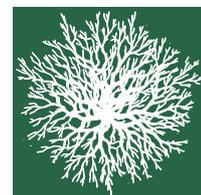


Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen



Journal forestier suisse
Rivista forestale svizzera
Swiss Forestry Journal



L'Observatoire de l'écosystème forestier
du canton de Vaud

S 1 | 2 0 0 9

saisir - visualiser



Ingenieurbüro - Bureau d'ingénieurs
Philipona & Brügger

TOPCON GRS-1

Petit, léger et doté de toutes les fonctions dont vous avez besoin sur le terrain!

Avec GPS + GLONASS jusqu'à 40% de couverture satellite supplémentaire

Le service GNSS assure une précision au dm

Appareil photo 2.0-mégapixels intégré

Compas magnétique intégré

WLAN et Bluetooth

Profitez de nos conseils!



Müli 1, 1716 Plaffeien / FR
Tél. +41 26 419 24 45 - Fax +41 26 419 24 05 - www.geoforest.ch - info@geoforest.ch

Votre annonce dans la prochaine édition du JFS?

Délai d'envoi pour le numéro 1/2010 parution le 4 janvier 2010: le 15 décembre 2009.

Nous nous réjouissons de votre commande:
Stämpfli Publikationen AG, Dora Balz, tél. 031 300 63 82,
Fax 031 300 63 90, E-Mail inserate@staempfli.com

ISELI

Umwelt & Heiztechnik AG

Bureau Suisse Romande

Michel Fahrni

1872 Troistorrents

T: +41 (0) 79 637 20 03

F: +41 (0) 24 477 45 51

www.iseli-ag.ch



Energie aus der Natur

BROYER ET CHAUFFER AVEC ISELI



Broyeurs de bois

Installation solaires

Bûches et pellets

Plaquettes de bois

Volume 160 · S1 | 2009

Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen
Journal forestier suisse
Rivista forestale svizzera
Swiss Forestry Journal

ISSN 0036-7818
<http://www.forstverein.ch/szf>

Monatliche wissenschaftliche Zeitschrift
des Schweizerischen Forstvereins
Journal scientifique mensuel de la
Société forestière suisse
Rivista mensile scientifica della
Società forestale svizzera
Monthly scientific journal by
the Swiss Forestry Society

Herausgeber • Editeur • Publisher
Schweizerischer Forstverein, Geschäftsstelle,
Postfach 316, CH-4402 Frenkendorf
Pierre Mollet, Leiter SZF

Redaktion • Rédaction • Editorial Office
Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen,
Mythenstrasse 2, CH-8308 Illnau
Telefon +41 52 347 21 79, Fax 21 76,
szf@forstverein.ch

**Chefredaktorin • Rédactrice en chef •
Editor in Chief**
Barbara Allgaier Leuch

**Richtlinien für Autoren • Directives pour
les auteurs • Author Guidelines**
<http://www.forstverein.ch/szf>



*Décapitalisation maîtrisée dans le
respect des mécanismes naturels de
rajeunissement pour assurer le
rééquilibrage des structures.*

Photo: Micheline Meylan

s1 EDITORIAL

- s1 *C. Neet, J.-F. Métraux*
L'observatoire de l'écosystème forestier du canton de Vaud

s2 CONNAISSANCES · WISSEN

- s2 *P. Hartmann, P. Fouvy, D. Horisberger*
L'Observatoire de l'écosystème forestier du canton de Vaud: espace de
recherche appliquée
- s7 *R. Delarze, F. Clot*
Techniques d'interprétation des relevés de végétation forestière:
entre rigueur et pragmatisme
- s13 *F. Clot, R. Delarze*
Typologie des groupements végétaux forestiers du canton de Vaud:
rupture nécessaire d'une tradition
- s18 *F. Clot*
La fiche descriptive d'association: l'exemple de la hêtraie à aspérule
- s24 *D. Horisberger, F. Clot*
Répartition altitudinale de la végétation forestière du canton
de Vaud: affinage des connaissances
- s35 *D. Horisberger*
L'écosystème forestier du canton de Vaud: un pays, quatre régions
- s43 *D. Horisberger, M. Meylan*
Le guide des stations forestières du canton de Vaud: synthèse pour
les praticiens
- s54 *D. Horisberger, M. Meylan*
Productivité et exploitabilité des forêts du canton de Vaud:
vers plus de réalisme
- s65 *D. Horisberger, M. Meylan*
Aire et gestion des ressources en chêne du canton de Vaud:
dossier d'un avenir immédiat

s74 ACTUALITÉS · AKTUELL

- s74 Nécrologie · Nekrologe
s74 Recensions · Rezensionen

Ce numéro spécial a été conçu et financé par le Service des forêts, de la faune et de la nature du canton de Vaud (CH), avec le soutien de l'Office fédéral de l'environnement. Le projet a été géré et coordonné par Denis Horisberger (Villars-Burquin), Micheline Meylan (Juriens) et Rocco De Stefano (Yverdon-les-Bains).

Ausschuss SZF • Commission SFS • Advisory Board

Pierre Mollet, Martin Hostettler,
Hans R. Heinimann, Barbara Allgaier Leuch.

Beirat • Conseil de rédaction • Editorial Board

Martin Hostettler (Bern, Vorsitz), Peter Brang (Birmensdorf), Ika Darnhofer (Wien), Luuk Dorren (Grenoble), Marc Hanewinkel (Freiburg i.Br.), Bernhard Maier (Schruns), Daniel Mandallaz (Zürich), Christian Wilhelm (Chur), Susanne Winter (Freising).

Internetzugang • Accès internet • Internet Access

Atypon Systems Inc., 5201 Great America Parkway, Suite 510, Santa Clara, CA, 95054, USA

Abonnement • Abonnement • Subscription

Schweiz: CHF 175.–
International: EUR 130.–
Internet access for individual subscribers is free (starting volume: 150 [1|1999]).

Mitgliedschaft • Affiliation • Membership

Einzelmitglieder: CHF 150.– (EUR 100.–).
Kollektivmitglieder: CHF 300.– (EUR 200.–).
Familienmitglieder: CHF 225.– (EUR 140.–).
Studierende und Veteranen: CHF 75.– (EUR 50.–).
In der Mitgliedschaft sind das Abonnement und der Internetzugang inbegriffen.

Administration • Administration • Administration

Schweizerischer Forstverein, Administration,
Postfach 13, CH-8808 Pfäffikon SZ
Telefon +41 55 420 22 93, Fax 22 90,
admin@forstverein.ch

Druckerei • Imprimerie • Printing House

Stämpfli Publikationen AG, Wölflistrasse 1,
Postfach 8326, CH-3001 Bern

Inserate • Annonces • Advertisements

Stämpfli Publikationen AG, Inseratemanagement,
Wölflistrasse 1, Postfach 8326, CH-3001 Bern
Telefon +41 31 300 63 89, Fax 63 90,
inserate@staempfli.com
1133 Exemplare (durchschnittlich verkaufte
bzw. abonnierte Auflage, notariell beglaubigt).
Anzeigenschluss: jeweils am 15. des Vormonates
oder nach Vereinbarung.
Erscheinungsdatum: jeweils am 3. des Monates.
Weitere Einzelheiten siehe www.forstverein.ch/szf.

Finanzielle Unterstützung • Soutien financier • Financial Support

Die Zeitschrift wird finanziell unterstützt durch das Bundesamt für Umwelt (Bafu), die Schweizerische Akademie für Naturwissenschaften (SCNAT), die Kantone sowie den Selbsthilfefonds der Schweizerischen Wald- und Holzwirtschaft (SHF).

This journal is covered by AGRIS, CAB Abstracts, ELFIS and Keyword-Index of Wildlife Research.

Buts et orientation Ziele und Ausrichtung Aims and Scope

Buts et orientation

Le JFS publie des articles scientifiques sur le développement, l'exploitation et la protection de la forêt. Il inclut également des articles sur le paysage, les dangers naturels ou la société, dans la mesure où ils ont une relation avec la forêt. Il vise en priorité l'Europe centrale en ce qui concerne les lecteurs, les auteurs et la focalisation géographique.

Le JFS s'adresse principalement aux diplômés des hautes écoles et hautes écoles spécialisées dont l'activité professionnelle est liée à la forêt et au paysage. Son rôle est de diffuser des connaissances et de servir de lien entre les chercheurs et les praticiens. C'est pourquoi il se situe entre les journaux scientifiques internationaux de langue anglaise et les magazines destinés aux praticiens forestiers.

Le JFS se compose de trois rubriques: Perspectives, Connaissances et Actualités. Il est publié en allemand et en français et comprend aussi, exceptionnellement, des articles en anglais et en italien. Les manuscrits des rubriques Perspectives et Connaissances sont en général soumis à l'appréciation formelle et ciblée d'un comité de lecture. Vous trouverez davantage de détails sur le site de la Société forestière suisse (www.forstverein.ch/szf) dont le JFS est aussi l'organe officiel.

Ziele und Ausrichtung

Die SZF publiziert wissenschaftlich verfasste Beiträge über Entwicklung, Nutzung und Schutz von Wald. Sie druckt auch Beiträge über Landschaft, Naturgefahren oder Gesellschaft ab, welche einen Bezug zum Wald aufweisen. Beim Leserkreis, bei der Autorenschaft und bei der geografischen Fokussierung der eingereichten Beiträge strebt sie einen mitteleuropäischen Schwerpunkt an.

Die SZF richtet sich in erster Linie an Absolventinnen und Absolventen von Hochschulen und Fachhochschulen, die sich beruflich mit Wald und Landschaft auseinandersetzen. Sie sieht

ihre Rolle in der Wissensvermittlung und als Bindeglied zwischen Forschern und Anwendern. Deshalb positioniert sie sich zwischen den englischsprachigen internationalen Zeitschriften für Wissenschaftler und den Magazinen für die forstlichen Praktiker.

Die SZF gliedert sich in die drei Rubriken Perspektiven, Wissen und Aktuell. Sie publiziert in deutscher und französischer Sprache, ausnahmsweise werden auch englische oder italienische Aufsätze angenommen. Die Manuskripte in den Rubriken Perspektiven und Wissen durchlaufen in der Regel ein auf den eingereichten Beitrag abgestimmtes, formelles Reviewverfahren. Einzelheiten sind der Website des Schweizerischen Forstvereins (www.forstverein.ch/szf) zu entnehmen. Für diesen ist die SZF gleichzeitig das offizielle Vereinsorgan.

Aims and Scope

SZF publishes scientific articles on the development, use and protection of forests. It also prints articles that explore the connections between forests and landscape, natural hazards or society. Readership, authors and themes focus on Central Europe.

SZF is aimed at those with a Bachelor's or Master's degree who are professionally concerned with the forest or the landscape. It sees its role as sharing knowledge and as acting as a link between scientists and practitioners and positions itself between English language international journals for scientists and magazines for forestry practitioners.

SZF is divided into three sections: Perspectives, Knowledge and News. SZF will consider articles written in German or French; occasionally, articles written in English or Italian are accepted. Manuscripts submitted for publication in the Perspectives and Knowledge sections are subject to a formal peer review procedure. More details can be found on the website of the Swiss Forestry Society (www.forstverein.ch/szf), for which SZF is the official journal.

L'observatoire de l'écosystème forestier du canton de Vaud

Cornelis Neet

Service des forêts, de la faune et de la nature du canton de Vaud (CH)

Jean-François Métraux

Service des forêts, de la faune et de la nature du canton de Vaud (CH)



La gestion d'un milieu naturel ne peut s'envisager sans données de base, sans relevés ni inventaires permettant de définir l'état de référence sur lequel le gestionnaire va agir.

Se fondant sur les travaux initiaux menés dans les années 1962 à 1982 par René Badan, forestier aménagiste et visionnaire, le service forestier vaudois a complété le traditionnel inventaire dendrométrique, base évidente de toute exploitation forestière, par un ensemble de données permettant notamment au sylviculteur de s'inscrire pleinement dans l'approche devenue multifonctionnelle de la gestion de nos forêts.



Cette évolution décisive s'est ensuite épanouie avec l'apparition de nouveaux instruments informatiques, principalement les systèmes d'information géoréférencée. Les articles qui suivent proposent une synthèse exceptionnelle et unique d'un savoir acquis au cours des dernières décennies. Ils posent les bases d'un observatoire de l'écosystème forestier, source d'informations à réactualiser en permanence pour répondre aux besoins de l'aménagement forestier.

Un observatoire de l'écosystème forestier n'est pas un luxe. Il valorise un savoir acquis par des générations d'ingénieurs forestiers et scientifiques de haut niveau tout en permettant d'envisager l'avenir de nos forêts dans le contexte contemporain du changement climatique.

Ainsi, l'observatoire devient la base de la conservation des valeurs et prestations qui font que notre société demeure très attachée à sa forêt pour le bois de qualité qu'elle produit, pour son rôle de source d'une énergie renouvelable et de proximité, pour son rôle écologique et sa capacité de fixer le carbone, pour sa fonction de protection contre les dangers naturels ou encore pour sa vocation paysagère et d'espace naturel, source de tranquillité et de ressourcement.

Remercions donc les auteurs de cette série d'articles qui ont effectué un remarquable travail de synthèse couvrant un demi-siècle d'aménagement forestier. Une synthèse qui est à la fois un aboutissement scientifique, un ouvrage de référence et une route tracée vers l'avenir de la gestion forestière dans le canton de Vaud. ■

Ohne Grundlagen oder Inventare, mit welchen der Referenzzustand definiert wird, nach welchem der Bewirtschafter handelt, ist die Bewirtschaftung eines Naturraumes nicht möglich.

Aufbauend auf den Arbeiten, die René Badan – Forsteinrichter und Visionär – von 1962 bis 1982 durchführte, hat der Waadtländer Forstdienst das traditionelle Holzinventar, welches die selbstverständliche Grundlage für jegliche forstliche Nutzung darstellt, um eine Reihe von Daten ergänzt, die es insbesondere dem Waldbauer ermöglichen, vollständig nach dem mittlerweile multifunktional gewordenen Ansatz der Waldbewirtschaftung zu handeln.

Mit dem Aufkommen neuer Informatikinstrumente, vorab den Geoinformationssystemen, hat sich diese entscheidende Entwicklung entfalten können. Die nachfolgenden Artikel bieten eine aussergewöhnliche und einzigartige Synthese des im Lauf der letzten Jahrzehnte angeeigneten Wissens. Sie legen den Grundstein für ein Waldobservatorium, welches Quelle für Informationen ist, die laufend aktualisiert werden müssen, um die Bedürfnisse des Forsteinrichters befriedigen zu können.

Ein Waldobservatorium ist kein Luxus. Es wertet das über Generationen von Forstingenieuren und Wissenschaftlern angeeignete hochstehende Wissen auf und erlaubt, der Zukunft unserer Wälder im aktuellen Kontext des Klimawandels ins Auge zu sehen.

So wird das Waldobservatorium zur Grundlage für die Erhaltung der Werte und Leistungen, aufgrund welcher die Gesellschaft mit ihrem Wald eng verbunden bleibt: wegen des Qualitätsholzes und seiner Rolle als erneuerbarer, vor der Haustüre wachsender Energiequelle, wegen seiner ökologischen Bedeutung, wegen seiner Fähigkeit, Kohlenstoff zu fixieren, wegen seiner Schutzfunktion gegen Naturgefahren und wegen seiner landschaftlichen und naturräumlichen Werte, die Quelle für Ruhe und Selbstbesinnung sind.

Wir danken den Autoren dieser Artikelserie für ihre beachtliche Synthesearbeit, welche mehr als ein halbes Jahrhundert der Forsteinrichtung abdeckt – eine Synthese, welche gleichzeitig einen wissenschaftlichen Erfolg, ein Referenzwerk und eine vorgezeichnete Route in Richtung Zukunft der Waldbewirtschaftung im Kanton Waadt darstellt. ■

L'Observatoire de l'écosystème forestier du canton de Vaud: espace de recherche appliquée

Philippe Hartmann Direction des systèmes d'information du canton de Vaud (CH)*
Patrik Fouvy Service des forêts, de la faune et de la nature du canton de Vaud (CH)
Denis Horisberger Service des forêts de la faune et de la nature du canton de Vaud (CH)

The Forest Ecosystem Observatory in Canton Vaud: a field of applied research

The concept of an Observatory of the forest ecosystem in canton Vaud has established itself in the course of a period marked by rapid technical progress and social change whereby the forest has become a multifunctional public amenity. This process has greatly enhanced knowledge of the flora and promoted information concerning the site, all of which has enriched the forestry data bank. The interpretation of this information opens up a vast new field of application in the provision of facilities and in forest management, as reflected in several concrete examples proposed in this special edition of the Swiss Forestry Journal.

Keywords: forest management planning, forest inventory, Vaud, Switzerland
doi: 10.3188/szf.2009.s0002

* Avenue de l'Université 5, CH-1014 Lausanne, courriel philippe.hartmann@vd.ch



Fig. 1 René Badan, ingénieur forestier visionnaire.

La genèse de l'Observatoire de l'écosystème forestier du canton de Vaud remonte à l'année 1962, début d'une époque de dynamisme et d'audace animée par René Badan (figure 1), ingénieur forestier adjoint au chef du Service des forêts et responsable de conduire l'aménagement, tâche qu'il a accomplie dans un exceptionnel esprit créatif. Il n'en fallait pas moins pour faire évoluer une politique d'aménagement alimentée par de compréhensibles attitudes d'après-guerre, prudentes et conservatrices. L'ambiance n'était encore guère influencée par la réforme des structures de gestion et de transformation des bois à laquelle s'étaient déjà attaqué les grands pays forestiers européens.

En 1965, soutenu par la conviction de l'importance accrue des fonctions qui seraient reconnues et demandées à la forêt, le rôle de l'aménagement forestier est clairement défini: «fournir une description de la station et des peuplements, effectuer un pronostic de production, définir les vocations dominantes des massifs forestiers, mettre à disposition du corps forestier vaudois des méthodes d'analyse et de synthèse faisant un large usage des possibilités offertes par les progrès de la technique» (Badan 1965). Si le choix des inventaires forestiers par échantillonnage permet de mettre en œuvre cette vision à des coûts raisonnables, l'originalité de la procédure d'aménagement réside cependant premièrement «dans la combinaison de plusieurs méthodes d'ana-



Fig. 2 Le débordement créatif des aménagistes vaudois vu par l'inspecteur des forêts David Petter (1947–2004).

Matière	Dynamique	Acteurs responsables
Description des références élémentaires du système: natures, stations, types de propriété, etc.	Amélioration, suivi et mise à jour continus de l'information	Service géomatique Inspecteurs des forêts Gardes forestiers
Analyse du fonctionnement du système: productivité et réactivité	Suivi permanent du comportement de l'écosystème	Aménagistes Inspecteurs des forêts Gardes forestiers
Définition et publication des objectifs d'aménagement à moyen-long terme: contenu des paramètres de durabilité	Remise en question des objectifs à intervalles réguliers (10 à 30 ans)	Inspecteurs des forêts
Formulation des décisions de gestion: mesures permettant de tendre vers les objectifs d'aménagement	Réaction permanente aux réalités politiques, économiques, démographiques, climatiques, biologiques, etc.	Inspecteurs des forêts Gardes forestiers

Fig. 3 L'Observatoire de l'écosystème forestier du canton de Vaud.



Fig. 4 Luzius Auer, ingénieur forestier, développeur du premier système d'information géographique utilisé par l'ensemble du corps forestier vaudois (logiciel GeoPoint).

lyse et de planification intégrées dans un système d'aménagement cohérent, ordonné dans l'espace et dans le temps» (Badan 1972). La chronique de cette aventure alliant rigueur, pragmatisme et humour (figure 2) est accessible sur le site web du Service des forêts, de la faune et de la nature du canton de Vaud¹.

Aujourd'hui, l'Observatoire de l'écosystème forestier du canton de Vaud s'inscrit dans la continuité de cette politique, sous le concept «Observatoire» qui contient les idées de permanence, de vigilance et de remise en question, tout en évitant d'introduire une illusoire idée de maîtrise de l'écosystème (figure 3).

Saisie, gestion et analyse des données forestières

Les inventaires dendrométriques par échantillonnage débutent en 1962–1963, à l'époque des cartes puis des rubans perforés (figure 5). Très vite, les aménagistes ne se contentent plus seulement de

tableaux de résultats globaux mais souhaitent représenter géographiquement les données d'inventaires dans le but de faciliter l'identification des enjeux de l'aménagement.

Au tout début des années 1990, les forestiers vaudois sont équipés du logiciel GeoPoint, un système d'information géographique (SIG) pour praticiens, conçu par les ingénieurs forestiers Luc Chapuis et Luzius Auer, puis développé et animé durant une quinzaine d'années par ce dernier (figure 4).

