsi de la démarche habituellement suivie sur le terrain et présente quelques complications rendues né-

Atlas des relevés V 2.5 29.5.07		Auteur du relevé : SM						
*****		Relevé contrôlé (O/N) : O						
Modifié: 16.09.1994		Statut relevé (1/0) : 1						
CN: 1183	Feuille: C	N° : 38						
X : 544450	Y : 190800	Code : 910267						
Territ.: 110	Région: Le Jura	Saisie : 22.05.1991						
Inv.orig: 1	Inv.final: 11	Etendue : 1						
----- STATION -----								
Altitude : 824		Exposition: 160						
Pente : 21		Relief : 5						
Lithologie: 53		Peuplement: 1522						
Photos : 19910063 & 19910063								

---- 1ère TAXATION SELON TYPOLOGIE KELLER ET ELLENBERG/KLOSTELI -----								
Keller (par strate)	Nbre plantes	Taxation terrain						
toutes : 42	Total : 27	Alliance: 4200						
buis/her: 42	Keller: 23	Associat: 101000						
herbacée: 42		Qualité : BNNS						

---- TAXATION SELON TYPOLOGIE VAUDOISE ----								
Taxation expert 1: 155a		N° relevé: 1						
Taxation expert 2: 155		Taxation clé 1: 155						
Qualité relevé : 5		Taxation clé 2: 0						
Taxat. définitive: 155a		ATTRIB : 122						
Noyau référence : -		Concordance : ++	2					

----- COUVERTURE -----								
arbor.: 40	ss-étage: 40	arbus.: 20						
herb.: 5	muscinale: 1	litière: 100						

----- INDICES ÉCOLOGIQUES -----								
Indices	Humid	Lumiè	Tempé	Conti	Réact	Nutri	Humus	Dispa
st. A	3.1	1.8	3.3	2.1	3.3	2.8	3.3	4.2
st. B/H	3.0	2.2	3.4	2.5	3.6	2.9	3.3	3.9
90	TAXUS			BACCATA			+	
91	ABIES			ALBA		3	r	r
362	BROMUS			BENKENII				r
512	CAREX			DIGITATA				r
522	CAREX			FLACCA				r
622	PARIS			QUADRIFOLIA				+
624	CONVALLARIA			MAJALIS				r
626	POLYGONATUM			MULTIFLORUM				r
721	NEOTTIA			NIDUS-AVIS				r
832	FAGUS			SILVATICA		4	2	1
1119	ACTAEA			SPICATA				r
1149	HEPATICAC			TRILoba				+
1153	CLEMATIS			VITALBA				+
1614	ROSA			ARVENSIS				r
1656	CRATAEGUS			OXYACANTHA			+	
1663	SORBUS			ARIA		r	+	
1872	LATHYRUS			VERMUS				r
1940	MERCURIALIS			PERENNIS				2
1979	ILEX			AQUIFOLIUM				+
1989	ACER			OPALUS		r	r	+
2085	DAPHNE			MEZERIUM			+	
2130	HEDERA			HELIX				+
2354	FRAXINUS			EXCELSIOR_h			4	1
2509	LAMIUM			MONTANUM				+
2785	GALIUM			ODORATUM				+
2829	LONICERA			XYLOSTEUM			+	
2906	PHYTEUMA			SPICATUM				r

Fig. 2 Exemple d'une fiche de relevé et de taxation de la végétation.

cessaires par les lacunes dans les données de base. L'utilisation des données floristiques suit la logique propre à la phytosociologie forestière, en fondant la classification non sur les espèces individuelles, mais sur le poids respectif des divers groupes écologiques représentés dans les relevés. Ces derniers sont issus du regroupement d'espèces ayant les mêmes affinités écologiques, d'une part celles liées aux caractéristiques du sol et de l'ensoleillement d'une station, d'autre part celles liées à l'étage de végétation (Horsberger & Clot, ce numéro).

Méthodes de tri et de classement des relevés

L'analyse de relevés phytosociologiques effectués sans a priori dans un espace boisé, par exemple selon un maillage systématique, met rarement en évidence des groupes séparés par des discontinuités floristiques marquées. Par exemple, la projection ré-

sultant d'une analyse factorielle montre typiquement un nuage de points plus ou moins dispersés, avec des concentrations de points mal différenciées.