En matière d'aménagement forestier, l'idée maîtresse a été d'utiliser les coordonnées du réseau des inventaires dendrométriques comme identifiant mettant en relation l'ensemble des informations accumulées en un lieu précis (figure 6). Avec la participation active des forestiers de terrain, le Service des forêts, de la faune et de la nature (SFFN) fait alors un effort considérable pour constituer des bases de données, référençant hectare par hectare les nom-

¹ www.vd.ch/observatoire-des-forets (1.9.2009)

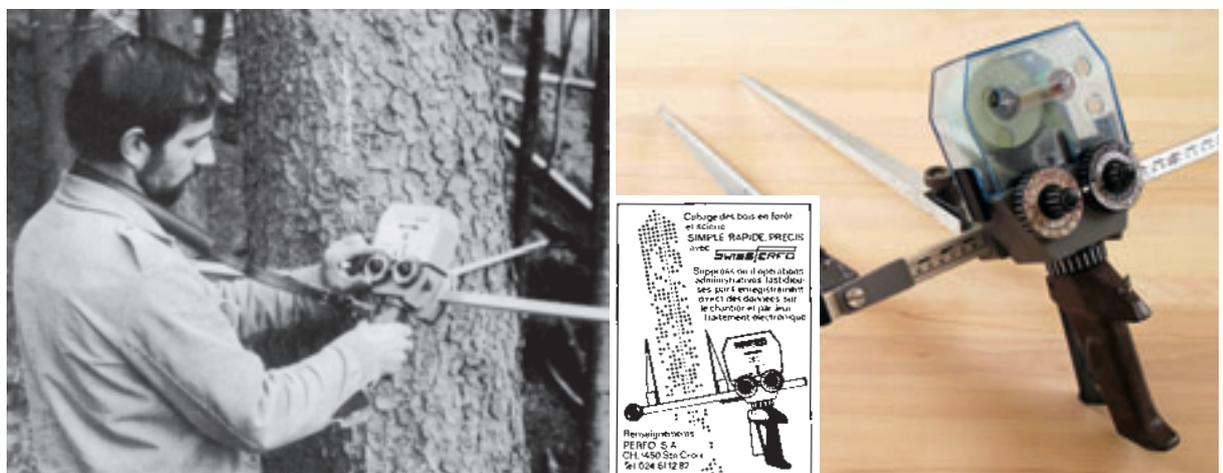
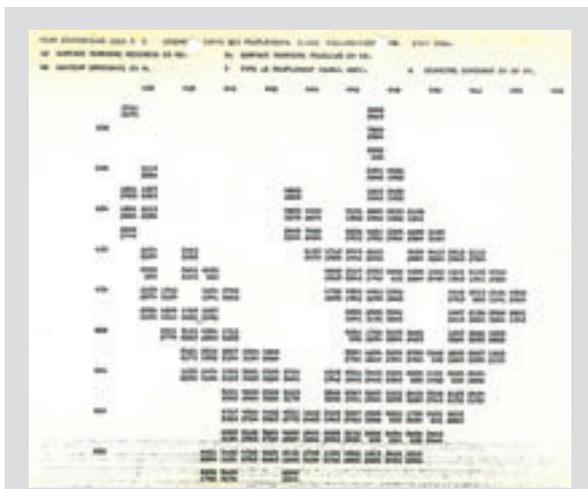


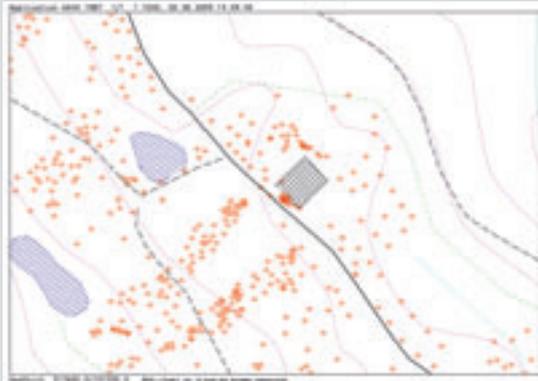
Fig. 5 Le «Bastringue», compas enregistreur mécanique conçu par R. Badan, utilisé pour les inventaires dendrométriques de 1973 à 1993 sous la responsabilité de G. Jeantet (photo), remplacé ensuite par un compas enregistreur électronique.

Fig. 6 Evolution des systèmes d'information géographique. Source: Etat de Vaud.

1966 Localisation de huit informations en fonction des coordonnées géographiques. Objets: placettes d'inventaire dendrométrique.



1987 Localisation et rattachement de fiches d'informations à l'aide du logiciel GeoPoint sur fond topographique digitalisé. Objets: arbres de l'Arboretum de l'Aubonne (première application GeoPoint).



2006 Localisation et rattachement d'informations à l'aide du logiciel ArcView-Geonis. Objets: natures forestières contrôlées sur fond d'orthophotos. Reproduit avec l'autorisation de swisstopo (BA091660).



breuses informations nécessaires aux tâches d'aménagement et de planification:

- données dendrométriques: volume, nombre de tiges, diamètre dominant, abroussement, etc.,
- données stationnelles: altitude, relief, sol, climat, végétation, etc.,
- description des objectifs d'aménagement: production ligneuse, protection physique, protection paysagère, protection biologique, accueil.

A partir de 2006, avec la migration du système d'information géographique GeoPoint vers ArcView-Geonis, la concrétisation du rêve des pionniers franchit un nouveau pas. Encore davantage que par le passé, le SIG devient un outil global de saisie, de stockage, de mise à jour, de consultation, d'analyse, de partage et de représentation d'informations, dans le-

quel chaque agent du service est à la fois bénéficiaire et contributeur.

Les données de référence sont de plus en plus riches, qu'elles proviennent de l'intérieur du service ou d'autres fournisseurs. Les fonctionnalités de représentation et d'analyse, notamment spatiales, sont également augmentées. Au niveau des inventaires forestiers par exemple, le gestionnaire dispose désormais non seulement de données de synthèse, mais peut travailler directement à partir des données originales (notamment le diamètre et l'essence de chaque tige inventoriée). Cela lui permet de mettre en valeur les inventaires de manière extrêmement souple et statistiquement fiable en fonction de ses besoins (périmètre géographique d'un projet, conditions topographiques, cadre géobotanique, etc.).

Au vu de l'expérience de ces dernières décennies, il apparaît que la coordination maîtrisée de ces opérations forme le socle indispensable d'une dynamique durable de travail en matière d'aménagement forestier.

L'acquisition des données de végétation et leur interprétation

Pétri par 25 années d'inventaires forestiers par échantillonnage, le service forestier vaudois opte en 1987 pour l'élaboration d'une carte de la végétation forestière construite à partir de relevés systématiques déterminés par la grille fixe des coordonnées de la carte nationale. Les relevés débutent en 1988 dans les forêts du canton de Vaud à la densité d'un relevé par 16 ha de forêt, soit tous les 400 m. Il est rapidement apparu que cette base de données devait être complétée par des relevés non systématiques choisis le long du parcours de terrain pour mieux documenter les stations originales ou rares. Un autre facteur est venu enrichir la densité des relevés, soit la rareté de la végétation dans certains milieux, p. ex. sous des perchis de hêtre ou d'épicéa. Pour mettre à profit le temps consacré au déplacement et éviter de nombreuses lacunes d'information, choix a été fait dans ce type de situation d'inventorier la végétation 100 m au nord de la placette, voire 100 m à l'est, au sud ou à l'ouest si la situation se répétait.

Menées exclusivement par Sylvain Meier, ingénieur forestier EPFZ (figure 7), les campagnes se succèdent sans interruption jusqu'en 2002. La banque de données est alors enrichie d'environ 5350 relevés systématiques et 6650 non systématiques, soit au total 12000 relevés. Il convient de saluer l'extraordinaire performance de Sylvain Meier durant 16 années, particulièrement en matière de persévérance, d'effort physique et de conscience professionnelle dans le déroulement du travail.

En 1991, le développement d'un système d'enregistrement des relevés de végétation à l'aide d'un



Fig. 7 Sylvain Meier, ingénieur forestier, auteur persévérant de 12 000 relevés de végétation forestière dans le canton de Vaud.

ordinateur de poche Psion permet de passer des transcriptions sur papier au transfert automatique des données sur PC, avec organisation subséquente de la banque de données. S'ensuit alors la mise en place progressive d'outils permettant d'exploiter les données et d'effectuer des analyses. Face à l'enjeu de devoir traiter un nombre exorbitant d'informations, le tandem de géobotanistes François Clot et Raymond Delarze rejoint le projet en 1995 pour analyser la banque de données floristiques et stationnelles à l'aide de techniques statistiques de pointe et de leur expérience de terrain.

Parallèlement, une équipe de praticiens forestiers (Denis Horisberger et Micheline Meylan) entame une démarche d'acquisition et d'interprétation simplifiées des relevés de végétation. Celle-ci vise d'une part à rendre la phytosociologie accessible aux praticiens forestiers, d'autre part à densifier la carte des stations à raison d'une taxation par hectare, c'est-à-dire à la même densité que les autres données d'aménagement et de gestion, tout en respectant des coûts raisonnables.

En complément, l'analyse dendrométrique de peuplements forestiers homogènes et stationnellement bien identifiés s'intègre au projet dans le but de récolter des données de productivité et d'échanger les expériences sylviculturales y relatives avec les praticiens. A ce jour, plus de 800 analyses sont disponibles dans une banque de données spécifique.

Sélection d'études et d'applications pratiques

Ce numéro spécial du Journal forestier suisse présente une série de travaux représentatifs des informations offertes aujourd'hui par l'Observatoire de l'écosystème forestier du canton de Vaud, pointe d'un iceberg de connaissances et d'applications pratiques accumulées durant près de 50 ans. A un titre ou un autre, chaque document s'intègre dans un réseau d'informations formatrices d'une réflexion visant la durabilité de l'écosystème.

Porte d'entrée incontournable à la formation d'un langage de communication sur la description des stations, l'élaboration d'une typologie des groupements végétaux forestiers (Clot & Delarze 2009, ce numéro) repose sur une rigoureuse démarche de tri des données floristiques et stationnelles (Delarze & Clot 2009, ce numéro). La résultante de ces travaux s'exprime sous forme de fiches descriptives synthétiques des associations végétales détectées dans le canton de Vaud (Clot 2009, ce numéro), mais également au travers de recherches ciblées, en l'occurrence la répartition altitudinale de la végétation, laquelle devrait subir des modifications sensibles sous l'influence des changements climatiques en cours (Horisberger & Clot 2009, ce numéro).

L'élaboration de documents de référence sur les données environnementales n'a toutefois de sens que s'ils servent à guider la gestion forestière, c'est-à-dire s'ils atteignent un niveau de synthèse et d'accessibilité satisfaisant les besoins de l'ensemble des praticiens forestiers. C'est l'objectif de la description du cadre biogéographique dans lequel s'insère l'écosystème forestier du canton de Vaud en tant qu'élément fondamental du paysage (Horisberger 2009, ce numéro). Dans un même esprit, basée sur les travaux des géobotanistes, s'est développée une démarche simplifiée de détermination des groupements végétaux, d'évaluation de leur productivité et de choix des espèces en fonction de leurs aptitudes stationnelles (Horisberger & Meylan 2009a, ce numéro).

L'analyse intégrée des références stationnelles, des résultats des inventaires dendrométriques et des objectifs d'aménagement permet l'élaboration de scénarios régionaux de valorisation de la ressource bois et, par conséquent, la formulation d'un des cadres stratégiques de la politique forestière du canton de Vaud (Horisberger & Meylan 2009b, ce numéro). Pour aller encore plus loin dans le concret, l'analyse de l'aire et la gestion des ressources en chêne aborde la problématique de la place accordée à une essence particulièrement prometteuse pour dynamiser la biodiversité et s'adapter à l'élévation des températures (Horisberger & Meylan 2009c, ce numéro).

Conclusion et perspectives

Initiée alors que le milieu forestier professionnel n'était pas encore sensibilisé à l'évolution climatique, la juxtaposition des travaux de relevés de végétation et d'un inventaire dendrométrique global a permis de construire une image de référence de la forêt vaudoise au tournant du XX^e siècle, c'est-à-dire au seuil de ce qui pourrait être la plus grande remise en question de la gestion forestière depuis le début du XIX^e siècle, époque d'assujettissement des forêts à des règles drastiques de reconstitution et de conservation.

L'histoire de l'Observatoire de l'écosystème forestier du canton de Vaud démontre que ce concept n'est pas une institution aux contours formels, mais bien un espace d'animation auquel participe l'ensemble des intervenants en milieu forestier, qu'ils soient agents territoriaux, aménagistes ou chercheurs spécialisés.

Au vu d'une aventure bientôt cinquantenaire caractérisée par un développement technique assumé dans la continuité, l'action d'une équipe d'animation permanente et créatrice dans le domaine de l'aménagement forestier devrait rester le gage d'une valorisation utile et durable de connaissances patiemment acquises. ■

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

Références

- BADAN R (1965)** Quelques problèmes relatifs aux aménagements forestiers dans le canton de Vaud. Lausanne: Service des forêts, de la faune et de la nature. 16 p.
- BADAN R (1972)** A propos de l'aménagement des forêts vaudaises. Lausanne: Service des forêts, de la faune et de la nature. 9 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
- CLOT F, DELARZE R (2009)** Typologie des groupements végétaux forestiers du canton de Vaud: rupture nécessaire d'une tradition. *J for suisse 160*: s13–s17. doi: 10.3188/szf.2009.s0013
- DELARZE R, CLOT F (2009)** Technique d'interprétation des relevés de végétation: entre rigueur et pragmatisme. *J for suisse 160*: s7–s12. doi: 10.3188/szf.2009.s0007
- HORISBERGER D (2009)** L'écosystème forestier du canton de Vaud: un pays, quatre régions. *J for suisse 160*: s35–s42. doi: 10.3188/szf.2009.s0035
- HORISBERGER D, CLOT F (2009)** Répartition altitudinale de la végétation forestière du canton de Vaud: affinage des connaissances. *J for suisse 160*: s24–s34. doi: 10.3188/szf.2009.s0024
- HORISBERGER D, MEYLAN M (2009a)** Le guide des stations forestières du canton de Vaud: synthèse pour les praticiens. *J for suisse 160*: s43–s53. doi: 10.3188/szf.2009.s0043
- HORISBERGER D, MEYLAN M (2009b)** Productivité et exploitabilité des forêts du canton de Vaud: vers plus de réalisme. *J for suisse 160*: s54–s64. doi: 10.3188/szf.2009.s0054
- HORISBERGER D, MEYLAN M (2009c)** Aire et gestion des ressources en chêne du canton de Vaud: dossier d'un avenir immédiat. *J for suisse 160*: s65–s73. doi: 10.3188/szf.2009.s0065

L'Observatoire de l'écosystème forestier du canton de Vaud: espace de recherche appliquée

Le concept d'Observatoire de l'écosystème forestier du canton de Vaud s'est imposé au fil d'une histoire marquée par de rapides progrès techniques et la mutation d'une société devenue consommatrice d'une forêt multifonctionnelle. Les connaissances floristiques et stationnelles acquises grâce à cette dynamique ont permis d'enrichir la banque de données forestières. Leur interprétation ouvre un vaste champ d'utilisation dans l'aménagement et la gestion forestière à l'image de quelques exemples concrets abordés dans ce numéro spécial du *Journal forestier suisse*.

Das Waldobservatorium des Kantons Waadt: Feld für angewandte Forschung

Das Konzept des Waldobservatoriums des Kantons Waadt entwickelte sich im Lauf der Zeit, welche geprägt ist vom raschen technischen Fortschritt und von einer Gesellschaft, die zur Konsumentin eines multifunktionellen Waldes geworden ist. Der Erwerb von pflanzensoziologischem und bodenkundlichem Wissen hat von dieser Dynamik profitiert und führte zu einer Bereicherung der forstlichen Datenbank. Deren Interpretation eröffnet ein breites Anwendungsfeld in der Forsteinrichtung und für die Bewirtschaftung, wie einige konkrete Beispiele in der vorliegenden Sondernummer der Schweizerischen Zeitschrift für Forstwesen zeigen.

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 : 544400	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		+	1	
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	HEPATICIA			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).

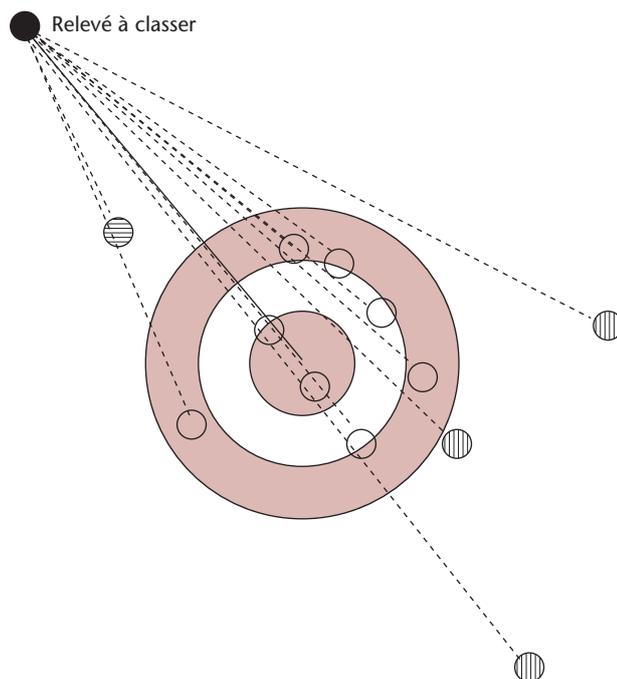


Fig. 3 Présentation schématique du calcul de la distance D entre un relevé à classer (en noir) et un syntaxon de référence représenté par une série de relevés. Le relevé de référence le plus proche du relevé à classer (hachures horizontales) et les relevés les plus éloignés (hachures verticales) ne participent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

Typologie des groupements végétaux forestiers du canton de Vaud: rupture nécessaire d'une tradition

François Clot

Bureau Clot-Plumettaz (CH)*

Raymond Delarze

Bureau d'études biologiques R. Delarze (CH)

Classification of forest vegetation types in Canton Vaud: a necessary break with tradition

The classification of forest vegetation types in Switzerland is based on the nomenclature of Ellenberg and Klötzli (1972), consisting of a list of units and a closed coding system with no apparent structure. The system leaves little room for adjustments to new phytosociological findings and has been fundamentally called in question by the analysis of the forest data base of the Canton Vaud, containing the results of 12,000 vegetation survey samples covering all forests in the Canton. A new, logical 4-digit coding system has therefore been developed, based on a revised set of indicators, allowing for the addition of new units, yet conserving the link to the classical range of forest vegetation types recognized in Switzerland.

Keywords: classification of forest vegetation types, phytosociology, Vaud, Switzerland

doi: 10.3188/szf.2009.s0013

* Rue de l'Ancienne Poste 1, CH-1040 Echallens, courriel francois.clot@bluewin.ch

La phytosociologie forestière présente un certain nombre de spécificités liées aux caractéristiques de l'écosystème étudié. En effet, les espèces végétales caractéristiques et les bonnes différencielles sont souvent rares dans les forêts. C'est pourquoi la typologie des groupements végétaux forestiers repose en grande partie sur les combinaisons de groupes indicateurs reflétant les conditions écologiques locales, plutôt que sur des espèces individuelles. Mais la liste des espèces ne suffit pas toujours pour déterminer une unité stationnelle. Il faut aussi disposer d'informations sur la station (pente, altitude, exposition) et parfois même procéder à un sondage pédologique. Par conséquent, la reconnaissance des types de station forestière accorde aussi une place aux facteurs stationnels abiotiques.

La présente étude est basée sur l'analyse des relevés de végétation effectués principalement de 1988 à 2002 dans l'ensemble des forêts du canton de Vaud, avec pour résultat une collection d'environ 12 000 relevés de végétation, dont près de la moitié disposés systématiquement sur une grille d'inventaire d'un point tous les 400 m (Hartmann et al 2009, ce numéro). Les informations stationnelles offertes par la base de données étant relativement restreintes, surtout en ce qui concerne les caractéristiques du sol, il était important d'exploiter en priorité et aussi judicieusement que possible le pouvoir diagnostique

des groupes indicateurs, puis de travailler la présentation des syntaxons proprement dits.

Dans la littérature phytosociologique forestière, l'ouvrage d'Ellenberg & Klötzli (1972) occupe une place particulière pour les praticiens. Cette synthèse critique des données disponibles à l'époque dresse un catalogue des syntaxons répertoriés au niveau national. Elle adopte de plus un système de numérotation auquel se référeront tous les inventaires menés par la suite à l'échelle des cantons (Schmider et al 1993, Burnand et al 1998, Burnand et al 1999, etc.). Notre travail rompt avec cette tradition bien établie en proposant un système de codification entièrement nouveau. Il était en effet devenu difficile de composer avec le système d'Ellenberg & Klötzli, alourdi d'éléments intercalés et ajoutés par les études cantonales successives. L'idée d'un modèle différent, basé sur une logique différente, s'est progressivement imposée et nous a conduit à créer un système dont les codes reflètent la position hiérarchique des unités tout en fournissant des indications sur l'écologie du milieu.

Les groupes indicateurs

Le principe des groupes indicateurs repose sur l'existence d'espèces spécialement associées à un pa-

ramètre écologique particulier (figure 1), par exemple un sol très humide, espèces qui sont réunies dans un groupe. L'abondance des espèces de ce groupe dans un relevé devient alors significative des conditions écologiques pour le facteur considéré. Puis le spectre des groupes représentés dans un relevé permet d'établir le profil écologique de la station et d'en déduire le groupement végétal. Dans le processus d'identification, l'absence d'un groupe joue aussi souvent un rôle important, car plusieurs groupements forestiers sont définis «par défaut». L'occurrence de groupes antagonistes (par exemple des basophiles et des acidophiles) est aussi un critère utilisé pour mesurer le degré d'hétérogénéité d'une station et détecter les anomalies d'un relevé.

Il existe donc un lien étroit entre la définition des groupes diagnostiqués et celle des unités de végétation qu'ils permettent d'identifier. Néanmoins, le cadre général des groupes écologiques est fixé par les facteurs écologiques dominants et se retrouve sans grands changements dans toutes les études qui ont servi de principales références à notre travail (Burger et al 1996, Burnand et al 1998, Ott et al 1997, Rameau et al 1993). Notre tâche a consisté à adapter les groupes indicateurs aux spécificités et aux besoins de la classification vaudoise. Ce fut un processus itératif au cours duquel la définition des groupes et l'appartenance des espèces ont été progressivement mises en place, parallèlement à l'élaboration de la clé d'identification des groupements.

Les groupes indicateurs les plus importants sont basés sur les trois facteurs définissant les principaux gradients en fonction desquels s'ordonne la végétation forestière: humidité du sol (groupes mésophiles, hygrophiles et xérophiles), pH du sol (groupes mésophiles, acidophiles et basophiles) et altitude (groupes thermotolérants et cryotolérants). D'autres facteurs, comme l'ensoleillement, la texture du sol, la lithologie ou la stabilité du terrain, ont permis de définir des groupes complémentaires (groupes à humidité changeante et saxicoles) et de nombreux sous-

groupes à l'intérieur des groupes principaux. Une espèce peut fonctionner à la fois comme indicateur édaphique et d'altitude, autrement dit appartenir au maximum à deux groupes indicateurs.

La liste détaillée des groupes indicateurs est accessible sur le site web du Service des forêts, de la faune et de la nature du canton de Vaud¹.

Nomenclature et code des groupements végétaux

Défauts des systèmes existants

La typologie des groupements forestiers a connu une première phase avec les travaux de Moor (1952) et de Richard (1961) sur les forêts du Jura, ceux de Kuoch (1954) sur les forêts des Préalpes et ceux de Frehner (1963) sur les forêts du Plateau argovien. Les relevés de ces auteurs et d'autres relevés, publiés ou non, ont permis à Ellenberg et Klötzli (1972) d'établir un catalogue des associations végétales forestières de la Suisse. Ce catalogue, enrichi progressivement de nouveaux groupements, a servi de référence à la plupart des typologies cantonales qui ont été établies depuis (Frehner et al 2005).

La typologie des forêts vaudoises, comme celle des forêts de la région lausannoise qui l'a précédée (Clot et al 1994), se devait donc d'adopter, autant que possible, les groupements végétaux déjà identifiés dans les autres cantons. A quelques exceptions près (voir la liste des associations sur le site web du Service des forêts, de la faune et de la nature du canton de Vaud¹), les groupements vaudois s'intègrent donc sans difficulté à la palette des associations reconnues au niveau suisse (Steiger 1995, Frehner et al 2005).

Si les groupements végétaux des typologies inspirées d'Ellenberg & Klötzli prêtent peu à discus-

Fig. 1 Exemples de répartition d'espèces dans le canton de Vaud (grille systématique de 1 relevé/16 ha). Source: Etat de Vaud.



Aire forestière totale soustraite au parcours du bétail.

Gaillet odorant (*Galium odoratum*).
Espèce mésophile ubiquire.

Houx (*Ilex aquifolium*). Espèce mésophile absente des stations extrêmes.

Tamier commun (*Tamus communis*).
Espèce basophile.

¹ www.vd.ch/observatoire-des-forets (1.9.2009)

sion, la manière dont ils sont codés n'est pas satisfaisante:

- La numérotation séquentielle (de 1 à 71) n'apporte aucune information sur les ressemblances entre groupements et sur leur statut systématique (si la plupart des numéros désignent des associations, certains codent des sous-associations). D'autre part, elle ne permet pas d'insérer facilement de nouvelles associations (celles qui ont été ajoutées ultérieurement sont désignées par un * ajouté après le numéro d'une association ressemblante).
- Le système de subdivision des groupements principaux, construit par ajouts successifs de différents auteurs, pêche par manque de logique et excès de complexité.

Solution proposée

Pour pallier ces difficultés, il a été décidé d'élaborer un système de codage des groupements plus explicite et plus ouvert à l'ajout de nouveaux syntaxons. Dans ce système, le code de chaque syntaxon est un nombre à trois chiffres, complété de manière facultative par un quatrième signe (lettre). Chaque chiffre ou lettre reflète un niveau de précision dans le diagnostic du groupement végétal:

- Le chiffre des centaines représente une série; par exemple 600 = chênaies.
- Le chiffre des dizaines code une association; par exemple 610 = chênaies buissonnantes (*Coronillo-Quercetum*).
- Le chiffre des unités code une sous-association; par exemple 614 = chênaie buissonnante acidophile.
- Le quatrième signe désigne une variante associée à des particularités stationnelles; par exemple 614a = chênaie buissonnante acidophile sur éboulis.

Les listes détaillées relatives aux séries, associations, sous-associations et variantes sont accessibles sur le site web du service des forêts, de la faune et de la nature du canton de Vaud¹.

Les séries

Chaque série correspond à une conjonction écologique dont les facteurs principaux sont le niveau thermique, l'humidité et la teneur en bases du sol, ainsi que la stabilité du milieu (exposition aux perturbations mécaniques telles que chutes de pierres et glissements de terrain). Les séries correspondent grosso modo au niveau traditionnel de l'alliance et sont désignées par les essences qui y ont leur optimum.

Les associations

Au total, 57 associations forestières ont été recensées dans la base de données du canton de Vaud. Le chiffre attribué à une association dans une série ne suit pas de logique particulière.

Les sous-associations

Parmi les codes de sous-associations (de 1 à 9), le chiffre 5 représente la forme «moyenne» (mésophile) de l'association, autour de laquelle gravitent les codes des huit sous-associations correspondant à toutes les combinaisons possibles entre xérophile ou hygrophile et acidophile ou basophile (figure 2).

La majorité des sous-unités identifiées dans la typologie vaudoise correspondent à des sous-associations déjà décrites dans la littérature phytoso-

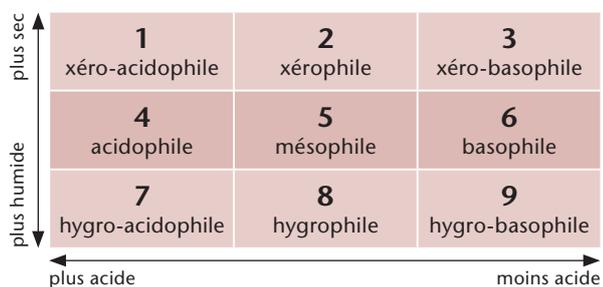


Fig. 2 Position des codes de sous-associations sur l'écogramme «classique» d'humidité et de pH du sol dans le système de classification du canton de Vaud.



Gouet (*Arum maculatum*). Espèce basophile des sols actifs, frais.



Laïche blanche (*Carex alba*). Espèce xérophile.



Hépatique (*Hepatica nobilis*). Espèce méso-xérophile basophile.



Ornithogale des Pyrénées (*Ornithogalum pyrenaicum*). Espèce hygrophile méso-basophile.

ciologique. C'est pourquoi nous avons systématiquement assimilé ces sous-unités à des sous-associations. Leur nombre varie selon l'importance et l'amplitude écologique de chaque association, allant de neuf pour les associations climatiques de chaque étage à une seule (la sous-association typique 5) pour les associations les plus spécialisées et rares.

Les variantes stationnelles

Les variantes sont identifiées par un signe complémentaire que l'on peut ajouter facultativement au code principal à trois chiffres. Il s'agit d'une lettre désignant une variante associée à une particularité lithologique ou topographique (lettres a–g), pédologique (lettres m–q) ou anthropogène (lettres u–w). Ces variantes de la typologie vaudoise ne sont pas toutes reconnues comme telles dans la littérature phytosociologique: beaucoup ne sont pas décrites, alors que certaines ont un statut de sous-association (par exemple *calamagrostietosum* ou *caricetosum flaccae* pour certaines variantes «m» sur sols à humidité changeante), voire d'association (par exemple le *Tilio-Fagetum*, ramené, dans cette typologie vaudoise, à des variantes sur éboulis de diverses associations de hêtraies basophiles).

Discussion

Le modèle appliqué pour classer les forêts vaudoises s'efforce de traduire la position hiérarchique et les particularités écologiques de chaque unité par un code relativement élaboré. Il en résulte un référentiel entièrement différent de la numérotation d'Ellenberg & Klötzli (1972), habituellement utilisée pour les inventaires cantonaux. Toutefois, cette innovation ne remet pas en question le canevas phytosociologique et s'intègre sans difficulté dans la palette des associations reconnues au niveau suisse (Steiger 1995), à l'exemple de la hêtraie à aspérule (*Galio-Fagetum*) (Clot 2009, ce numéro).

La logique combinatoire adoptée offre un cadre à de futures adjonctions. Sur un plan purement théorique, le nombre de combinaisons possibles au niveau 4 dépasse 10 000. En réalité seulement 271 unités ont été observées dans la base de données vaudoise. Il est certain que d'autres combinaisons existent et n'ont pas été échantillonnées lors de l'inventaire. C'est notamment le cas de forêts rares et de faible superficie, comme les pinèdes et les érablaies. Néanmoins, le nombre total d'unités observables dans le canton de Vaud ne devrait pas dépasser 400. ■

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

Références

- BURGER T, STOCKER R, DANNER E, KAUFMANN G, LÜSCHER P (1996) Clé de cartographie des stations forestières des cantons de Berne et Fribourg: Clé de l'utilisateur, Annexe de la clé de l'utilisateur et Commentaires sur les associations forestières. Soleure, Lenzburg: COTRA Kaufmann + Partner, Burger + Stocker. 395 p.
- BURNAND J ET AL (1998) Clé de détermination des stations forestières du Canton du Jura et du Jura bernois. Soleure, Lenzburg: COTRA Kaufmann + Partner, Burger + Stocker. 312 p.
- BURNAND J, HASSPACHER B (1999) Waldstandorte beider Basel. Kommentar zur vegetationskundlichen Standortskartierung der Wälder. Liestal: Verlag des Kantons Basel-Landschaft. 237 p.
- CLOT F, KISSLING P, PLUMETTAZ CLOT AC (1994). Carte phytocéologique des forêts lausannoises. Notice explicative. Lausanne: Service des forêts, domaines et vignobles. 116 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
- ELLENBERG H, KLÖTZLI F (1972) Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Mitt Schweiz Anst Forst Versuchswes 48: 587–930.
- FREHNER HK (1963) Waldgesellschaften im westlichen Aargauer Mittelland. Beitr geobot Landesaufn Schweiz 44: 1–96.



Laîche fausse (*Carex acutiformis*). Espèce très hygrophile à large spectre.



Dentaire à cinq folioles (*Cardamine pentaphyllos*). Espèce basophile calcicole stricte.



Dentaire à sept folioles (*Cardamine heptaphylla*). Espèce basophile calcicole stricte.



Adénostyle à feuilles d'Alliaire (*Adenostyles alliariae*). Espèce hygrophile à large spectre des mégaphorbiées.

- FREHNER M, WASSER B, SCHWITTER R (2005)** Gestion durable des forêts de protection. L'environnement pratique, Berne: Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage. 564 p.
- 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
- KUOCH R (1954)** Wälder der Schweizer Alpen im Verbreitungsgebiet der Weisstanne. *Mitt Eidgenöss Forsch Anst Wald Schnee Landsch* 30: 133–260.
- MOOR M (1952)** Die Fagion-Gesellschaften im Schweizer Jura. Bern: Hans Huber. 201 p.
- OTTE, FREHNER M, FREY H, LÜSCHER P (1997)** Gebirgsnadelwälder. Ein praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung. Bern: Haupt. 287 p.
- RAMEAU JC ET AL (1993)** Flore Forestière Française. Guide Ecologique Illustré, Paris: Lavoisier TEC & DOC Diffusion. 2419 p.
- RICHARD JL (1961)** Les forêts acidophiles du Jura. Etude phytosociologique et écologique. *Mat levé géobot Suisse* 38: 1–164.
- SCHMIDER P, KÜPER M, TSCHANDER B, KÄSER B (1993)** Die Waldstandorte im Kanton Zürich. Zürich: Verlag der Fachver-eine. 287 p.
- STEIGER P (1995)** Wälder der Schweiz. Thun: Ott. 359 p.

Typologie des groupements végétaux forestiers du canton de Vaud: rupture nécessaire d'une tradition

En Suisse, la typologie classique des groupements végétaux forestiers repose sur la nomenclature développée par Ellenberg & Klötzli (1972), avec une liste de groupement et un mode de codage fermé, sans structure évidente, ne laissant guère de place à des modifications dérivant de l'évolution des connaissances phytosociologiques. Or l'analyse de la banque de données forestières du canton de Vaud, riche de 12 000 relevés de végétation couvrant l'ensemble des forêts, a provoqué des remises en question suffisamment fondamentales pour stimuler un système de codage à quatre caractères, plus logique, plus ouvert à l'ajout de syntaxons et basé sur des groupes indicateurs révisés, le tout se reliant sans difficulté à la palette des groupements végétaux forestiers classiquement reconnus au niveau suisse.

Einteilung der Waldgesellschaften im Kanton Waadt: notwendiger Bruch mit der Tradition

In der Schweiz beruht die Einteilung der Waldgesellschaften auf der Nomenklatur von Ellenberg & Klötzli (1972) mit einer Liste der Einheiten und einem abschliessenden Codierungssystem ohne eindeutige Struktur. Sie lässt kaum Anpassungen an die weiterentwickelten pflanzensoziologischen Kenntnisse zu. Die Analyse der forstlichen Datenbank des Kantons Waadt, die 12 000 Vegetationserhebungen umfasst und den gesamten Wald abdeckt, führte zur grundsätzlichen Infragestellung dieser Einteilung und zu einem neuen, logisch aufgebauten Codierungssystem mit vier Zahlen, welches offen ist für die Aufnahme neuer Einheiten. Es basiert auf den überprüften Zeigergruppen und lässt sich ohne Schwierigkeiten mit den klassischen, in der Schweiz bekannten Waldgesellschaften in Verbindung bringen.

La fiche descriptive d'association: l'exemple de la hêtraie à aspérule

François Clot Bureau Clot-Plumettaz (CH)*

The descriptive index of forest vegetation communities: the beech forest with woodruff for example

In the register of vegetation in the Vaud cantonal forestry data bank, the descriptive index of communities, such as the Galio-Fagetum beech forest with sweet woodruff, goes through all the criteria, those floral and those concerning the site, used to define and identify a community, together with possible subassociations or variants. It also defines the position of a community in relationship to neighbouring communities. A bibliographical review takes stock of the specificities of identification of groups in Vaud in correlation with the typologies found in specialized literature.

Keywords: Galio-Fagetum, forest vegetation survey, phytosociology, Vaud, Switzerland

doi: 10.3188/szf.2009.s0018

* rue de l'Ancienne Poste 1, CH-1040 Echallens, courriel francois.clot@bluewin.ch

Cet article présente, à titre d'exemple, la fiche descriptive de la hêtraie à aspérule 110 (*Galio-Fagetum*). Chaque association identifiée dans la typologie vaudoise (Clot & Delarze 2009, ce numéro) fera l'objet d'une fiche semblable. Ces fiches, dont la rédaction devrait être achevée d'ici à fin 2010, seront consultables et téléchargeables sur le site internet du Service des forêts, de la faune et de la nature du canton de Vaud, au fur et à mesure de leur parution¹.

Chaque fiche est constituée d'une partie principale («fiche» proprement dite) qui contient une

brève présentation de l'association, une clé d'identification par rapport aux associations qui lui ressemblent, une clé d'identification des diverses sous-associations et une description de toutes les variantes recensées à ce jour dans le canton de Vaud.

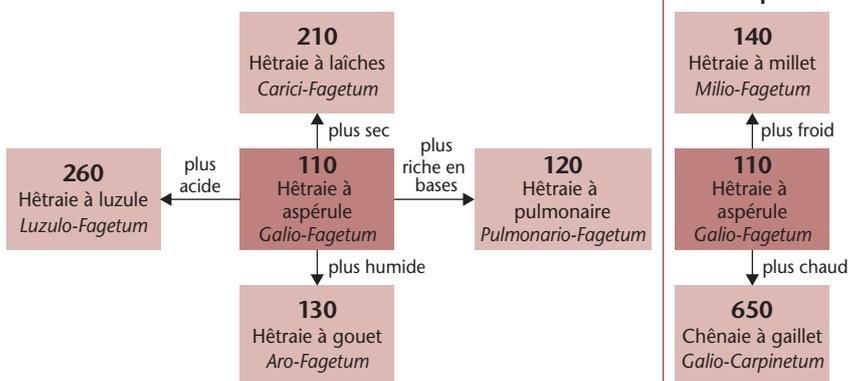
La fiche est complétée par trois fichiers annexes:

- Un ou plusieurs tableaux (selon l'importance de l'association) de relevés phytosociologiques typiques de chaque sous-association et des variantes les plus importantes. Ces tableaux contiennent entre 1 et 12 relevés par groupement, selon le nombre de relevés bien typés présents dans la banque de données.

- Un tableau de synthèse qui réunit les relevés fréquentiels des syntaxons majeurs (représentés par au moins 5 relevés dans les tableaux précédents) d'une même association ou de plusieurs associations proches.

- Une revue bibliographique qui établit surtout les équivalences entre l'association, ses sous-associations et les groupements décrits dans les typologies forestières des régions les plus proches (autres cantons romands, canton de Berne et France voisine). Dans le présent article, la fiche principale n'est suivie que de la revue bibliographique, les tableaux de relevés et de syntaxons n'ayant pu être insérés à cause de leur important volume. Ces tableaux sont toute-

Gradients chimique et hydrique



Gradient thermique

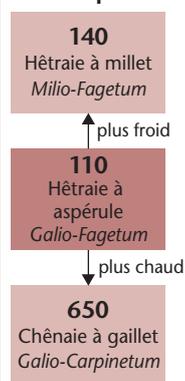


Fig. 1 Position de la hêtraie à aspérule (*Galio-Fagetum*) par rapport aux associations voisines sur les gradients chimique, hydrique et thermique.

¹ www.vd.ch/observatoire-des-forets (1.9.2009)

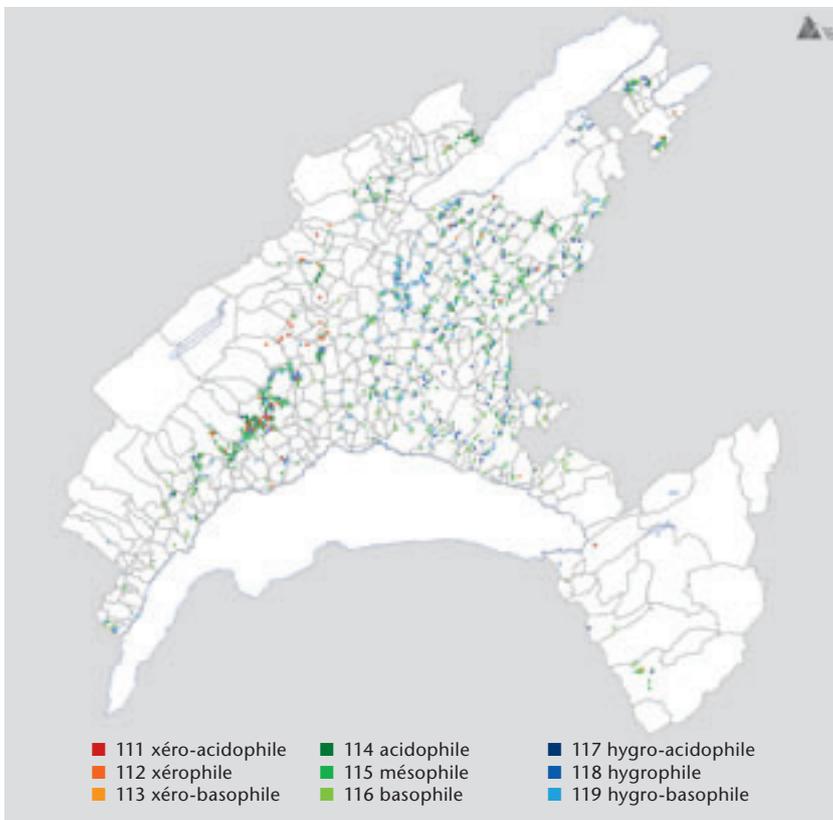


Fig. 2 Répartition de la hêtraie à aspérule (*Galio-Fagetum*) et de ses sous-associations dans le canton de Vaud. Source: Etat de Vaud.

fois consultables sur le site internet du Service des forêts, de la faune et de la nature du canton de Vaud¹.

Présentation de l'association

Climax climatique de l'étage submontagnard, la hêtraie à aspérule se définit principalement par comparaison avec les associations qui l'entourent sur les gradients chimique, hydrique et thermique (figure 1). Dépourvue des espèces différentielles de ces associations, elle se caractérise surtout par la dominance des mésophiles du groupe M. Elle occupe des sols bruns profonds, sans singularité accentuée (acidité, calcaire, sécheresse ou hydromorphie).

Elle est répandue du pied du Jura à celui des Préalpes, avec un optimum sur les moraines du Plateau (figure 2). L'histoire de cette association et sa répartition dans les territoires voisins du canton de Vaud figurent dans la revue bibliographique développée en fin de fiche.

Identification de l'association par rapport aux associations ressemblantes

Les critères d'identification sont hiérarchisés de la manière suivante:

f1	critère floristique principal
f2	critère floristique complémentaire
s1	critère stationnel principal
s2	critère stationnel complémentaire

Par rapport à la hêtraie à laïches 210 (*Carici-Fagetum*), plus xérophile:

- f1 Absence ou extrême rareté des espèces les plus xérophiles (groupes X1 et X2). Ce critère prioritaire n'est pas toujours suffisant, car ces espèces peuvent aussi manquer dans la hêtraie à laïches.
- f2 Espèces méso-xérophiles (groupes X3) moins nombreuses et moins abondantes (recouvrement global < 50%).
- f2 Erable à feuille d'obier (*Acer opalus*), alisier blanc (*Sorbus aria*), alisier torminal (*Sorbus torminalis*) et pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) rarement présents dans la strate arborescente.
- f2 Pas de coexistence d'espèces acidophiles (groupe A) et basophiles (groupe B) dans une même station (ce qui peut arriver dans la hêtraie à laïches, même sur un sol calcaire, à cause de la sécheresse qui ralentit l'activité biologique et favorise l'accumulation de matière organique).

Par rapport à la hêtraie à gouet 130 (*Aro-Fagetum*), plus hygrophile:

- f1 Espèces hygrophiles (groupe H) moins abondantes et vigoureuses que les mésophiles (groupe M). Sur le terrain, ce critère est surtout applicable en début de saison, lorsque la ficaria (*Ranunculus ficaria*) ou l'ail des ours (*Allium ursinum*) sont encore visibles. A partir de fin juin, la distinction entre les deux associations est plus difficile à faire.

Par rapport à la hêtraie à luzule 260 (*Luzulo-Fagetum*), plus acidophile:

- f1 Présence significative des espèces mésophiles (groupe M), dont le recouvrement global est généralement supérieur à celui des espèces acidophiles (groupe A).
- f2 Ronce (*Rubus fruticosus*) abondante et vigoureuse, généralement accompagnée d'autres arbustes. Ce critère est particulièrement utile dans les stations perturbées pauvres en espèces indicatrices (coupes rases, fourrés, forêts enrésinées).

Par rapport à la hêtraie à pulmonaire 120, plus basophile:

- f1 Absence ou extrême rareté des espèces calcicoles strictes (groupe B11).
- f2 Mercuriale (*Mercurialis perennis*) (groupe B12) parfois présente dans les sous-unités basophiles (113, 116, 119), mais jamais en grande quantité (recouvrement maximum de 2).
- s1 Sur talus, même si la flore calcicole fait défaut, l'absence de calcaire dans les horizons superficiels du sol (> 30 cm) devrait être vérifiée (tarière + HCl!). Cette vérification est particulièrement nécessaire sur le Plateau, où les espèces basophiles manquent souvent, même sur les sols calcaires.

Par rapport à la hêtraie à millet 140 (*Milio-Fagetum*), climax climatique de l'étage montagnard inférieur, les critères de distinction de l'étage submontagnard s'appliquent (Horisberger & Clot 2009, ce numéro).

Identification des sous-associations

La hêtraie à aspérule (*Galio-Fagetum*) se subdivise en neuf sous-associations, une par case de l'éco-gramme pH/humidité du sol (figure 3), toutes suffisamment représentées dans la banque de données pour figurer dans le tableau des relevés de l'association et dans celui des syntaxons 110 à 130 (syntaxons des hêtraies mésophiles submontagnardes). La revue bibliographique développée en fin de fiche présente les équivalences éventuelles entre ces sous-associations vaudoises et les sous-unités de hêtraie à aspérule décrites dans les territoires voisins.