Dans ce continuum généralisé, il est difficile d'identifier des groupes naturels. Les résultats produits par des logiciels de classement automatique (dendrogrammes ou autres) s'avèrent très sensibles aux aléas de l'échantillonnage. Les groupes ainsi formés correspondent rarement à des syntaxons décrits dans la littérature. Or, le rattachement de la typologie vaudoise au système phytosociologique ne permettait pas de se fier uniquement à la structure endogène du corpus de données à analyser. D'autre part, il était important de tenir compte du pouvoir diagnostique des paramètres (notamment en pondérant la contribution des différentes espèces) pour garantir la cohérence écologique du classement.

Pour ces raisons, les méthodes standard d'analyse de la végétation (Analyse factorielle des correspondances, bibliothèques MULVA, CANOCO, etc.) ont été écartées et des outils mieux adaptés aux objectifs ont été développés.

Ce travail s'est déroulé en trois étapes:

- Taxation d'expert
- Constitution de groupes de référence et taxation de tous les relevés à l'aide du programme d'attribution automatique
- Elaboration d'une clé d'identification automatique

Taxation d'expert

L'opération consiste à examiner individuellement les relevés et à les attribuer à des groupements en fonction des connaissances acquises sur le terrain et d'après la littérature phytosociologique.

Cette taxation repose donc sur les compétences du spécialiste, qui fonctionne selon le principe du meilleur avis d'expert et n'est pas tenu de justifier sa décision de manière circonstanciée. En dernier ressort, sa décision procède d'une démarche holistique complexe, qui pondère et intègre de nombreux paramètres. Des contrôles croisés et des répétitions de taxation ont toutefois permis d'étalonner la démarche et d'explicitier une partie des critères utilisés, ce qui a permis de développer la clé automatique décrite plus loin.

Au total, 6614 relevés ont été examinés individuellement et taxés durant le processus d'analyse et de validation, soit près de la moitié de la base de données. Outre la désignation du syntaxon, l'évaluation de l'expert comporte en général aussi une indication de la représentativité (ou qualité) du relevé, jugée bonne («B», 306 cas), suffisante («S», 2779 cas) ou douteuse («D», 3199 cas) (figure 2). Les relevés dont la taxation est qualifiée de bonne sont choisis en priorité pour illustrer un groupement dans la notice descriptive de chaque association (Clot 2009, ce numéro).

Dans 2782 cas, les informations phyto-écologiques contenues dans le relevé ne paraissent pas concordantes, ce qui peut s'expliquer par la présence d'une zone de transition entre deux groupements, d'une surface hétérogène, ou d'un milieu altéré par la sylviculture. On a dans ce cas utilisé la possibilité d'attribuer une seconde taxation d'expert (la taxation la plus plausible, TaxExpert1, est donnée en premier et la taxation alternative, TaxExpert2, en second).

Dans 330 cas, le relevé était impossible à interpréter et n'a pas été attribué à un groupement (taxation «xxx»).

Attribution automatique

Le programme d'attribution automatique (ATTRIB) est bâti sur le postulat que chaque relevé peut être rattaché au syntaxon dont il est le plus proche floristiquement. Ceci suppose d'une part qu'on dispose d'un catalogue de référence, et que d'autre part la métrique de calcul de distance relevé-syntaxons ait été définie.

Le catalogue des syntaxons est fourni par les taxations d'expert. Une sélection des relevés les plus représentatifs (idéalement, une dizaine de relevés de qualité «B») sert à définir le noyau de chaque syntaxon recensé durant les taxations d'expert. Il faut souligner que les syntaxons ainsi formés ne sont pas des entités abstraites, mais bien des ensembles de relevés plus ou moins homogènes.