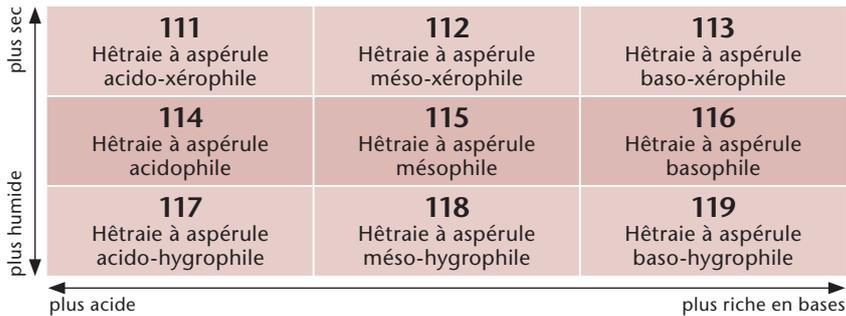


Fig. 3 Éco-gramme des sous-associations de la hêtraie à aspérule (*Galio-Fagetum*).

Identification sur l'axe hydrique de l'éco-gramme

Les sous-associations xérophiles (111, 112, 113) se distinguent par les critères suivants:

- | | |
|----|---|
| f1 | Présence significative (recouvrement cumulé ≥ 1) de quelques espèces xérophiles (groupe X) et absence de toute espèce hygrophile (groupe H). Les différentielles sont en général des méso-xérophiles (groupe X3), dont deux sont indifférentes au pH du sol et donc communes aux trois sous-associations: laïche des montagnes (<i>Carex montana</i>) et muguet (<i>Convallaria majalis</i>). |
| f2 | Dans les stations basophiles (113), présence d'arbustes méso-basophiles (groupe B22). |
| s2 | Terrain plutôt convexe (haut de pente, dôme) et exposé au sud. |

Les sous-associations mésophiles (114, 115, 116; figure 4) se distinguent par les critères suivants:

- | | |
|----|---|
| f1 | Absence ou rareté des xérophiles (groupe X) et des hygrophiles (groupe H). Certains relevés de la banque de données, provenant probablement de stations perturbées ou hétérogènes, ont aussi été attribués à cette catégorie intermédiaire parce qu'ils contenaient des représentants de ces deux groupes antagonistes. |
| s2 | Caractéristiques topographiques et pédologiques variables. Les stations types sont des terrains plats ou en pente douce, avec des sols normalement drainés (premiers signes d'hydromorphie à plus de 60 cm de profondeur). |

Les sous-associations hygrophiles (117, 118, 119) se distinguent par les critères suivants:

- | | |
|----|--|
| f1 | Présence significative (recouvrement cumulé ≥ 1) de quelques espèces hygrophiles (groupe H) et absence de toute espèce xérophile (groupe X). Les différentielles sont en général des méso-hygrophiles (groupe H3 surtout, parfois H2), dont quatre sont indifférentes au pH du sol et donc communes aux trois sous-associations: circée de Paris (<i>Circaea lutetiana</i>), épiàire des forêts (<i>Stachys sylvatica</i>), muscattelle (<i>Adoxa moschatellina</i>) et canche gazonnante (<i>Deschampsia cespitosa</i>) (groupe H31). |
| s1 | Terrain généralement concave (bas de pente ou cuvettes) et sol présentant des signes d'hydromorphie bien visibles: concrétions de manganèse ou taches couleur rouille, dès 20–30 cm de profondeur (tarière!). |

Les sous-associations acidophiles (111 [figure 5], 114, 117) se distinguent par les critères suivants:

- | | |
|----|--|
| f1 | Présence significative (recouvrement cumulé ≥ 1) d'espèces nettement acidophiles (groupes A1, A2, A3, A41 et X33). Les mousses du groupe A15 n'entrent pas dans ce décompte si elles n'occupent que les souches ou la base des troncs. Les différentielles les plus fréquentes sont la luzule blanc-de-neige (<i>Luzula nivea</i>), la luzule des bosquets (<i>Luzula luzuloides</i>), le chèvrefeuille des bois (<i>Lonicera periclymenum</i>) et le polytric commun (<i>Polytrichum formosum</i>). Les espèces basophiles (groupes B et X34) sont absentes des stations homogènes et non perturbées. |
| s2 | Sol à activité biologique ralentie (moder avec litière pluriannuelle). Ce critère doit notamment être rempli dans les peuplements artificiels d'épicéas, où la dominance d'espèces acidophiles favorisées par la litière de résineux (groupes A15 et A42 surtout) n'est pas un critère suffisant. |

Les sous-associations mésophiles (112, 115, 118) se distinguent par les critères suivants:

- | | |
|----|---|
| f1 | Absence ou rareté des espèces nettement acidophiles (groupes A1, A2, A3, A41 et X33) et des basophiles (groupe B). Certains relevés de la banque de données, provenant probablement de stations perturbées ou hétérogènes, ont aussi été attribués à cette catégorie intermédiaire parce qu'ils contenaient des représentants de ces deux groupes antagonistes. |
|----|---|

Les sous-associations basophiles (113, 116, 119 [figure 6]) se distinguent par les critères suivants:

- | | |
|----|---|
| f1 | Présence d'au moins une espèce basophile de bonne qualité (groupes B1, B21, X34 et H33) ou de deux basophiles en général (mêmes groupes + groupe B22). Les différentielles les plus fréquentes sont les arbustes du groupe B22, surtout dans 113, le gouet (<i>Arum maculatum</i>), surtout dans 116 et 119, ainsi que la pulmonaire sombre (<i>Pulmonaria obscura</i>), surtout dans 119. Les espèces acidophiles (groupes A et X33) sont absentes des stations homogènes. |
| s2 | Sol riche en bases (pH ~6), avec humus actif, grumeleux (mull). Un horizon carbonaté est parfois atteignable (tarière + HCl!) à partir de 40–50 cm, surtout dans les stations méso-xérophiles (113). |



Fig. 4 Hêtraie à aspérule mésophile, avec tapis végétal pauvre en espèces, sur sol morainique à bonne capacité de rétention en eau, favorable à la production de bois de hêtre de qualité, très favorable aux essences hôtes tels que le mélèze et le douglas qui s'y régénèrent naturellement, mais propice au dépérissement du sapin et de l'épicéa. Territoire communal de Concise, région du Jura, altitude 660 m.

Identification des variantes

Les variantes suivantes, associées à d'autres facteurs écologiques que l'humidité ou la chimie du sol, ont été recensées dans le canton pour la hêtraie à aspérule (*Galio-Fagetum*):

- **116f**: talus de ravins au microclimat frais et humide, sur des sols en pente raide (> 30°), soumis à l'érosion et souvent surplombés ou entrecoupés d'affleurements rocheux. Le cortège floristique de ces stations est appauvri, caractérisé généralement par la présence de fougères et d'espèces des ravins (groupes H42 et M35), particulièrement la reine des bois (*Aruncus dioicus*). La variante 116f se distingue des variantes 120f, beaucoup plus fréquentes, par la décarbonatation du sol (tarière + HCl!) et l'absence d'espèces calcicoles (groupe B1).
- **113m et 116m** (variantes absentes de la banque de données, mais déjà observées sur le terrain): sols marneux décarbonatés à humidité changeante, généralement sur des pentes modelées par d'anciens glissements de terrain. La laïche glauque (*Carex flacca*) est la principale espèce différentielle, mais son recouvrement peut varier de quelques touffes à plus de 50% selon le degré d'ouverture de la station.

Les meilleurs critères de distinction de ces variantes sont donc le sol et la topographie.

- **115n, 116n, 118n et 119n**: sols eutrophisés (remblais, petites décharges, lisières agricoles). Le cortège floristique de ces variantes est caractérisé par l'abondance des nitrophiles du groupe M4 (recouvrement cumulé ≥ 4).
- **118p et 119p**: sols limono-argileux à pseudogley, caractérisés par un niveau fluctuant de la nappe phréatique: relativement profonde sous une futaie, à cause du pompage de l'eau par les arbres, celle-ci se rapproche de la surface après une coupe rase ou un tassement du sol. Ces variantes couvrent de grandes surfaces sur la molasse d'eau douce, mais elles sont difficiles à identifier dans la banque de données, ce qui explique leur apparente rareté. Elles sont plus facilement repérables sur le terrain, quand les espèces méso-hygrophiles (groupes H2 et H3) sont nombreuses dans une coupe rase ou sur un sol tassé alors qu'elles sont absentes de la futaie voisine. Les traces d'hydromorphie dans le sol et la situation topographique (plateau légèrement concave) aident également à identifier ces stations dont la gestion est délicate (peu propices au hêtre et au chêne pédonculé, sensibles au tassement et exposées aux chablis).
- **116u et 119u**: cordons boisés et autres enclaves forestières dans les zones agricoles ou bâties. Les conditions stationnelles sont probablement celles d'une hêtraie climatique, mais les nombreuses perturbations ont conduit à un peuplement secondaire dominé par le frêne et d'autres feuillus pionniers, avec un sous-bois riche en espèces héliophiles, basophiles et nitrophiles. Les relevés de ces stations sont difficiles à identifier dans la banque de données, ce qui explique leur apparente rareté.

Revue bibliographique

Association

La première description de la hêtraie à aspérule (*Galio-Fagetum*) sur le Plateau suisse est celle de Frehner (1963), qui la nomme *Melico-Fagetum*. Cette appellation est changée en *Galio-Fagetum* par Ellenberg & Klötzli (1972), qui distinguent le *Galio-Fagetum luzuletosum* (unité 6) et le *Galio-Fagetum typicum* (unité 7), deux groupements bien décrits et illustrés par Steiger (1994).

La terminologie d'Ellenberg & Klötzli est adoptée dans la plupart des typologies cantonales ultérieures, notamment celle de Berne/Fribourg (Burger et al 1996) et celle du Jura (Burnand et al 1998). Dans ces typologies, les unités 6 et 7 sont subdivisées en diverses sous-unités (voir plus bas). Dans le canton de Neuchâtel, aucun *Galio-Fagetum* n'est recensé (Richard 1964, 1965), parce que les stations correspondantes ont été attribuées à d'autres associations de hêtraie: *Carici-Fagetum*, *Melampyro-Fagetum*, *Milio-*



Fig. 5 Hêtraie à aspérule acido-xérophile, avec tapis végétal pauvre en espèce, traditionnellement enrichie en chêne sessile, sur sol morainique relativement filtrant, propice au dépérissement de l'épicéa et du sapin malgré leur capacité de germination élevée, moins favorable à la production de bois de hêtre de qualité que dans les sous-associations plus humides. Bois d'Epandes, territoire communal d'Apples, région de La Côte, altitude 680 m.

Fagetum ou *Fagetum sylvaticae*. L'association n'est pas non plus signalée en Valais, où une association vicariante, le *Luzulo niveae-Fagetum* (unité 21.3), occupe des stations comparables sur substrat cristallin (Werlen 1994); on devrait toutefois la trouver çà et là dans le Chablais valaisan. Elle ne figure pas plus dans la liste des groupements forestiers genevois (Werdenberg & Hainard 1999) qui, vu leur rareté dans le canton, regroupe les hêtraies en une seule catégorie non définie phyto-écologiquement.

En France voisine (Rameau et al 2000), les habitats forestiers correspondants forment trois variantes de la hêtraie-chênaie à aspérule et mélisque (H31): une variante neutrophile à aspérule et mélisque, une variante acidophile à millet, chèvrefeuille et pâturin de Chaix, et une variante mésoacidophile à espèces acidiphiles.

Sous-associations

Sur les neuf sous-associations 111 à 119 de la hêtraie à aspérule (*Galio-Fagetum*), cinq correspondent à des sous-associations déjà décrites dans la littérature phyto-écologique suisse:

- 113 s'apparente au *Melico-Fagetum cornetosum* selon Frehner (1963), repris notamment dans les typologies Berne/Fribourg (Burger et al 1996) et Jura (Burnand et al 1998) sous le nom de *Galio-Fagetum cornetosum* (code 7e). Il faut signaler cependant que, dans le canton de Vaud, la sous-association est un peu plus xérophile que dans les autres cantons. Les auteurs cités auraient probablement rattaché plusieurs relevés au *Carici-Fagetum*.

- 114 correspond au *Galio-Fagetum luzuletosum* d'Ellenberg et Klötzli (1972), groupement repris dans toutes les typologies dérivées (code 6 ou 6a), notamment celles de Berne/Fribourg (Burger et al 1996) et du Jura (Burnand et al 1998).

- 115 constitue le cœur du large *Galio-Fagetum typicum* d'Ellenberg & Klötzli (1972), subdivisé finement dans certaines typologies ultérieures à cause de l'importance de ce groupement en terme de surface et de potentiel de production. C'est ainsi que Burger et al (1996) distinguent du 7a (*Galio-Fagetum typicum s.str.*) deux faciès légèrement plus acidophiles, intermédiaires avec le *Galio-Fagetum luzuletosum*: 7a^a au sous-bois appauvri (par l'enrésinement ou une épaisse litière de hêtre) et 7a_L, riche en *Luzula luzuloides*, mais sans autres acidophiles. Ces distinctions subtiles n'ont pas été reprises dans la typologie vaudoise, la sous-association 115 englobant toutes ces variantes.

- 117, méso-hygrophile et légèrement acidophile, correspond au *Melico-Fagetum caricetosum remotae* selon Frehner (1963), repris notamment dans la typologie Berne/Fribourg (Burger et al 1996) sous le nom de *Galio-Fagetum caricetosum remotae* (code 7c).

- 118, inclus d'abord dans le *Galio-Fagetum typicum* d'Ellenberg & Klötzli (1972), correspond dans les typologies ultérieures (Burger et al 1996, Burnand et al 1998) au *Galio-Fagetum stachyetosum sylvaticae* (code 7a_s).



Fig. 6 Hêtraie à aspérule hygro-basophile, avec tapis végétal relativement dense, traditionnellement enrichie en chêne sessile ou pédonculé, sur sol argilo-limoneux sensible au tassement, propice au dépérissement du hêtre, du chêne pédonculé, du sapin et de l'épicéa. Bois du Devens, territoire communal de Chavornay, région du Plateau, altitude 580 m.

Les sous-associations 116 et 119, incluses d'abord dans le *Galio-Fagetum typicum* d'Ellenberg & Klötzli (1972), sont regroupées dans les typologies ultérieures (Burger et al 1996, Burnand et al 1998) dans une seule sous-association méso-basophile: le *Galio-Fagetum pulmonarietosum* (code 7f). Ces mêmes auteurs distinguent toutefois une variante typique, qui correspond à la sous-association 116, et une variante hygrophile à *Stachys sylvatica*, qui correspond à la sous-association 119.

Les sous-associations 111 et 112 ne correspondent à aucun groupement décrit dans les autres typologies suisses. Dans les écovogrammes de ces typologies (par exemple Bürger et al 1996), l'emplacement correspondant à 112 est vide alors que celui correspondant à 111 est occupé par le *Galio-Fagetum luzuletosum* (code 6), l'emplacement de 114 étant occupé par un *Galio-Fagetum typique à luzules* (code 7d). Cependant, d'après les critères d'identification floristiques fournis, le groupement 6 se distingue plus de 7d par une acidophilie marquée (avec notamment la présence du groupe de *Vaccinium myrtillus*) que par sa plus grande xérophilie. Les espèces xérophiles différentielles de 111 (groupes X31 et X33) ne figurent pas dans le *Galio-Fagetum luzuletosum* de ces diverses typologies. ■

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

Références

BURGER T, STOCKER R, DANNER E, KAUFMANN G, LÜSCHER P (1996) Clé de cartographie des stations forestières des cantons de Berne et Fribourg: Clé de l'utilisateur, Annexe de la clé de l'utilisateur et Commentaires sur les associations

forestières. Soleure, Lenzburg: COTRA Kaufmann + Partner, Burger + Stocker. 395 p.

BURNAND J ET AL (1998) Clé de détermination des stations forestières du Canton du Jura et du Jura bernois. Soleure, Lenzburg: COTRA Kaufmann + Partner, Burger + Stocker. 312 p.

CLOT F, DELARZE R (2009) Typologie des groupements végétaux forestiers du canton de Vaud: rupture nécessaire d'une tradition. *J for suisse* 160: s13–s17. doi: 10.3188/szf.2009.s0013

ELLENBERG H, KLÖTZLI F (1972) Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. *Mitt Eidgenöss Anst forst Vers wesen*, 48 (4): 591–930.

FREHNER HK (1963) Waldgesellschaften im westlichen Aargauer Mittelland. *Beitr geobot Landesaufn Schweiz* 44: 1–96.

HORISBERGER D, CLOT F (2009) Répartition altitudinale de la végétation forestière du canton de Vaud: affinage des connaissances. *J for suisse* 160: s24–s34. doi: 10.3188/szf.2009.s0024

RAMEAU JC, GAUBERVILLE C, DRAPIER N (2000) Gestion forestière et diversité biologique. Identification et gestion intégrée des habitats d'intérêt communautaire. France, domaine continental. Paris: Institut pour le développement forestier. 114 p.

RICHARD JL (1964) Carte phytosociologique des forêts du Canton de Neuchâtel: description sommaire des associations et de leur écologie. *Couvet: Service de la faune, des forêts et de la nature*. 11 p.

RICHARD JL (1965) Extraits de la carte phytosociologique des forêts du Canton de Neuchâtel. *Mat levé géobot Suisse* 47. 40 p.

STEIGER P (1994) *Wälder der Schweiz*. Thun: Ott. 359 p.

WERDENBERG K, HAINARD P (1999) Les paysages végétaux du Canton de Genève. Genève: Conservatoire et jardin botanique de la Ville de Genève, Série documentaire n° 34. 68 p.

WERLEN C (1994) Elaboration de la carte de végétation forestière du Valais. Sion: Service des forêts et du paysage. 11 p.

La fiche descriptive d'association: l'exemple de la hêtraie à aspérule

La fiche descriptive d'association, à l'exemple de la hêtraie à aspérule (*Galio-Fagetum*), passe en revue tous les critères floristiques et stationnels utilisés pour définir et identifier une association, ainsi que ses éventuelles sous-associations ou variantes, dans la collection de relevés de végétation de la banque de données forestières du canton de Vaud. Elle définit également le positionnement d'une association par rapport aux associations voisines. Une revue bibliographique fait le point sur les spécificités de l'identification des groupements du système vaudois par rapport aux typologies de la littérature spécialisée.

Das Objektblatt zur Waldgesellschaft: das Beispiel des Waldmeister-Buchenwaldes

Das Objektblatt, vorgeführt am Beispiel des Waldmeister-Buchenwaldes (*Galio-Fagetum*), listet für jede Einheit sowie für allfällige Untereinheiten oder Varianten alle floristischen und standörtlichen Kriterien auf, die zur Definition und Bestimmung derselben innerhalb der Sammlung der Vegetationserhebungen in der forstlichen Datenbank des Kantons Waadt verwendet wurden. Es definiert auch die Lage der Einheit im Verhältnis zu den Nachbarheiten. Eine Literaturübersicht zieht Bilanz über die Besonderheiten der Einteilung der Einheiten nach dem System des Kantons Waadt im Vergleich zur Fachliteratur.

Répartition altitudinale de la végétation forestière du canton de Vaud: affinage des connaissances

Denis Horisberger
François Clot

Service des forêts, de la faune et de la nature du canton de Vaud (CH)*
Bureau Clot-Plumettaz (CH)

Distribution of the forest vegetation according to altitude in canton Vaud: a more detailed knowledge

The notion of altitudinal vegetation zones is studied with the help of species showing distinctive characteristics according to altitude in order to provide a better understanding of the response of plants to climatic differences between, for example, north- and south-facing slopes or between the Jura and the Alps. This study offers explanations for variations in wood productivity, taking into consideration global warming, which is beginning to have an impact on the forest. Tested by repeated analyses, the proposed altitudinal structure often confirms existing knowledge based on observation, but also calls in question some previously established conceptions which were insufficiently validated by systematic inventories. This approach aims to provide forest managers with statistically substantiated ground references and equally to satisfy the expectations of specialists working in applied research.

Keywords: phytosociology, altitudinal vegetation zones, Vaud, Switzerland
doi: 10.3188/szf.2009.s0024

* La Faille, CH-1423 Villars-Burquin, courriel denis.horisberger@bluewin.ch

La répartition zonale de la végétation en fonction de l'altitude, c'est-à-dire dépendant des niveaux thermiques, a retenu l'attention des géobotanistes dès le XVIII^e siècle (Landolt 1983, Theurillat 1991). Mais, comme le relevait déjà Braun-Blanquet, le «père» de la phytosociologie, les caractéristiques climatiques et géologiques variables d'une région géographique à l'autre compliquent l'élaboration d'une conception globale de l'étagement des ceintures de végétation (Braun-Blanquet 1964). Néanmoins, l'expérience alimentée par des considérations climatiques et floristiques dégage un certain consensus sous-jacent aux synthèses phytosociologiques récemment publiées en Suisse, dans lequel s'est intégrée la typologie des groupements végétaux forestiers du canton de Vaud (Clot & Delarze 2009, ce numéro). Dans ce canton, la disponibilité d'une banque de données floristiques et stationnelles systématiques couvrant l'ensemble des forêts permet de caractériser le comportement des espèces en fonction de l'altitude et de préciser la description des étages de végétation.

Source et exploitation des données

L'établissement d'une liste d'espèces différentielles de l'altitude et la structuration altitudinale de la végétation forestière dans le canton de Vaud reposent sur l'utilisation de la banque des données forestières, exploitée selon les principes suivants:

- sélection des relevés de la grille systématique de 1 relevé/16 ha (1 relevé d'environ 100 m² de surface tous les 400 m) appliquée sur le réseau des coordonnées nationales;
- à l'intérieur de la sélection ci-dessus, prise en compte des seuls relevés taxés «forêt soustraite au parcours du bétail» au sens de la définition légale de la forêt et dont la nature a été contrôlée par les gestionnaires de terrain; il s'agit de 5326 relevés de végétation correspondant à 85 216 ha de forêt;
- recherche de la distribution altitudinale des espèces par tranches de 100 m en fonction de leur seule présence/absence dans les relevés;
- pondération des données de présence/absence des espèces par tranche altitudinale de 100 m en

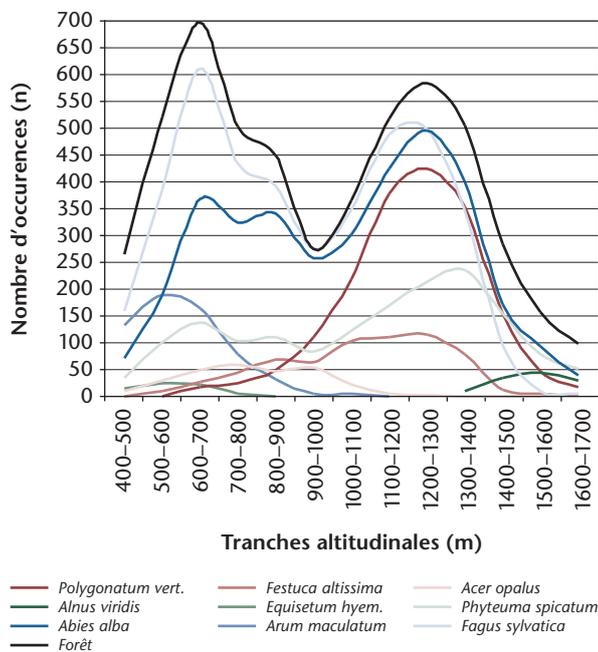


Fig. 1 Répartition altitudinale réelle, en nombre d'occurrences (n), de la forêt et d'une sélection d'espèces végétales.

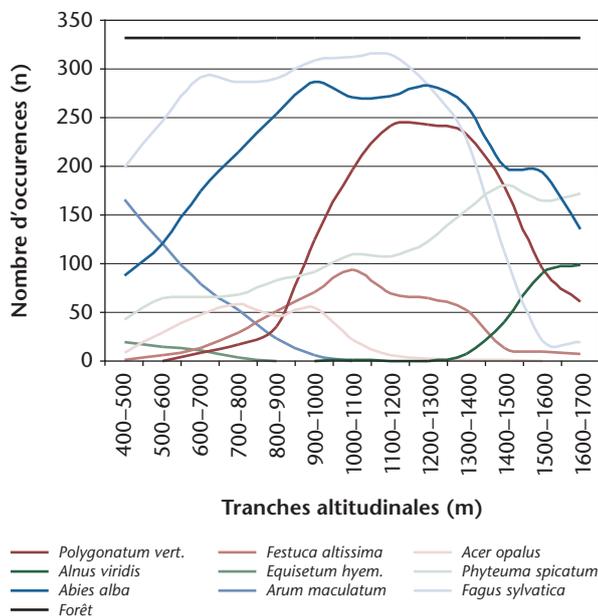


Fig. 2 Répartition altitudinale pondérée, en nombre d'occurrences (n), de la forêt et d'une sélection d'espèces végétales.

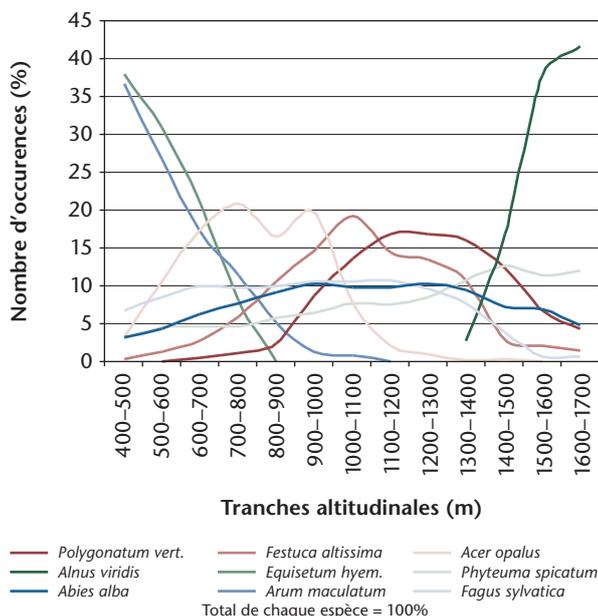


Fig. 3 Répartition altitudinale pondérée, en pourcentage d'occurrences (%), d'une sélection d'espèces végétales.

fonction de la surface forestière effective de la tranche en question, ceci pour tenir compte du taux variable d'occupation des forêts selon l'altitude et rendre les données comparables.

Comportement général des espèces végétales

Comme le démontre la suite des figures 1, 2 et 3 (courbes lissées selon la procédure du logiciel Excel), le profil de répartition altitudinale des espèces donne des images différentes selon la méthode de représentation utilisée, chacune possédant ses qualités informatives propres. Les espèces présentées à titre d'exemple sont la prêle d'hiver (*Equisetum hyemale*), le gouet (*Arum maculatum*), la grande fétuque (*Festuca altissima*), le sceau de Salomon verticillé (*Polygonatum verticillatum*), la raiponce en épi (*Phyteuma spicatum*), l'érable à feuilles d'obier (*Acer opalus*), l'aune vert (*Alnus viridis*), le hêtre (*Fagus sylvatica*) et le sapin blanc (*Abies alba*).

Le profil construit à partir des données brutes (figure 1) mélange la répartition altitudinale des espèces avec l'étendue forestière réelle de chaque tranche altitudinale. C'est l'image d'une réalité conditionnée par les facteurs topographiques (par exemple la pente moyenne élevée des forêts situées entre 900 et 1000 m d'altitude, qui réduit leur surface potentielle), géographiques (par exemple les frontières cantonales) et historiques (par exemple la pression agricole et urbaine au-dessous de 550 m d'altitude), ensemble de facteurs difficile à décrypter sous cette forme.

Les données pondérées, exprimées en nombre d'occurrences (figure 2), indiquent le profil que prendrait la répartition des espèces si les surfaces forestières étaient également représentées dans chaque tranche altitudinale du canton de Vaud. C'est l'image de la sensibilité altitudinale réelle des espèces: la pondération gomme l'influence des facteurs topographiques et géographiques, alors que l'influence de la température ambiante sur la répartition altitudinale de chaque espèce devient lisible.

Les données relatives pondérées, exprimées en pourcentage d'occurrences par espèce (figure 3), indiquent également le profil de la répartition des espèces si les surfaces forestières étaient également représentées dans chaque tranche altitudinale. C'est l'image de la sensibilité altitudinale réelle de chaque espèce.

L'allure générale d'une courbe de répartition altitudinale illustre principalement, entre tous les facteurs influençant les processus fondamentaux de nutrition, la réponse aux facteurs thermoclimatiques. L'analyse de la répartition altitudinale des plantes révèle, à côté d'espèces peu sensibles à la température, l'existence de deux grandes catégories: les

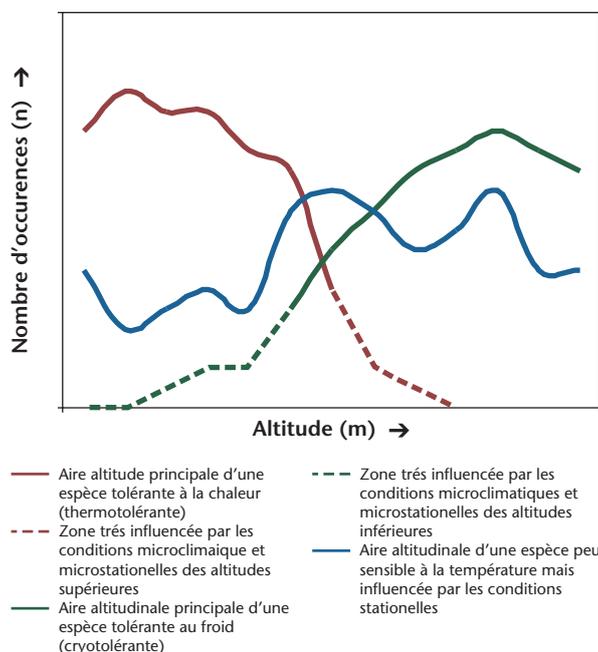


Fig. 4 Identités altitudinales types des espèces végétales.

espèces tolérantes à la chaleur, ou thermotolérantes, et les espèces tolérantes au froid, ou cryotolérantes. Leurs courbes types (figure 4) sont caractérisées:

- par une aire de répartition principale conditionnée premièrement par la température ambiante, secondairement par d'autres facteurs stationnelles (géologie, pluviométrie, etc.),
- par les marges ultimes de la répartition altitudinale (marge supérieure dans le cas des espèces thermotolérantes et marge inférieure dans le cas des espèces cryotolérantes) dont l'allure dépend de la raréfaction des niches microclimatiques et microstationnelles favorables à l'espèce.

Répartition altitudinale des espèces végétales

L'analyse plus approfondie de quatre espèces tirées de la sélection précédente donne une idée de la complexité des comportements spécifiques. Elle révèle notamment des différences de répartition altitudinale entre deux régions climatiquement bien différenciées, celle du Jura et de la Côte et celle des Alpes (figures 5 et 6), alors que le Plateau, qui culmine vers 950 m, n'apporte pas assez d'informations utilisables sur le comportement altitudinal des espèces.

L'érable à feuilles d'obier (*Acer opalus*) est reconnu comme une espèce de basse altitude qui craint les hivers rigoureux. Il est surtout répandu sur les sols riches en bases des éboulis ou rochers calcaires. Dans le Jura et sur la Côte, cet érable est présent à 99.8% des cas au-dessous de 1100 m d'altitude, toutes strates confondues. Dans les Alpes, il dépasse dans 5.3% des cas cette même altitude, avec un extrême constaté à 1498 m dans la région de Corbeyrier, dans la strate arbustive d'une hêtraie à sapin calcicole en exposition sud-ouest. Comme d'autres espèces, l'éra-

ble à feuilles d'obier trouve donc dans les Alpes des conditions climatiques et stationnelles provoquant un décalage significatif vers le haut par rapport au Jura.

La grande fétuque (*Festuca altissima*) compte dans la littérature spécialisée parmi les espèces montagnardes relativement rares au-dessous de 750 à 800 m d'altitude. Dans le canton de Vaud, elle apparaît dès 550 m dans la région du Jura et de La Côte, où elle ne dépasse pas 1400 m. Dans les Alpes, elle est rare au-dessous de 800 m, alors qu'on l'observe régulièrement entre 1400 et 1550 m, avec un maximum à 1664 m au fond de la vallée de l'Étivaz. Une analyse fine montre que la grande fétuque possède une affinité presque exclusive pour les sols issus de

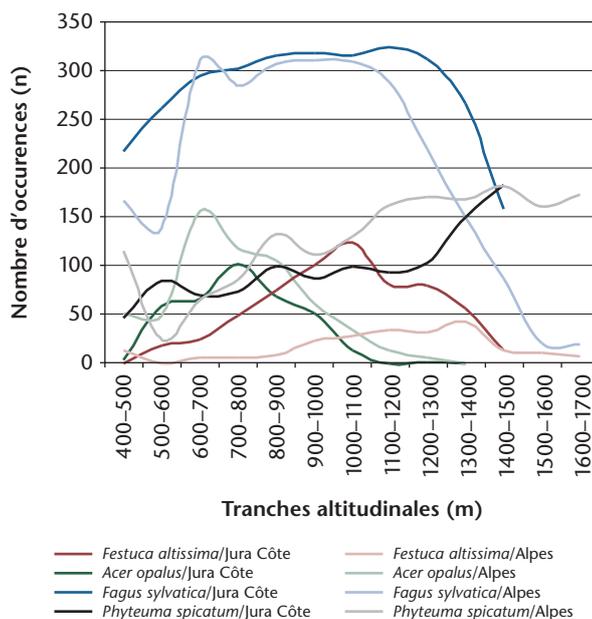


Fig. 5 Répartition altitudinale pondérée, en nombre d'occurrences (n), de quatre espèces végétales.

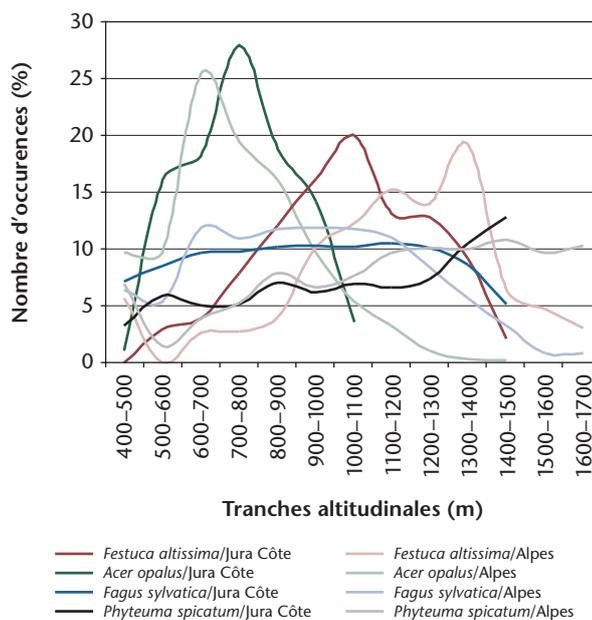


Fig. 6 Répartition altitudinale pondérée, en pourcentage d'occurrences (%), de quatre espèces végétales.

Fig. 7 Présence en recrudescence du hêtre à 1440 m d'altitude suite à l'abandon de la pâture du bétail. Crête du Marchairuz (Jura), automne 2007.



moraines alpines au-dessous de 1000 m d'altitude, alors que ce n'est plus le cas au-dessus. Un probable facteur nutritionnel associé à l'acidité du sol entraîne cette espèce vers le bas, notamment au pied du Jura, phénomène peut-être renforcé par les enrésinements pratiqués sur moraines après l'abandon d'usages agricoles ou pastoraux vers le début du XX^e siècle.

Fréquemment utilisé pour structurer un système d'étages de végétation, le hêtre (*Fagus sylvatica*) apparaît, toutes strates confondues, dans 4040 relevés systématiques sur 5326, soit dans 76% des forêts vaudoises, et à 3464 reprises dans la strate arborescente, soit dans 65% des cas. Aucune raréfaction imputable à des facteurs autres que des conditions extrêmes de sol ne semble décelable au-dessous de 500 m d'altitude, soit à un niveau où une raréfaction au profit du chêne est souvent supputée (Horisberger & Meylan 2009a, ce numéro). Par contre, autant dans le Jura que dans les Alpes, une brusque raréfaction se manifeste au-dessus de l'altitude de 1400 m, où le hêtre ne se maintient quasiment que sur sols calcaires et en adret. Dans le Jura, où les forêts situées au-dessus de 1500 m sont rares, trois régions sont caractérisées par une présence régulière du hêtre en strate arborescente au-dessus de 1400 m d'altitude: le long de la crête entre le Mont Tendre et la Dôle (figure 7), au Chasseron et dans la région du Soliat bordant le Creux du Van. Dans les Alpes, l'apparition la plus élevée se situe à 1764 m, sur la crête de Cabeuson au nord d'Ollon, station faisant partie des 5.3% de relevés alpins contenant du hêtre à plus de 1400 m d'altitude. Dans les deux régions, la baisse de fréquence du hêtre au-dessus de 1400 m est si brusque que des investigations supplémentaires sur

son comportement physiologique seraient nécessaires pour comprendre véritablement sa répartition altitudinale. En effet, l'influence de l'homme sur cette essence appréciée comme source d'énergie a été grande au cours des siècles, conduisant tantôt à sa raréfaction, tantôt à une présence durable sous forme de taillis, même à haute altitude. L'observation du hêtre en arrière-automne, alors que les feuilles sont encore bien accrochées aux jeunes tiges, permet de constater sa force de colonisation, un demi-siècle après l'abandon du parcours du bétail.

La raiponce en épi (*Phyteuma spicatum*) fait partie des espèces régulièrement présentes à toutes altitudes, jusqu'à la limite des forêts, entre 1900 et 2000 m. Tout au plus a-t-elle une préférence pour les climats frais, manifestée par une fréquence légèrement croissante avec l'augmentation de l'altitude.

Groupes d'espèces différentielles de l'altitude

Le recours à la banque des données forestières systématiques du canton de Vaud permet de constituer des regroupements d'espèces de même sensibilité altitudinale couvrant le spectre complet des stations. Les groupes d'espèces différentielles de l'altitude ont été constitués à partir des profils altitudinaux de chaque espèce. Après essai de diverses approches pour définir le positionnement de niveaux altitudinaux de référence, la solution qui s'est imposée comme la plus pertinente dans le canton de Vaud est la distinction de quatre tranches altitudinales correspondant grosso modo aux limites tra-

ditionnelles des étages de végétation: au-dessous de 800 m, de 800 à 1100 m, de 1100 à 1400 m et au-dessus de 1400 m. Ni trop étroites, pour ne pas multiplier des données statistiquement peu sûres, ni trop larges, pour ne pas noyer des informations spécifiques importantes, elles sont confortées a posteriori par toutes sortes de références utiles à la gestion forestière: notion d'étage de végétation, comportement des espèces arborescentes, répartition des associations végétales dominantes et productivité ligneuse.

Les 335 relevés systématiques situés entre 372 m (niveau du lac Léman) et 500 m d'altitude ne présentent pas de spécificités floristiques particulières par rapport à ceux de la tranche 500–799 m (1647 relevés). En conséquence, la tranche altitudinale inférieure a été définie comme située à moins de 800 m. L'utilisation des données s'est arrêtée à 1700 m d'altitude, car les forêts situées plus haut (85 relevés) relèvent essentiellement d'une dynamique pionnière encore très marquée par le pâturage.

Après de nombreuses investigations, les critères suivants ont été appliqués à la formation des groupes d'espèces différentielles de l'altitude:

- Regroupement des espèces de même sensibilité altitudinale en distinguant les espèces différentielles strictes, qui respectent une limite altitudinale prédéfinie dans 97.5% à 100% des cas, les espèces différentielles préférentielles, qui respectent une limite altitudinale prédéfinie dans 90 à 97.5% des cas et les espèces à profil trop peu marqué pour être retenues comme différentielles.

- Renoncement systématique aux espèces rares (< 10 apparitions dans l'ensemble du réseau systématique de 1 relevé/16 ha) dont la distribution est statistiquement trop aléatoire.

- Renoncement partiel aux espèces faiblement représentées (10–29 apparitions dans l'ensemble du réseau systématique de 1 relevé/16 ha) car, statistiquement parlant, leur distribution est encore considérée comme insuffisante. Ces espèces n'ont été prises en compte qu'au-dessus de 1400 m en raison du faible nombre de relevés disponibles dans cette tranche altitudinale.

- Renoncement aux espèces présentant un hiatus dans leur répartition altitudinale.

Le tableau 1 contient la liste des espèces reconnues utiles pour les diagnostics stationnels. Elle comporte un tri qualitatif mentionnant en style italique une série d'espèces peu appropriées aux analyses de répartition de la végétation forestière:

- espèces très fréquentes à forte tendance ubiquiste,
- espèces favorisées par les activités humaines (la plupart des espèces arborescentes, les espèces de pâturage),
- espèces différentielles de milieux tels que les blocs et rochers, les marais ou toute autre niche écologique en forte rupture avec le milieu ambiant.

Les espèces retenues dans le tableau 1 sont réparties en six groupes principaux, trois de thermotolérantes (T1 à T3), dont la présence diminue avec l'augmentation de l'altitude, et trois de cryotolérantes (C4 à C6), dont la présence croît avec l'augmentation de l'altitude. La comparaison avec les indices de température selon Landolt (val. T, Landolt 1977) révèle une amélioration qualitative du classement valable pour le canton de Vaud, grâce au réseau sys-

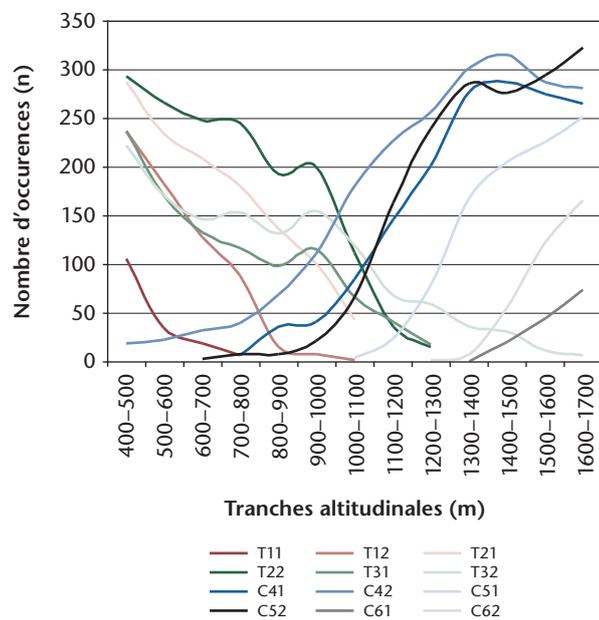


Fig. 8 Répartition altitudinale pondérée, en nombre d'occurrences (n), des relevés contenant une ou plusieurs espèces appartenant aux groupes différentiels de l'altitude.

T = groupe d'espèces tolérantes à la chaleur (thermotolérantes)
C = groupe d'espèces tolérantes au froid (cryotolérantes). Voir aussi les codes des groupes différentiels dans le tableau 1.

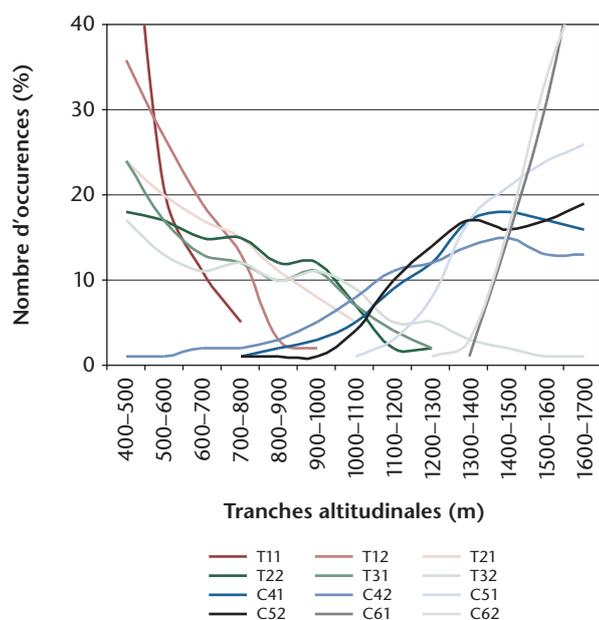


Fig. 9 Répartition altitudinale pondérée, en pourcentage d'occurrences (%), des relevés contenant une ou plusieurs espèces appartenant aux groupes différentiels de l'altitude.

T = groupe d'espèces tolérantes à la chaleur (thermotolérantes)
C = groupe d'espèces tolérantes au froid (cryotolérantes).