Dans une première étape, le programme ATTRIB calcule les distances (D) entre le relevé à taxer et chaque relevé de référence. Ce calcul est basé sur l'indice de Van der Maarel, qui est un indice de Jaccard pondéré par l'abondance des espèces (1):

$$D = 1 - C / (A + B - C) \quad (1)$$

où A = somme des abondances pondérées dans le relevé à taxer

B = somme des abondances pondérées dans le relevé de référence

C = somme des abondances pondérées communes aux deux relevés

Les indices de cette famille sont largement utilisés dans les analyses de parenté floristique. Ils ont l'avantage de réduire l'influence de la richesse en espèces (la probabilité d'avoir des espèces en commun augmente avec le nombre d'espèces, ce qui a pour effet que les syntaxons riches en espèces «capturent» la majorité des relevés). Cette correction est spécialement justifiée dans les écosystèmes forestiers où plusieurs syntaxons spécialisés sont définis par absence d'espèces mésophiles.

Notre calcul diffère de celui de l'indice classique par le fait que la pondération tient compte non seulement de l'abondance des espèces (coefficient proportionnel à l'indice de Braun-Blanquet), mais aussi de leur valeur discriminante. Les espèces ap-

partenant à des groupes écologiques à fort pouvoir diagnostique (acidophiles strictes, etc.) sont surpondérées dans le calcul. A l'inverse, les espèces sans réel intérêt pour l'identification des syntaxons sont souspondérées, voire carrément exclues du calcul.

La deuxième étape consiste à calculer les distances D entre le relevé et chaque syntaxon à partir des distances calculées pour ses relevés. Comme les syntaxons présentent toujours une certaine variabilité interne susceptible d'occulter des affinités réelles, il a été décidé de ne pas tenir compte des valeurs extrêmes dans le calcul. La distance moyenne à un syntaxon est calculée après avoir supprimé la distance à son relevé le plus proche ainsi que celle aux 30% des relevés les plus éloignés (figure 3).

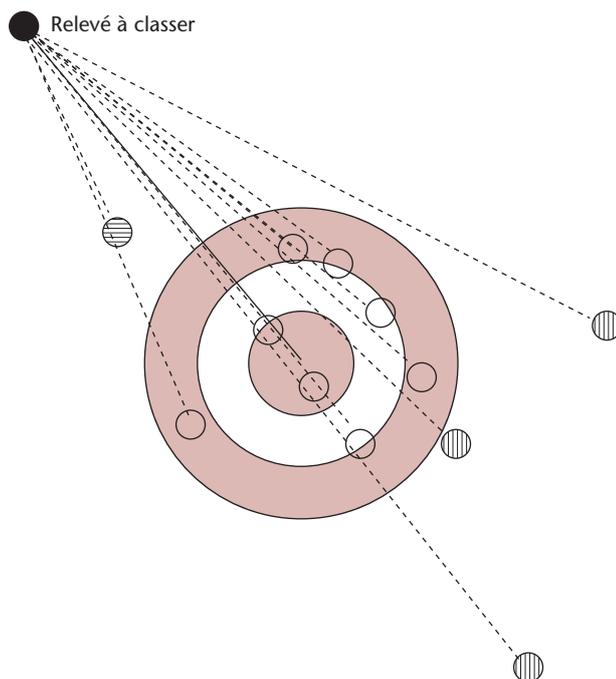


Fig. 3 Présentation schématique du calcul de la distance D entre un relevé à classer (en noir) et un syntaxon de référence représenté par une série de relevés. Le relevé de référence le plus proche du relevé à classer (hachures horizontales) et les relevés les plus éloignés (hachures verticales) ne participent pas au calcul de la distance moyenne du syntaxon.

Dans la troisième étape, il reste à convertir les distances moyennes en similitude ($S = 1 - D$), à ranger les valeurs obtenues par ordre décroissant et à attribuer le relevé au syntaxon de similitude la plus élevée. Lorsque l'écart de similitude est inférieur à 10%, le programme mentionne également le deuxième syntaxon le plus proche.