Groupes et sous-groupes altitudinaux VD	Variante régionale		Val. T	Nom d'espèce	Gr. stat.		
	JC	AL					
Esp. T1 thermotol. < 800 m Esp. submontagnardes	T11 Str.		4	<i>Carex acutiformis</i>	H11		
				3	<i>Equisetum hyemale</i>	H23	
				4	<i>Humulus lupulus</i>	H21	
				5	<i>Ornithogalum pyrenaicum</i>	H33	
				4	<i>Scilla bifolia</i>	B21	
				4	<i>Alliaria petiolata</i>	M42	
	T12 Préfér.			4	<i>Carex pilosa</i>	M12	
		T11		5	<i>Castanea sativa</i>	Y4	
				3	<i>Euonymus europaeus</i>	M32	
		T11		4	<i>Lonicera periclymenum</i>	A21	
				3	<i>Luzula luzuloides</i>	A21	
				4	<i>Pulmonaria officinalis/obsc.</i>	B21	
				3	<i>Ranunculus ficaria</i>	H31	
				5	<i>Sorbus torminalis</i>	Y4	
				4	<i>Alnus glutinosa</i>	Y3	
				4	<i>Arum maculatum</i>	B21	
				4	<i>Carex pendula</i>	H22	
		Espèces T2 thermotolérantes < 1100 m Espèces submontagnardes et montagnardes inférieures	T21 Strictes		4	<i>Carex remota</i>	H22
T11				4	<i>Carpinus betulus</i>	Y4	
				3	<i>Clematis vitalba</i>	B22	
				5	<i>Cornus mas</i>	X21	
				4	<i>Cornus sanguinea</i>	B22	
				4	<i>Daphne laureola</i>	B11	
T12				3	<i>Festuca heterophylla</i>	X33	
				4	<i>Frangula alnus</i>	V5	
				4	<i>Galium sylvaticum</i>	M12	
				4	<i>Hedera helix</i>	F3	
				4	<i>Impatiens parviflora</i>	M41	
T12				5	<i>Juglans regia</i>	V1	
T12				3	<i>Lathyrus linifolius</i>	X33	
T12				4	<i>Lathyrus niger</i>	X33	
				4	<i>Lysimachia vulgaris</i>	H12	
				3	<i>Pinus silvestris</i>	Y7	
				4	<i>Primula acaulis</i>	M21	
T12				4	<i>Tamus communis</i>	B22	
				4	<i>Tilia cordata</i>	Y4	
				4	<i>Vinca minor</i>	M11	
T21				4	<i>Acer campestre</i>	B22	
T21				5	<i>Acer opalus</i>	Y5	
T21				4	<i>Acer platanoides</i>	Y2	
				4	<i>Anthericum ramosum</i>	X12	
			4	<i>Asarum europaeum</i>	B11		
			3	<i>Carex alba</i>	X21		
	T21		3	<i>Cephalanthera damasonium</i>	X34		
			4	<i>Cephalanthera longifolia</i>	X34		
			4	<i>Cephalanthera rubra</i>	X34		
T21			4	<i>Circaea lutetiana</i>	H31		
			4	<i>Crataegus sp.</i>	V1		
			4	<i>Eupatorium cannabinum</i>	H22		
			4	<i>Glechoma hederacea</i>	M41		
			4	<i>Hippocrepis emerus</i>	X21		
T21			4	<i>Ilex aquifolium</i>	V1		
T21			4	<i>Ligustrum vulgare</i>	B22		
			4	<i>Melittis melissophyllum</i>	X34		
T21			3	<i>Polygonatum multiflorum</i>	M11		
			4	<i>Prunus spinosa</i>	B22		
T21			3	<i>Pteridium aquilinum</i>	A14		
T21			4	<i>Rosa arvensis</i>	B22		
			4	<i>Sambucus nigra</i>	M32		
			4	<i>Taxus baccata</i>	Y6		
T21			4	<i>Teucrium scorodonia</i>	A22		
T21			4	<i>Tilia platyphyllos</i>	Y2		
			3	<i>Berberis vulgaris</i>	X32		
			3	<i>Equisetum telmateia</i>	H14		
T22	T22		4	<i>Euphorbia amygdaloides</i>	B21		
T22		3	<i>Luzula pilosa</i>	F1			
		4	<i>Molinia arundinacea</i>	W1			
		4	<i>Potentilla sterilis</i>	M11			
T11		4	<i>Prunus padus</i>	H21			
T21		4	<i>Rhamnus cathartica</i>	B22			
T21		4	<i>Rubus caesius</i>	H21			
		4	<i>Rubus fruticosus</i>	V3			
T21		4	<i>Viburnum opulus</i>	M32			
T22	T31	3	<i>Allium ursinum</i>	H33			
T31		3	<i>Anemone nemorosa</i>	M11			
		3	<i>Coryllus avellana</i>	V1			
T31	T22	3	<i>Euphorbia dulcis</i>	M21			
		4	<i>Fraxinus excelsior</i>	Y2			
T22		3	<i>Festuca gigantea</i>	H31			
T12		4	<i>Galium aparine</i>	M41			
		3	<i>Lonicera xylosteum</i>	V1			
T22		3	<i>Melica uniflora</i>	M12			
T21		4	<i>Prunus avium</i>	Y4			
		4	<i>Ranunculus auricomus</i>	H31			
T31		4	<i>Stachys sylvatica</i>	H31			
T22		4	<i>Viburnum lantana</i>	B22			
T22		4	<i>Viola hirta</i>	X31			
Esp. T3 thermotolérantes < 1400 m Espèces submontagnardes et montagnardes	T31 Strictes		3	<i>Berberis vulgaris</i>	X32		
			3	<i>Equisetum telmateia</i>	H14		
		T22	T22	4	<i>Euphorbia amygdaloides</i>	B21	
		T22		3	<i>Luzula pilosa</i>	F1	
				4	<i>Molinia arundinacea</i>	W1	
				4	<i>Potentilla sterilis</i>	M11	
		T11		4	<i>Prunus padus</i>	H21	
		T21		4	<i>Rhamnus cathartica</i>	B22	
		T21		4	<i>Rubus caesius</i>	H21	
				4	<i>Rubus fruticosus</i>	V3	
		T21		4	<i>Viburnum opulus</i>	M32	
		T22	T31	3	<i>Allium ursinum</i>	H33	
	T31		3	<i>Anemone nemorosa</i>	M11		
			3	<i>Coryllus avellana</i>	V1		
	T31	T22	3	<i>Euphorbia dulcis</i>	M21		
			4	<i>Fraxinus excelsior</i>	Y2		
	T22		3	<i>Festuca gigantea</i>	H31		
	T12		4	<i>Galium aparine</i>	M41		
			3	<i>Lonicera xylosteum</i>	V1		
	T22		3	<i>Melica uniflora</i>	M12		
	T21		4	<i>Prunus avium</i>	Y4		
			4	<i>Ranunculus auricomus</i>	H31		
	T31		4	<i>Stachys sylvatica</i>	H31		
	T22		4	<i>Viburnum lantana</i>	B22		
	T22		4	<i>Viola hirta</i>	X31		
	Espèces cryotolérantes C4 > 800 m Espèces subalpines et montagnardes	C41 Strictes		3	<i>Aconitum altissimum</i>	H41	
				3	<i>Aposeris foetida</i>	M13	
			C52		3	<i>Asplenium viride</i>	S12
			C52		2	<i>Aster bellidiastrum</i>	W2
			C52		2	<i>Campanula cochlearifolia</i>	S21
			C51		3	<i>Campanula rhomboidalis</i>	H44
			C51		2	<i>Centaurea montana</i>	M22
					3	<i>Cystopteris fragilis</i>	S12
					3	<i>Equisetum sylvaticum</i>	H32
					3	<i>Gymnocarpium robertianum</i>	S21
					2	<i>Lonicera caerulea</i>	A31
					2	<i>Lonicera nigra</i>	V2
				C52	2	<i>Melampyrum sylvaticum</i>	A11
					3	<i>Moehringia muscosa</i>	S11
					2	<i>Polygonatum verticillatum</i>	M11
					2	<i>Rosa pendulina</i>	V2
			C52		2	<i>Valeriana montana</i>	B11
					2	<i>Valeriana trypteris</i>	F2
			C52		2	<i>Astrantia major</i>	L1
					3	<i>Calamagrostis varia</i>	W1
			C41		3	<i>Cardamine pentaphyllos</i>	B11
			C52		2	<i>Carduus defloratus</i>	X22
			C52		3	<i>Crepis paludosa</i>	H11
			C41	3	<i>Gymnocarpium dryopteris</i>	A43	
			3	<i>Hordeum europaeus</i>	M11		
C41		C41	3	<i>Knautia sylvatica</i>	M33		
			3	<i>Laserpitium latifolium</i>	X35		
C52			2	<i>Lonicera alpigena</i>	B22		
			4	<i>Luzula sylvatica</i>	A11		
			3	<i>Petasites albus</i>	H42		
			3	<i>Polystichum acuelatum</i>	M35		
C52			2	<i>Polystichum lonchitis</i>	S21		
C52		C41	2	<i>Ranunculus lanuginosus</i>	M31		
			3	<i>Rhamnus alpina</i>	X11		
		C41	3	<i>Rubus saxatilis</i>	X34		
			3	<i>Senecio ovatus</i>	M11		
		C41	3	<i>Silene dioica</i>	H34		
			3	<i>Sorbus aucuparia</i>	V2		
C41			3	<i>Stellaria nemorus</i>	H41		
C52			2	<i>Thalictrum aquilegifolium</i>	H41		
			3	<i>Vaccinium myrtillus</i>	A11		
			2	<i>Aconitum compactum</i>	H44		
			2	<i>Alchemilla conjuncta</i>	X14		
			2	<i>Carex ferruginea</i>	L4		
			2	<i>Cicerbita alpina</i>	H41		
			3	<i>Cirsium erysithales</i>	L3		
			2	<i>Gentiana lutea</i>	X36		
			2	<i>Hieracium prenanthoides</i>	H41		
		2	<i>Homogyne alpina</i>	A11			
		3	<i>Oreopteris limbosperma</i>	A12			
		2	<i>Phyteuma orbiculare</i>	X14			
		2	<i>Pulsatilla alpina</i>	L4			
		2	<i>Ranunculus montanus</i>	L4			
		2	<i>Rumex alpestris</i>	H41			
		2	<i>Saxifraga cuneifolia</i>	S14			
		2	<i>Soldanella alpina</i>	L4			
		2	<i>Sorbus chamaemespilus</i>	B23			
		3	<i>Streptopus amplexifolius</i>	H41			
		2	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	A31			
		2	<i>Adenostyles alliariae</i>	H41			
		2	<i>Blechnum spicant</i>	A12			
		3	<i>Gentiana asclepiadea</i>	W2			
		2	<i>Geranium sylvaticum</i>	H41			
		2	<i>Hypericum maculatum</i>	H44			
		2	<i>Luzula luzulina</i>	A11			
		3	<i>Polygonum bistorta</i>	H24			
		2	<i>Ranunculus aconitifolius/plat.</i>	H41			
		2	<i>Saxifraga rotundifolia</i>	H41			
		2	<i>Trollius europaeus</i>	H44			
		2	<i>Veratrum album</i>	H44			
		2	<i>Viola biflora</i>	H41			
		2	<i>Achillea macrophylla</i>	H41			
		2	<i>Ligusticum mutellina</i>	L4			
		2	<i>Peucedanum ostruthium</i>	H41			
		2	<i>Alnus viridis</i>	H41			
		2	<i>Calamagrostis villosa</i>	A11			
		3	<i>Campanula barbata</i>	A33			
		3	<i>Deschampsia flexuosa</i>	A11			
		2	<i>Epilobium alpestre</i>	H41			
		2	<i>Globularia nudicaulis</i>	X14			
		2	<i>Polygonum viviparum</i>	L4			
		2	<i>Rhododendron ferrugineum</i>	A31			
Espèces cryotolérantes C5 > 1100 m Espèces subalpines et montagnardes supérieures	C51 Strictes		2	<i>Aconitum compactum</i>	H44		
			2	<i>Alchemilla conjuncta</i>	X14		
			2	<i>Carex ferruginea</i>	L4		
			2	<i>Cicerbita alpina</i>	H41		
			3	<i>Cirsium erysithales</i>	L3		
			2	<i>Gentiana lutea</i>	X36		
			2	<i>Hieracium prenanthoides</i>	H41		
			2	<i>Homogyne alpina</i>	A11		
			3	<i>Oreopteris limbosperma</i>	A12		
			2	<i>Phyteuma orbiculare</i>	X14		
			2	<i>Pulsatilla alpina</i>	L4		
			2	<i>Ranunculus montanus</i>	L4		
Esp. cryotol. C6 > 1400 m Espèces subalpines	C52 Préférentielles		2	<i>Rumex alpestris</i>	H41		
			2	<i>Saxifraga cuneifolia</i>	S14		
			2	<i>Soldanella alpina</i>	L4		
			2	<i>Sorbus chamaemespilus</i>	B23		
			3	<i>Streptopus amplexifolius</i>	H41		
			2	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	A31		
	C61 Str.		2	<i>Adenostyles alliariae</i>	H41		
			2	<i>Blechnum spicant</i>	A12		
			3	<i>Gentiana asclepiadea</i>	W2		
			2	<i>Geranium sylvaticum</i>	H41		
			2	<i>Hypericum maculatum</i>	H44		
			2	<i>Luzula luzulina</i>	A11		
C62 Préfér.		3	<i>Polygonum bistorta</i>	H24			
		2	<i>Ranunculus aconitifolius/plat.</i>	H41			
		2	<i>Saxifraga rotundifolia</i>	H41			
		2	<i>Trollius europaeus</i>	H44			
		2	<i>Veratrum album</i>	H44			
		2	<i>Viola biflora</i>	H41			

VD Canton de Vaud
 JC Régions Le Jura et La Côte du canton de Vaud
 AL Région Les Alpes du canton de Vaud
 Val. T Valeur de température de Landolt (1977) étalonnées de 1 (régions élevées) à 5 (régions basses)
 Gr. stat. Groupes stationnels VD

Tab. 1 Groupes des espèces différentielles de l'altitude. En italique: espèces peu appropriées pour des analyses comparatives de répartition de la végétation forestière.

tématique de référence. La liste complète des espèces étudiées est accessible sur le site internet du Service des forêts, de la faune et de la nature¹.

Les figures 8 et 9 illustrent l'influence de l'altitude sur la répartition des différents groupes d'espèces différentielles, exprimée respectivement en nombres absolus d'occurrences et en pourcentages d'occurrence. La présence d'une espèce différentielle dans un relevé suffit à le retenir, de sorte qu'un même relevé peut être décompté dans plusieurs groupes types.

Influence de l'exposition

L'influence de l'exposition sur le comportement de la végétation fait partie des paramètres de référence utilisés dans la gestion forestière. Le climat des versants nord se signale par des extrêmes climatiques moins prononcés, des sols plus régulièrement humides et une vitalité plus élevée des essences forestières majeures, ce qui laisse de plus grandes marges de manœuvre dans les choix sylviculturaux que sur les versants sud.

L'exemple suivant d'influence de l'exposition sur le comportement de la végétation est ciblé sur des pentes supérieures à 20%, limite depuis laquelle cette influence devient véritablement perceptible. Il illustre le comportement moyen des espèces tolérant la chaleur (thermotolérantes) et le froid (cryotolérantes) dont les courbes de répartition altitudinale se recoupent à l'étage montagnard (figure 10). A ce niveau (900–1300 m), les thermotolérantes ont un étalement altitudinal plus large entre versants sud et nord (écartement horizontal moyen des courbes su-

périeur à 150 m) que les cryotolérantes (env. 90 m). Cet exemple est typique d'un phénomène qui influence sur le terrain le diagnostic stationnel, en l'occurrence la détection d'une limite d'étage ou d'association végétale.

Différences entre la chaîne du Jura et le massif des Alpes

Plusieurs particularités de la végétation mettent en évidence des différences non anecdotiques entre les forêts de la chaîne du Jura et du massif des Alpes. C'est ainsi qu'à altitude et station égales, la forme des arbres serait plus trapue dans le Jura que dans les Alpes (Badoux, comm. orale), constat confirmé par une productivité ligneuse inférieure (Horisberger & Meylan 2009b, ce numéro). D'autre part, les rythmes phénologiques (effet de la température sur le développement des plantes) sont légèrement différents (Schreiber 1968) de même que les températures moyennes (Bouët 1985). Pour les groupes d'espèces différentielles de l'altitude, un décalage moyen vers le haut d'environ 40 à 50 m semble prévaloir dans les Alpes par rapport au Jura, un ordre de grandeur confirmant l'analyse des situations phénologiques du canton de Vaud (Schreiber 1968). Loin d'être négligeable, ce décalage signifie une différence de température moyenne supérieure à 0.3 degrés en période de végétation, expliquant une partie des différences de productivité ligneuse, ainsi que la limite plus élevée de l'aire viticole dans les Alpes que dans le Jura.

Etages climatiques de végétation

Décrits depuis longtemps par les phytogéographes (pour l'aspect historique, voir Landolt 1983), les étages de végétation reflètent l'influence de la température sur la répartition des plantes. A chaque étage de végétation correspond théoriquement un climax climatique et plusieurs climax stationnels (Duchaufour 1966). La notion de climax climatique est réservée aux situations en équilibre avec les seules conditions macroclimatiques ou, exprimé de manière plus réaliste, nettement dominées par celles-ci, alors qu'un climax est dit stationnel lorsqu'un facteur limitant (sécheresse ou humidité excessives, manque de terre fine, etc.) bloque cette évolution à un stade d'équilibre différent.

La structuration en étages de végétation a longtemps fait une unanimité de principe, mais leur délimitation et leur nomenclature varient selon le critère prioritaire adopté: essence dominante (Landolt 1983), complexe de groupements végétaux (Theu-

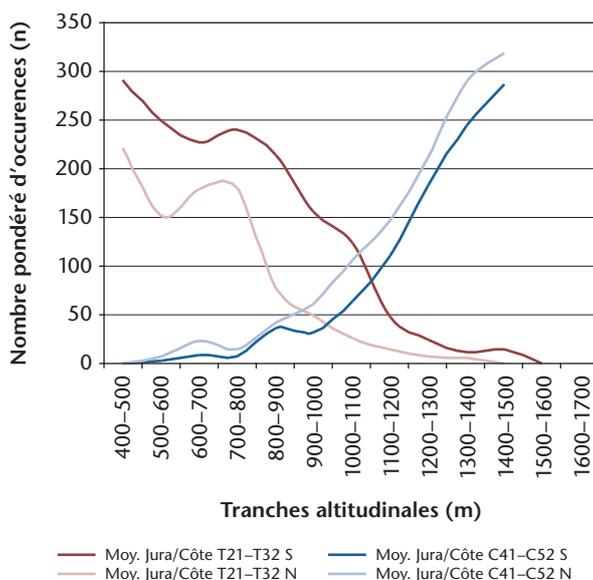


Fig. 10 Répartition altitudinale pondérée, en nombre d'occurrences (n), des groupes d'espèces différentielles de l'altitude entre versants sud et nord dans la région du Jura et de La Côte. T = groupe d'espèces tolérantes à la chaleur (thermotolérantes) C = groupe d'espèces tolérantes au froid (cryotolérantes).

¹ www.vd.ch/observatoire-des-forets (1.9.2009)

rillat 1991) ou encore structure et conditions de régénération (Frey 1995). Aujourd'hui, dans le contexte du bouleversement climatique en cours, se pose la question de la pertinence de ce système de référence ou, tout au moins, de sa relativité. Toutefois, par souci de continuité avec les travaux antérieurs, le présent dossier a maintenu autant que possible la nomenclature usuelle des étages de végétation.

Si le choix de niveaux altitudinaux de référence permet de définir des groupes d'espèces différentielles de l'altitude, la notion d'étage de végétation recouvre la réponse de ces groupes non seulement à l'altitude mais aussi à d'autres facteurs liés au climat. Les quatre étages de végétation du canton de Vaud ont donc chacun une aire de répartition principale qui est flanquée de franges dans lesquelles les conditions microclimatiques et stationnelles particulières sont décisives (figure 11).

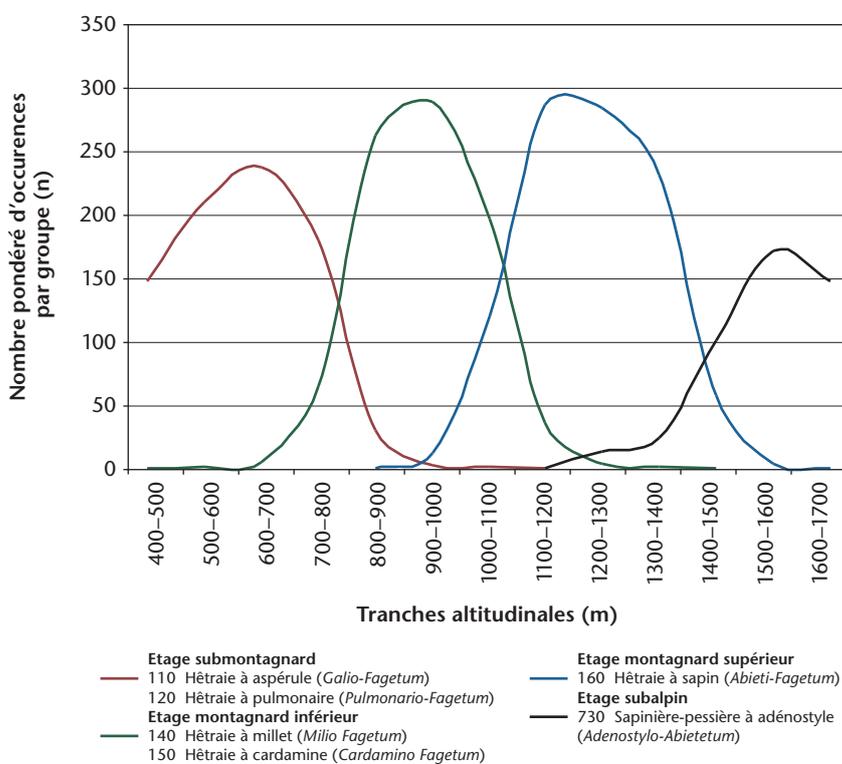


Fig. 11 Répartition altitudinale pondérée, en nombre d'occurrences (n), des associations végétales assimilées à des climax ou des complexes de climax climatiques dans le canton de Vaud.

Absence d'un étage collinéen

Selon Kissling (1983), la limite supérieure d'un étage collinéen macroclimatique se situe au-dessous des plus basses altitudes du canton, ce que confirme la présence de hêtraies submontagnardes jusqu'au bord du lac Léman, y compris dans la région de Nyon, à l'extrémité sud-ouest du canton. Par contre, il existerait des auréoles de végétation collinéenne au-dessus de la limite moyenne de l'étage dans quelques régions dont le climat est particulièrement chaud. Traditionnellement, le principal critère d'identification des enclaves d'étage collinéen par rapport à

l'étage submontagnard est la prédominance du chêne associé à une sous-strate riche en charme et contenant régulièrement le sorbier torminal (*Sorbus torminalis*), une essence qu'on ne trouve pas dans les hêtraies mésophiles. Ces critères sont encore renforcés par la richesse de la strate arborescente en tilleul à petites feuilles (*Tilia cordata*) et en merisier (*Prunus avium*). En terre vaudoise, le cœur de telles stations se situe dans la région de Ferreyres, entre 550 et 750 m d'altitude, mais dans d'évidentes conditions stationnelles liées à la superficialité des sols. Les lentilles de sols plus profonds y sont en effet occupées par des groupements submontagnards. La distinction d'un étage collinéen ne se justifie donc pas dans le canton de Vaud.

L'étage submontagnard

L'étage submontagnard, distingué pour la première fois des étages qui l'entourent par Ellenberg & Klötzli (1972), a pour climax climatique le complexe hêtraie à aspérule (*Galio-Fagetum*) et hêtraie à pulmonaire (*Pulmonario-Fagetum*). Caractérisé par la dominance du hêtre, il s'inscrit dans les altitudes comprises entre 372 m (altitude du lac Léman) et 700-900 m.

Par rapport à l'étage montagnard inférieur, la distinction de l'étage submontagnard repose sur la présence d'espèces T1 et l'absence d'espèces C4 et C52 (tableau 1), groupes dont les courbes de répartition altitudinale se croisent précisément vers 700-900 m d'altitude (figures 8 et 9). Entre 600 et 700 m, à la faveur de conditions particulières (situations d'ubac ou de ravin, sols morainiques profonds), on peut déjà trouver des enclaves d'étage montagnard inférieur, dépourvues d'espèces T1 et avec une présence significative d'espèces C4 et C52. Au-dessus de 800 m, sur des stations particulièrement ensoleillées et abritées, on peut aussi trouver des enclaves d'étage submontagnard abritant au moins une espèce du groupe T12 et dépourvues d'espèces du groupe C.

L'étage montagnard inférieur

Défini par Moor (1952), l'étage montagnard inférieur est reconnu par toutes les typologies forestières de Suisse. Son climax climatique correspond au complexe de la hêtraie à millet (*Milium-Fagetum*) et de la hêtraie à cardamine (*Cardamino-Fagetum*), deux associations caractérisées par la vitalité du trio hêtre, sapin blanc, épicéa (ce dernier surtout dans la hêtraie à millet), mais encore avec un avantage au hêtre. Dans le canton de Vaud, cet étage est cadré par les altitudes 700 m et 1200 m, une tranche d'altitude déjà moins soumise aux périodes de sécheresse que l'étage submontagnard.

C'est principalement la rencontre des espèces T2, T3 et C4 (tableau 1) qui marque l'identité de l'étage montagnard inférieur (figures 8 et 9). Par rapport à l'étage submontagnard, l'identification de



Fig. 12 Bois sur pâturage en limite supérieure des forêts au-dessus du village des Diablerets: une réalité imprégnée d'influence humaine, même dans les zones de combat où des pelouses étaient encore fauchées jusqu'au milieu du XX^e siècle.

l'étage montagnard inférieur repose également sur l'absence des espèces T1 et par rapport à l'étage montagnard supérieur, sur l'abondance des espèces T22, l'absence des espèces C51 et la rareté des espèces C52.

L'étage montagnard supérieur

L'aire principale de l'étage montagnard supérieur, dont le climax climatique est la hêtraie-sapinière (*Abieti-Fagetum*), correspond aux altitudes comprises entre 1000 m et 1500 m au maximum. Le hêtre partage ici la strate arborescente avec le sapin et l'épicéa et manifeste encore un potentiel élevé de rejeunissement. L'étage de la hêtraie-sapinière a été d'abord baptisé de diverses manières: étage montagnard moyen (Moor 1952), étage montagnard supérieur (Kuoch 1954) et étage haut-montagnard (Ellenberg & Klötzli 1972), la dénomination de Kuoch s'imposant finalement dans les typologies récentes.

C'est principalement la rencontre des espèces T32, C4 et C5 (tableau 1) qui détermine l'identité de l'étage montagnard supérieur (figures 8 et 9). Par rapport à l'étage montagnard inférieur, l'identification de l'étage supérieur repose également sur l'absence des espèces T1 et T21 et sur la rareté des espèces T22 et T31. Par rapport à l'étage subalpin, il se distingue par l'absence des espèces C61 et la rareté des espèces C62.

L'étage subalpin

Dans les Alpes où son existence est incontestée, l'étage subalpin, dont le climax climatique est la pessière-sapinière (*Adenostylo-Abietetum*), occupe une tranche altitudinale comprise entre 1350 m et la limite de la forêt (figures 12 et 13). La diminution de

la vitalité du hêtre laisse le champ libre à l'épicéa et au sapin blanc, ce dernier étant encore régulièrement présent jusqu'aux plus hautes altitudes (figures 1 et 2). L'aire naturelle du mélèze, typique de l'étage subalpin des Alpes internes, ne touche pour sa part que l'extrémité sud du canton de Vaud.

Les principaux critères d'identification de l'étage subalpin par rapport à l'étage montagnard supérieur sont l'absence des espèces du groupe T2 (tableau 1), la rareté des espèces T3 et principalement la rencontre des espèces des groupes C4, C5 et C6 (figures 7 et 8).

Cette conception de l'étage subalpin, inspirée de Landolt (1983), diverge de celle de Frey (1995) qui est adoptée par les typologies suisses récentes incluant la région alpine (Burger et al. 1996, Ott et al. 1997, Frehner et al. 2005). Pour ces auteurs, l'étage subalpin ne commence qu'à partir de 1500 m environ et il est surtout caractérisé par une structure irrégulière des peuplements, par petits groupes d'arbres («Rottenstruktur»), conséquence des conditions difficiles de régénération. Au-dessous de 1500 m, les forêts climatiques de résineux ne présentent pas cette structure discontinue; elles caractérisent un étage intermédiaire entre montagnard supérieur et subalpin, appelé haut-montagnard («hochmontan»). A cette différence de structure s'ajoute une différence d'essences dominantes: le sapin et l'épicéa sont co-dominants dans l'étage haut-montagnard alors que l'épicéa est nettement dominant dans l'étage subalpin.

A l'échelle restreinte des Alpes externes du Nord auxquelles appartiennent les Alpes vaudoises, il n'est pas pertinent de distinguer un étage haut-montagnard de l'étage subalpin, et cela pour les raisons suivantes:

- sur les portions de versants homogènes (sans affleurements rocheux ou couloirs à avalanche) et dans des conditions édaphiques «moyennes», la différence de structure censée apparaître vers 1500 m n'est pas visible: les peuplements ne perdent leur homogénéité qu'à l'approche de la limite des forêts,
- même si la part du sapin dans les peuplements diminue avec l'altitude, elle ne chute pas significativement vers 1500 m; le sapin est encore présent dans 10% des relevés entre 1600 et 1700 m, et il n'est pas rare de l'observer jusqu'en limite de forêt,
- exceptionnellement signalée au-dessous de 1300 m, la flore typiquement subalpine du groupe C6 (tableau 1) est régulièrement associée aux pessières-sapinières climatiques; même si certaines espèces de ce groupe n'apparaissent qu'au-dessus de 1500 m, cette altitude ne correspond pas à un véritable hiatus floristique.

Dans le Jura, la question de la présence d'un étage subalpin est controversée car, selon la définition ci-dessus, il est entièrement situé dans un contexte perturbé par l'influence de la gestion pas-

torale, avec une flore dominée par les espèces de pâturages et de pelouses. Les derniers lambeaux de forêt atteignent presque l'altitude maximale de la chaîne jurassienne vaudoise (La Dôle, 1677 m). Les vents du nord-est et d'ouest ne rencontrent pas d'obstacles perpendiculaires à leur direction principale, ce qui accentue la rudesse du climat estival par rapport aux altitudes comparables du massif alpin et péjore probablement le bilan hydrique nécessaire au développement de différentielles subalpines. La tranche altitudinale jurassienne supérieure à 1350 m est en effet dépourvue d'espèces différentielles de l'étage subalpin dans 94% des 103 relevés concernés de la banque de données. Cette tranche correspond à l'étage montagnard supérieur de Moor (1952), assimilé par Theurillat (1991) à un étage subalpin, de sorte que la question reste ouverte.

Perspectives

Avec la banque de données forestières systématiques gérée par un système d'information géographique entièrement informatisé, le canton de Vaud

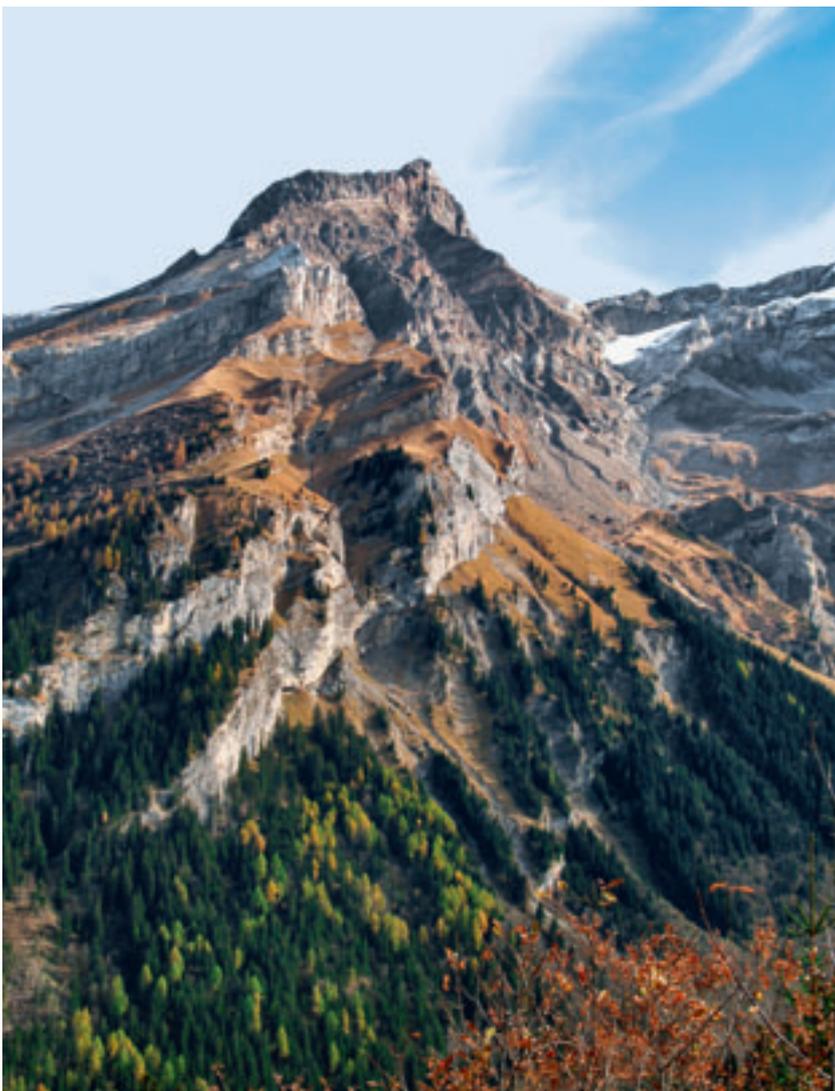


Fig. 13 Forêts pionnières au pied du Sex Rouge (massif des Diablerets).

dispose d'une base de référence objective sur l'état de la végétation vers l'an 2000 et d'un outil de travail performant pour soutenir la réflexion sylvicole dans une période de profonds changements climatiques.

Dans un avenir proche, à part des modifications superficielles de l'humus forestier, les sols n'évolueront probablement pas de manière significative sous l'effet du réchauffement global du climat. Par contre, tous les scénarios climatiques prévoient une augmentation générale des températures maximales et un changement du régime des précipitations, avec une aggravation des stress hydriques printanier et estival.

Les impacts écologiques généraux, l'évolution de la productivité ligneuse, la modification des aires de répartition potentielle de la végétation, et son adaptation génétique sont autant de facteurs qui se manifesteront sous forme de décalages altitudinaux, d'où l'importance d'approfondir nos connaissances sur le sujet dans un pays topographiquement contrasté. En ligne de mire se profile une réorientation de la gestion forestière axée sur la détection des situations à risque pour la vitalité des peuplements forestiers, le choix des essences, des provenances et des modes de rajeunissement, ou encore l'adaptation des interventions d'éclaircie dans les peuplements, sujets repris dans le guide des stations forestières du canton de Vaud (Horisberger & Meylan 2009c, ce numéro).

La nécessité d'anticiper et d'accompagner le changement climatique, en observant notamment le déplacement altitudinal des espèces, ouvrira probablement une nouvelle réflexion en matière de gestion forestière. ■

Soumis: 11 juin 2009, accepté (avec comité de lecture): 3 août 2009

Références

- BOUËT M (1985) Climat et météorologie de la Suisse romande. Lausanne: Payot. 171 p.
- BRAUN-BLANQUET J (1964) Pflanzensoziologie. Wien: Springer. 865 p.
- BURGER T, STOCKER R, DANNER E, KAUFMANN G, LÜSCHER P (1996) Clé de cartographie des stations forestières des cantons de Berne et Fribourg: Clé de l'utilisateur, Annexe de la clé de l'utilisateur et Commentaires sur les associations forestières. Soleure, Lenzburg: COTRA Kaufmann + Partner, Burger + Stocker. 395 p.
- CLOT F, DELARZE R (2009) Typologie des groupements végétaux forestiers du canton de Vaud: rupture nécessaire d'une tradition. *J for suisse* 160: s13–s17. doi: 10.3188/szf.2009.s0013
- DUCHAUFOUR P (1966) Le problème du climax et l'évolution des sols. *Oekol Plant* 1: 165–174.
- ELLENBERG H, KLÖTZLI F (1972) Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. *Mitt Eidgenöss Anst Forstl Vers*. wes 48: 590–930.
- FREHNER M, WASSER B, SCHWITTER R (2005) Gestion durable des forêts de protection. Soins sylvicoles et contrôle des

- résultats: instructions pratiques. Berne : Office fédéral de l'environnement, L'environnement pratique. 564 p.
- FREY HU (1995)** Waldgesellschaften und Waldstandorte im St. Galler Berggebiet. Zürich: Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Rübel, Heft 126a: 287 p.
- HORISBERGER D, MEYLAN M (2009a)** Aire et gestion des ressources en chêne du canton de Vaud: dossier d'un avenir immédiat. *J for suisse* 160: s65–s74. doi: 10.3188/szf.2009.s0065
- HORISBERGER D, MEYLAN M (2009b)** Productivité et exploitabilité des forêts du canton de Vaud: vers plus de réalisme. *J for suisse* 160: s54–s64. doi: 10.3188/szf.2009.s0054
- HORISBERGER D, MEYLAN M (2009c)** Le guide des stations forestières du canton de Vaud: synthèse pour les praticiens. *J for suisse* 160: s43–s53. doi: 10.3188/szf.2009.s0043
- KISSLING P (1983)** Les chênaies du Jura central suisse. *Mémoires de l'institut fédéral de recherches forestières* 59: 215–436.
- KUOCH R (1954)** Wälder der Schweizer Alpen im Verbreitungsgebiet der Weisstanne. *Mitt Eidgenöss Anst Forstl Vers.wesen* 30: 133–260.
- LANDOLT E (1977)** Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. Zürich: Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Rübel, Heft 64. 208 p.
- LANDOLT E (1983)** Probleme der Höhenstufen in den Alpen. *Bot Helv* 93: 255–268.
- MOOR M (1952)** Die Fagion-Gesellschaften im Schweizer Jura. *Beitr geobot Landesaufn Schweiz*, Heft 31. 201 p.
- OTTE, FREHNER M, FREY H, LÜSCHER P (1997)** Gebirgsnadelwälder. Ein praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung. Bern: Haupt. 287 p.
- SCHREIBER KF (1968)** Les conditions thermiques du canton de Vaud et leur graduation. *Cahiers de l'aménagement régional* 5, Lausanne: Office cantonal vaudois de l'urbanisme. 31 p.
- THEURILLAT JP (1991)** Les étages de végétation dans les Alpes centrales occidentales. *Saussurea* 22: 103–147.

Répartition altitudinale de la végétation forestière du canton de Vaud: affinage des connaissances

La notion d'étage de végétation est étudiée à l'aide d'espèces différentielles de l'altitude, afin notamment de mieux connaître la réponse des végétaux aux différences climatiques entre versants sud et nord, ou entre le Jura et les Alpes, et de fournir des pistes d'explication aux variations de productivité ligneuse, le tout sur fond de réchauffement climatique dont les forêts commencent à subir les impacts. Testée par répétitions d'analyses, la structuration altitudinale proposée exprime souvent ce que l'observation a appris, mais elle remet aussi en question des acquis basés sur des observations insuffisamment validées par des inventaires systématiques. Cette démarche vise à fournir aux gestionnaires forestiers des références de terrain statistiquement étayées tout en répondant également aux attentes des spécialistes actifs dans la recherche appliquée.

Höhenverteilung der Waldvegetation im Kanton Waadt: Vervollständigung der Kenntnisse

Die Einteilung der Vegetationsstufen wird anhand von Höhen-differenzialarten untersucht, um insbesondere die Antwort der Vegetation auf die klimatischen Unterschiede zwischen Nord- und Südhang oder Jura und Alpen besser zu kennen und um – unter Berücksichtigung der Klimaerwärmung, deren Auswirkungen die Wälder zu spüren beginnen – Erklärungen hinsichtlich Produktivitätsänderungen zu finden. Die durch wiederholte Analysen vorgeschlagene Strukturierung der Vegetationshöhenstufen entspricht häufig den Erfahrungen; sie stellt aber auch Erkenntnisse infrage, die aufgrund von ungenügend durch systematische Inventuren validierte Beobachtungen gemacht wurden. Diese Vorgehensweise zielt darauf, den Waldbewirtschaftern Referenzobjekte im Gelände zu geben, die statistisch abgestützt sind und welche den Bedürfnissen der in der angewandten Forschung tätigen Spezialisten genügen.

L'écosystème forestier du canton de Vaud: un pays, quatre régions

Denis Horisberger Service des forêts, de la faune et de la nature du canton de Vaud (CH)*

The forest ecosystem in Canton Vaud: one territory, four regions

Active in the accumulation of facts concerning the environment, the canton of Vaud has available a forestry data bank which offers abundant information. The most important elements, such as geology, climate and vegetation (the phytosociological and dendrometrical bases), are described in this article. This data bank is available to the entire forestry service. The information comes from four biogeographical regions and the description of these makes it possible to impart a regional structure to the environmental references from forest management and development planning and thus facilitates deliberation and communication.

Keywords: biogeographic characteristics, Vaud, Switzerland

doi: 10.3188/szf.2009.s0035

* La Faille, CH-1423 Villars-Burquin, courriel denis.horisberger@bluewin.ch

Peu de régions réunissent autant de paysages différents dans un espace aussi restreint que le canton de Vaud. Le Jura suggère la rudesse des pays du Nord. Le Plateau rappelle une Europe moyenne faite de vallonnements boisés, de cultures et de plans d'eau. Les Alpes offrent un concentré de presque tout ce que compte le grand arc alpin. Or la nature vivante n'a reconquis ces lieux qu'au retrait des glaciers, il y a 10 000 à 15 000 ans, devenant l'empreinte d'une relative courte histoire géologique, climatique, biologique ou encore humaine. La compréhension du fonctionnement de l'écosystème forestier intégré dans ce paysage diversifié n'est pourtant pas chose aisée. Organisme livré à des modifications permanentes, l'écosystème fournit néanmoins quelques clés de décryptage susceptibles de guider le gestionnaire forestier dans l'accompagnement respectueux des mécanismes vitaux qui animent cet écosystème.

Le périmètre forestier

La localisation de l'aire du périmètre forestier repose sur les définitions légales cantonale et fédérale confirmées par l'attribution d'un code «nature» à chaque point de la grille d'inventaire de la banque des données forestières du canton de Vaud. En perpétuelle évolution, les données présentées correspondent à l'état 2008 consigné dans le réseau de 1 point par 16 ha conjointement à la mise à jour des taxations phytosociologiques.

Le contexte géologique

Développée par les services de l'Etat de Vaud, la carte des géotypes (un abrégé des conditions géologiques en relation avec le paysage, figure 1) fournit une synthèse des informations géologiques essentielles à la compréhension de la répartition des stations forestières. Ce document imprègne d'ailleurs fondamentalement le découpage biogéographique présenté plus loin.

Etablie en 1968 pour répondre aux besoins forestiers, la carte lithologique, relative à la composition et aux principaux faciès des roches (figure 2), met en évidence des formations géologiques importantes pour la gestion forestière, plus fines que les géotypes. Bien que les limites de précision restent approximatives, elles permettent de tenir compte des phénomènes géologiques essentiels dans les projets forestiers. A noter que la concordance des formations lithologiques avec les groupements végétaux est relativement lâche car leur niveau de pertinence n'est pas le même, les seconds donnant une représentation beaucoup plus locale du milieu que les premières.

Le contexte climatique

Bien que le climat joue un rôle capital dans le fonctionnement de l'écosystème forestier, la complexité des éléments en cause (radiation solaire, pente, exposition, altitude, exposition aux vents,

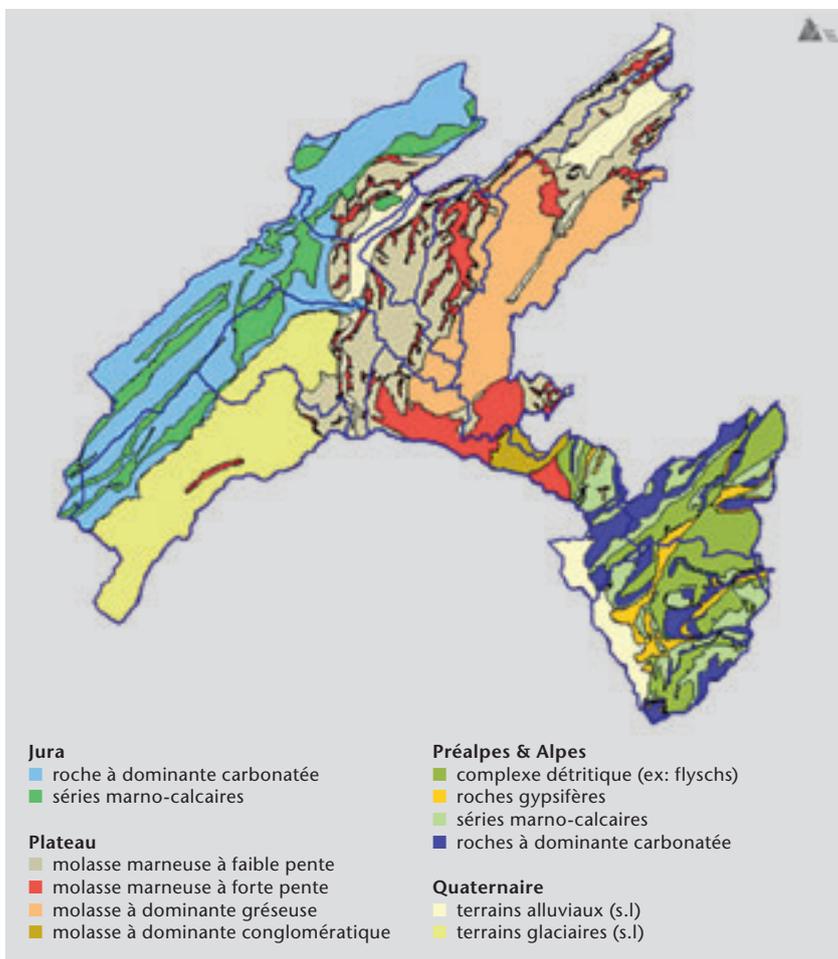


Fig. 1 Les géotypes dominants dans le canton de Vaud. Source: Etat de Vaud.