Il faut préciser qu'aucun seuil de similitude n'a été fixé, si bien que le programme «force» tous les relevés, même les moins typés, dans un syntaxon. Pour réduire les attributions erronées des relevés appauvris et peu différenciés, un filtre d'altitude a été ajouté pour éviter des attributions fautive à des syntaxons appartenant à un autre étage de végétation. Par exemple, ce filtre empêche que des relevés faits à moins

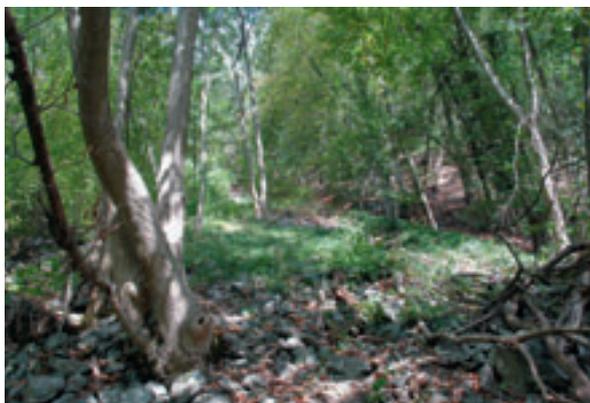


Fig. 4 Tillaie à luzule blanc de neige (Luzulo-Tilietum), un des groupements les plus rares du canton (sur éboulis cristallins du Torrent Sec, Lavey).

de 750 m d'altitude soient attribués à des syntaxons des étages montagnard supérieur ou subalpin.

Nous avons effectué un test de cohérence en contrôlant que la totalité des relevés constitutifs d'un syntaxon de référence sont effectivement rattachés à leur unité par le programme ATTRIB (à noter que la suppression du relevé le plus proche élimine automatiquement les autocorrélations).

Dans 40% des cas examinés individuellement (2677 relevés sur 6614), le syntaxon le plus proche selon ATTRIB correspond à la première taxation d'expert, TaxExpert1. Cette proportion avoisine 90% si on considère les secondes taxations TaxExpert2 et la deuxième option offerte par ATTRIB lorsque les similitudes sont dans une fourchette de 10%.

On peut en conclure que la concordance est globalement assez bonne, voire excellente pour les relevés bien typés. En revanche, un grand nombre de relevés intermédiaires ou mal typés restent diffi-

ciles à classer sans recourir à des informations écologiques complémentaires (figure 5). Rappelons que mis à part le filtre altitudinal, le programme ATTRIB n'utilise que les données floristiques des relevés.

Clé automatique

Cette troisième méthode d'analyse a été développée pour pallier les insuffisances constatées avec le programme ATTRIB. Il s'agit d'un nouveau logiciel de taxation des relevés qui tente d'intégrer tous les paramètres disponibles en reproduisant sous forme de clé dichotomique le raisonnement de l'expert chargé de la taxation. Il s'appuie sur les informations floristiques (présence et recouvrement des espèces, en général considérées par groupes écologiques) et sur les données écologiques disponibles dans la banque de donnée (pente, altitude, etc.).

Pour des raisons de limitation de mémoire vive, deux programmes distincts ont dû être développés. Le premier traite les relevés d'altitude inférieure à 1000 m (code FORTRAN de 6182 lignes), le second ceux d'altitude supérieure (5499 lignes). Chacun de ces programmes ventile les relevés dans des sous-clés par classes d'humidité et d'acidité du sol. Ce tri permet d'isoler pour un traitement séparé toutes les forêts spécialisées, puis d'analyser avec des critères adaptés la masse des forêts mésophiles.

Au niveau des sous-clés, l'analyse fine du groupement se déroule par étapes successives jusqu'au niveau de la sous-association et de la variante. Le résultat de ce processus est une taxation automatique produisant le syntaxon le plus probable (TaxClé1), cas échéant une deuxième option plausible (TaxClé2) (figure 2), selon le même modèle que la taxation d'expert.



Fig. 5 Hêtraie à cardamine (Cardamino-Fagetum) à flore appauvrie qui illustre la difficulté de taxer les relevés uniquement à l'aide de leur composition floristique (Drapel sur Aigle).

Une description détaillée de la structure de la clé automatique n'entre pas dans le cadre de cet article. Disons simplement que son armature suit la logique du découpage écologique qui sous-tend la typologie et qu'elle s'efforce d'appliquer les critères de tri de manière cohérente dans les différentes sous-clés. Néanmoins, les ramifications de la clé comportent aussi un certain nombre de dichotomies développées de manière interactive et empirique pour améliorer la concordance avec les taxations d'expert. Ce processus a été poursuivi jusqu'à ce que la clé dichotomique atteigne un niveau de concordance satisfaisant avec la taxation d'expert. Sur 6614 relevés taxés manuellement, la clé automatique fournit une taxation concordante dans 5800 cas (88%).

Discussion et conclusion

Le développement de la clé dichotomique a permis de résoudre une partie des problèmes posés par l'attribution automatique des relevés au syntaxon le plus proche, en appliquant une démarche plus subtile que le simple calcul d'une distance moyenne.

Un autre mérite de la clé est d'avoir forcé le phytosociologue à désigner les critères qu'il applique pour distinguer les groupements végétaux, à préciser les seuils, la hiérarchie de la classification et, de manière générale, à expliciter sa démarche empirique. Cet effort de clarification a aussi profité à la taxation d'expert elle-même, en mettant à jour des questions jusqu'alors non formulées et des incohérences non détectées.

Au terme de cet exercice, la conviction que l'avis d'expert prime sur les analyses automatiques reste toutefois intacte. Ceci s'explique en partie par le fait que les informations de base comportent quel-

ques lacunes difficiles à compenser autrement que par une évaluation globale des autres indices disponibles. Peut-être aussi que la formalisation rigoureuse exigée par l'automatisation de la clé demande un travail préalable d'éclaircissement qui n'a pas encore pu être mené complètement.

En vertu de ce qui précède, c'est la taxation d'expert qui a été retenue comme taxation définitive en cas de divergence. Lorsque cette taxation fait défaut, c'est le résultat de la taxation dichotomique qui est conservé. Néanmoins, l'examen des divergences produites par les trois méthodes reste intéressant car il permet d'estimer la qualité de la taxation et de déceler les «zones d'ombre» où des perfectionnements sont encore à rechercher. ■

Soumis: 11 juin 2009, accepté (sans comité de lecture): 15 juin 2009

Références

- BURNAND J ET AL (1998)** Clé de détermination des stations forestières du Canton du Jura et du Jura bernois. Solothurn, Lenzburg: COTRA Kaufmann + Partner, Burger + Stocker. 312 p.
- CLOT F (2009)** La fiche descriptive d'association: l'exemple de la hêtraie à aspérule. *J for suisse* 160: s18–s23. doi: 10.3188/szf.2009.s0018
- HARTMANN P, FOUVY P, HORISBERGER D (2009)** L'Observatoire de l'écosystème forestier du canton de Vaud: espace de recherche appliquée. *J for suisse* 160: s2–s6. doi: 10.3188/szf.2009.s0002
- OTTE E, FREHNER M, FREY H, LÜSCHER P (1997)** Gebirgsnadelwälder. Ein praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung. Bern: Haupt. 287 p.
- RAMEAU JC (1994)** Typologie phytosociologique des habitats forestiers et associés, types simplement représentatifs ou remarquables sur le plan patrimonial. Nancy: ENGREF. 174 p.

Techniques d'interprétation des relevés de végétation forestière: entre rigueur et pragmatisme

L'interprétation de 12 000 relevés floristiques effectués dans les forêts du canton de Vaud, dont la moitié sur un réseau systématique, a imposé le développement d'une clé dichotomique complexe, amenant en particulier le phytosociologue à expliciter les critères d'identification des groupements végétaux. Bien que l'on ne puisse se passer totalement d'une taxation d'expert, l'ultime développement de la clé dichotomique automatique a permis de fournir des taxations satisfaisantes dans près de 90% des cas tout en mettant en évidence la nécessité de nouveaux perfectionnements.

Techniken zur Interpretation von Vegetationserhebungen: zwischen Strenge und Pragmatismus

Zur Interpretation der 12 000 floristischen Aufnahmen in den Wäldern des Kantons Waadt, davon die Hälfte auf einem systematischen Netz, musste ein komplexer dichotomer Schlüssel entwickelt werden. Dieser zwang die Pflanzensoziologen dazu, die Kriterien zur Bestimmung der Pflanzengesellschaften genau zu definieren. Auf eine Expertenbestimmung kann zwar nicht vollständig verzichtet werden, die jüngste Weiterentwicklung des automatischen dichotomen Schlüssels führte jedoch zu einer zufriedenstellenden Taxation in gegen 90% der Fälle. Es stellte sich aber auch heraus, dass der Schlüssel noch weiter verbessert werden sollte.