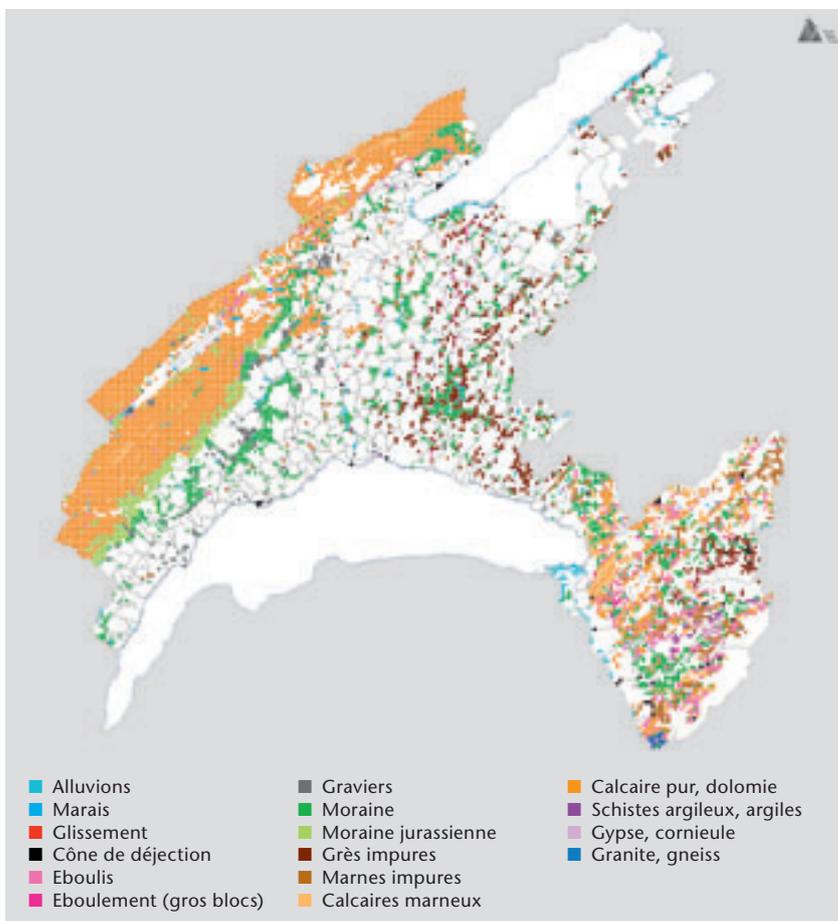


Fig. 2 Formations lithologiques couvertes par les forêts dans le canton de Vaud. Source: Etat de Vaud.

etc.) ne permet guère d'aller au-delà d'une esquisse de quelques phénomènes dominants. Mais c'est le privilège d'une approche floristique du milieu que de travailler sur une distribution de la végétation qui intègre les paramètres climatiques par des mécanismes physiologiques propres à chaque espèce. Une contribution particulière est d'ailleurs consacrée à la répartition altitudinale de la végétation forestière, laquelle propose notamment une liste d'espèces différentielles de l'altitude valable dans le canton de Vaud (Horisberger & Clot 2009, ce numéro).

La température

Le gradient de température est une fonction associée à celle du gradient altitudinal, avec une diminution moyenne d'environ 0.65 °C par 100 m de dénivelé (Bouët 1985). Mais cette valeur moyenne masque tous les effets micro-climatiques engendrés par le relief et son exposition (crête, vallon, bassin fermé, etc.). Par contre, l'observation de l'effet des températures sur le développement des plantes, domaine d'étude de la phénologie botanique, rend possible la construction d'une image assez exacte des conditions thermiques relatives d'une région. Construite dans les années 1962 à 1965, la carte des niveaux thermiques du canton de Vaud (Schreiber 1968) respecte une graduation de 15 niveaux relatifs, simplifiés en un document à 5 niveaux de base (figure 3). Elle est complétée par un profil schématique des températures annuelles moyennes d'après Primault (1972, figure 4).

Dans la dynamique climatique actuelle, la connaissance de l'évolution possible des variables de température (minimale, moyenne, maximale, saisonnière, etc.) devient de plus en plus indispensable pour agir préventivement dans la gestion des forêts, particulièrement au niveau du choix des essences à favoriser. En matière de productivité ligneuse, l'élévation des températures devrait intensifier des phénomènes apparemment contradictoires, soit l'augmentation des accroissements moyens sous l'effet de l'allongement de la période de végétation parallèlement à des perturbations physiologiques bloquant les processus vitaux, par exemple lors de canicules.

La pluviométrie

L'approche de ce paramètre repose sur les très nombreuses données des stations pluviométriques du réseau météorologique suisse, données synthétisées sous forme de cartes comportant les lignes théoriques d'égaux quantités de précipitation (Primault 1972). Leur répartition étant fortement influencée par le relief et le régime des vents, un vaste champ de modélisation reste ouvert pour mieux comprendre le fonctionnement de l'écosystème forestier et les risques à venir. Le profil pluvial schématique (figure 5), auquel se réfère la description de trois des

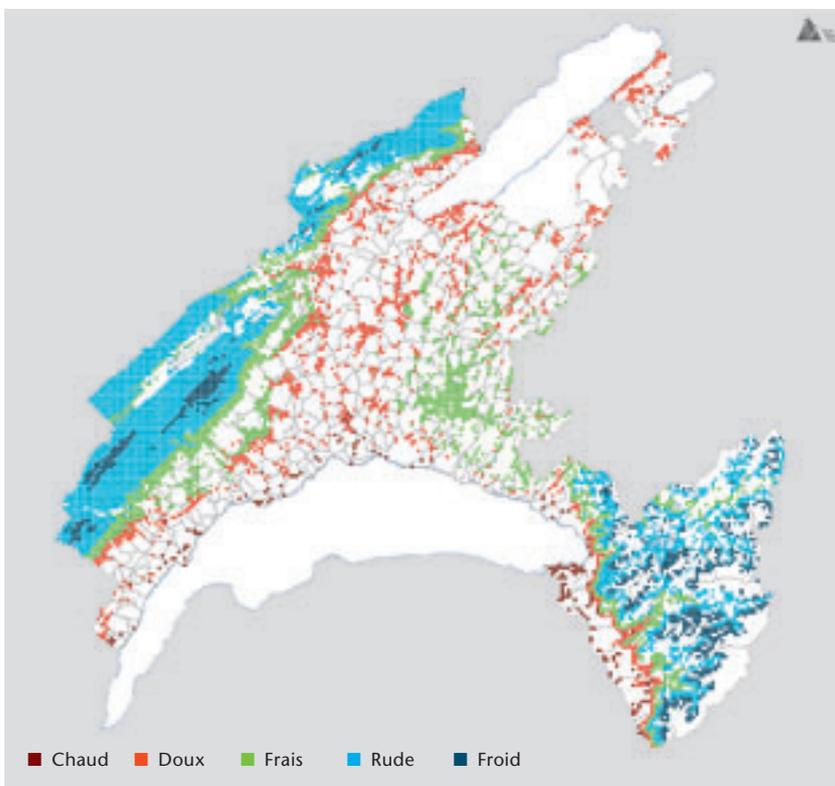


Fig. 3 Carte simplifiée des niveaux thermiques du canton de Vaud. Source: Etat de Vaud.

quatre régions biogéographiques, contient l'essentiel des éléments permettant une bonne compréhension de l'influence de la pluviométrie sur le fonctionnement de l'écosystème forestier vaudois.

Le régime des vents

A côté de nombreuses manifestations venteuses plus ou moins locales (joran, vaudaire d'orage, brises lacustres, etc.) sans effet majeur sur la végétation, trois types dominants de vent influencent le climat du canton de Vaud (Bouët 1985):

- le vent proprement dit qui souffle généralement du sud-ouest, plus rarement du nord-ouest,
- la bise du nord-est,

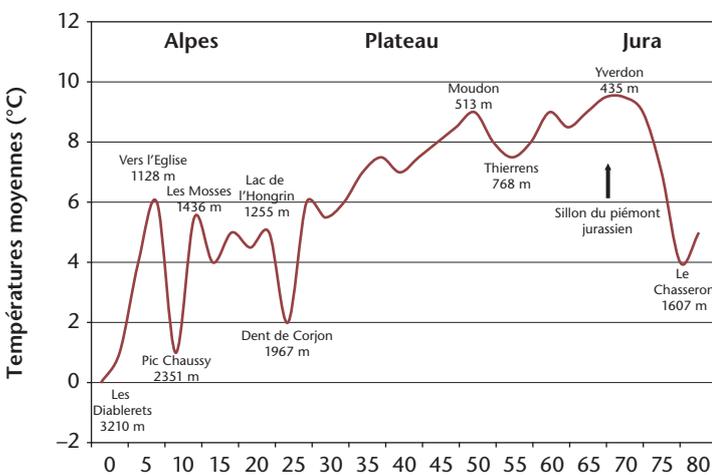


Fig. 4 Profil schématique des températures moyennes à travers le canton de Vaud (d'après Primault 1972).

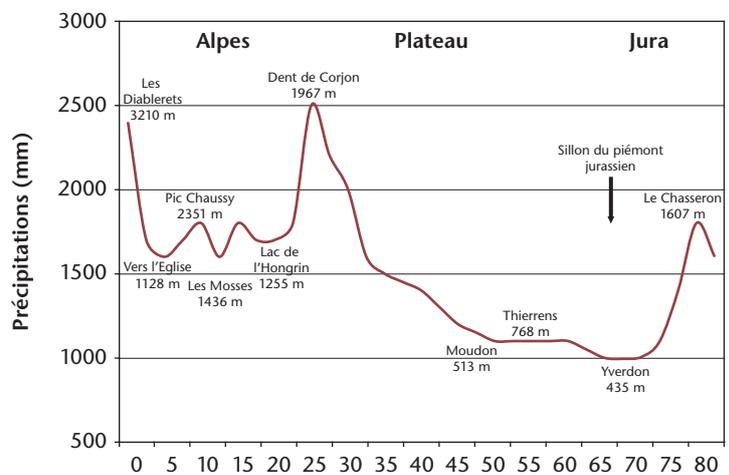


Fig. 5 Profil schématique des précipitations à travers le canton de Vaud (d'après Primault 1972).

- le foehn qui est un vent du sud lié au massif alpin et ressenti parfois jusque dans la région d'Echalens-Moudon.

Le vent correspond aux situations où règne un courant général d'ouest à sud-ouest sur le continent européen. Relativement chaud, il apparaît en toutes saisons avec une vitesse très variable, de violent par tempête hivernale à modéré dans les chaudes journées d'été. Il s'affaiblit à l'approche des Alpes.

La bise est le vent le plus caractéristique du Plateau entre Berne et Genève, vent de beau temps, rarement accompagné de pluie, formé à partir de situations anticycloniques au nord du continent européen. A partir de la région Vevey-Montreux, la bise tourne au nord-nord-ouest et devient modérée, pour finir très atténuée dans la vallée du Rhône. Rarement violente, l'influence de la bise sur le climat est cependant importante, dominante même dans la première moitié de l'année. Le mois de juin est le plus riche en vents du nord, soit au maximum de la saison de végétation, ce qui n'est pas sans conséquences dépressives dans les régions qui lui sont exposées.

Le foehn est un vent chaud typique des régions montagneuses à travers le monde. Il y a foehn dans les Alpes vaudoises lorsque, par haute pression au sud de la chaîne alpine, un vent souffle du sud-sud-ouest à sud à plus de 10 km/h et par température relativement haute. En descendant les vallées, parfois violemment, il subit une compression rapide, reçoit donc de l'énergie et élève sa température. La principale saison du foehn se situe entre mars et mai, favorisant un départ précoce de la végétation et, par conséquent, la productivité ligneuse.

La végétation forestière

L'image proposée de la végétation forestière (figure 6) reflète un état moyen de la répartition des associations végétales forestières dans la dernière

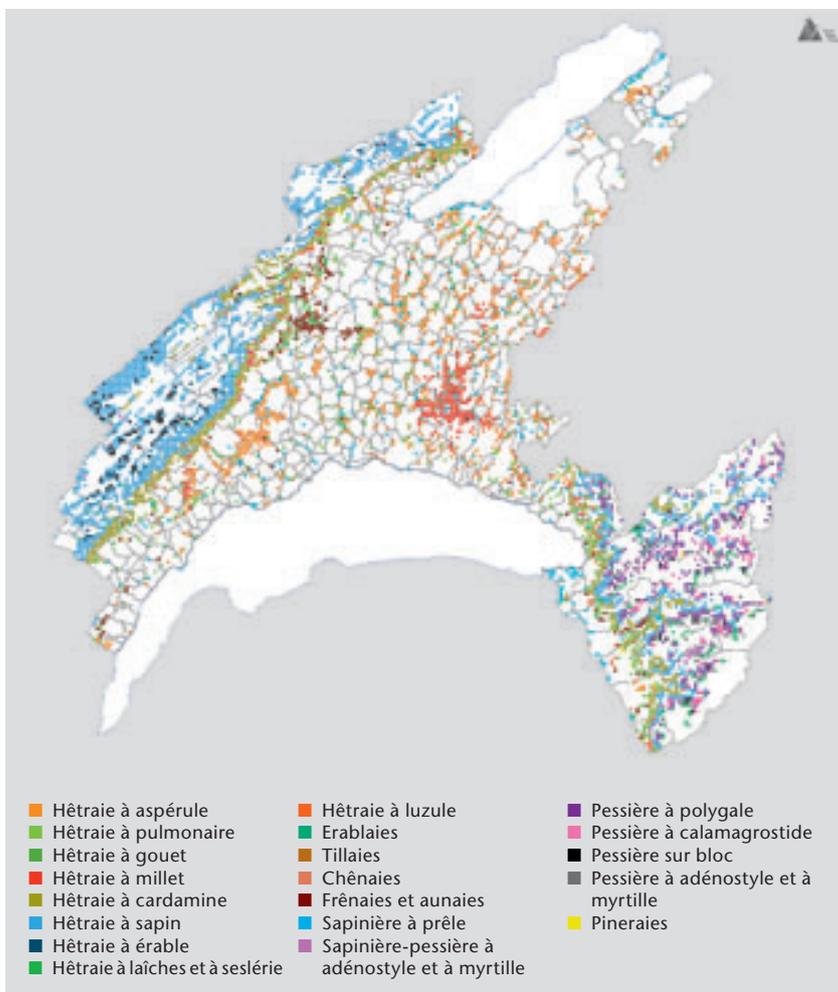


Fig. 6 Répartition des associations végétales forestières dans le canton de Vaud. Source: Etat de Vaud.

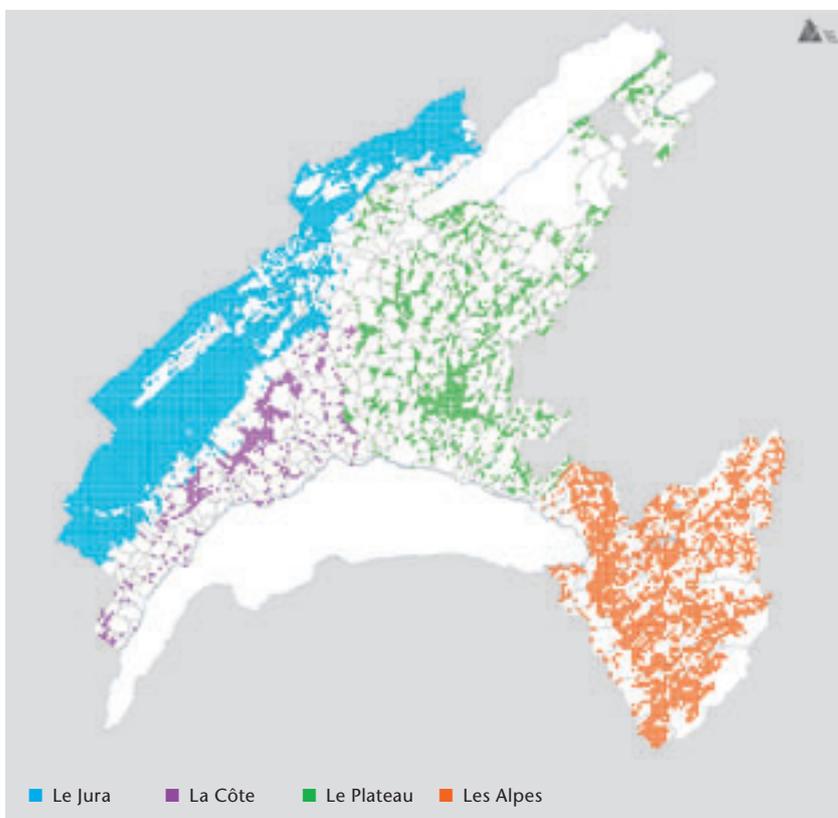


Fig. 7 Répartition des forêts par régions biogéographiques dans le canton de Vaud. Source: Etat de Vaud.

décennie du XX^e siècle. Leur description correspond au niveau d'interprétation des relevés atteint par les géobotanistes à fin 2003 (Delarze & Clot 2009, Clot & Delarze 2009, ce numéro) dans un réseau systématique d'un point d'interprétation tous les 400 m totalement contrôlé et remis à jour entre 2004 et 2008. Les lacunes du réseau initial ont été comblées, soit par une relecture des relevés, soit par des visites de terrain, soit encore par le recours aux relevés de végétation simplifiés de la grille d'un point par ha.

L'inventaire dendrométrique global 1996–1998 est venu compléter la description de la végétation forestière par des informations structurales et volumétriques relatives aux espèces arborescentes. Pour la première fois dans l'histoire du canton de Vaud, l'inventaire de la totalité des biens-fonds boisés publics et privés a été réalisé avec une seule méthode, sur une très courte période (3 ans) et par 4 opérateurs seulement. Cette homogénéité a permis une analyse précise de la forêt vaudoise, boisés marginaux ou pionniers exceptés. Elle offre la possibilité de tirer des enseignements fiables pour une politique d'aménagement et de gestion plus performante (Jeantet 1999). Repris et interprétés en lien avec l'analyse de la végétation forestière, les résultats de cet inventaire global offrent notamment une image de référence du matériel sur pied des forêts vaudoises dans la dernière décennie du XX^e siècle (tab. 1). Reliés à divers paramètres de gestion, l'ensemble de ces informations sert à documenter les choix d'essences ou à évaluer la productivité et l'exploitabilité des forêts du canton de Vaud (Horisberger & Meylan 2009a et 2009b, ce numéro).

Dans un développement à venir, il est prévu de faire calculer automatiquement l'image dendrométrique globale de la forêt vaudoise au fur et à mesure de l'avance des inventaires forestiers par échantillonnage, lesquels couvrent annuellement environ 10% de la surface forestière totale à la densité d'une placette par ha.

Les régions biogéographiques

Dans l'optique pragmatique qui oriente ce dossier, la région biogéographique représente un facteur de stratification important, non seulement pour l'analyse des stations, mais également pour suivre globalement l'évolution de la forêt vaudoise. En effet, distantes de quelques dizaines de kilomètres au plus, les forêts des crêtes jurassiennes, celles des reliefs plus doux de plaine ou encore celles des pentes alpines vivent dans des environnements extrêmement différents les uns des autres. Mais chacune des régions biogéographiques possède une identité propre relativement homogène dépendant des contextes géologique, climatique, floristique et dendrométriques décrits ci-dessus.

Associations végétales et natures boisées		Surface	Proportion des essences par rapport au volume du matériel sur pied													Volume du matériel sur pied				
			Épicéa	Sapin	Méleze	Douglas	Pins div.	Résineux div.	Hêtre	Erables	Chênes	Frêne	Peupliers	Feuillus div.	Résineux	Feuillus	Épicéa et rés. divers	Sapin	Feuillus	Total
No	Nom	ha	%											%		m ³ /ha				
110	Hêtraie à aspérule	14 400	36	9	2	1	2		31	1	10	6		2	50	50	152	34	185	371
120	Hêtraie à pulmonaire	7 024	20	10	4	1	3		33	5	10	9		5	37	63	89	31	200	320
130	Hêtraie à gouet	1 568	18	4		1	1		20	3	18	19	4	11	24	76	63	11	227	301
140	Hêtraie à millet	5 264	54	18	2	1			21	1		1		1	76	24	243	78	104	425
150	Hêtraie à cardamine	11 648	38	37	4				19	1				1	79	21	183	160	91	434
160	Hêtraie à sapin	25 808	53	26					16	3				1	80	20	198	95	72	365
180	Hêtraie à érable	1 120	73	16					2	8					89	11	319	72	47	438
210	Hêtraie à laïches	2 688	24	8	2		4	1	34	6	17	1		2	39	61	84	22	163	269
260	Hêtraie à luzule des bois	208	42	7	2		4		37		9				54	46	104	15	103	222
3[12345]0	Erablaies	896	67	3					5	18		3		4	70	30	211	8	94	313
4[124]0	Tillaies	320							15	16	21	32		16		100	0		165	165
5[23456]0	Frénaies	5 744	15	5			3		10	6	8	18	16	19	24	76	45	12	178	235
6[457]0	Chênaies	2 000	7	2			19		8	4	33	8		18	29	71	50	4	131	185
720	Sapinière-pessière à prêle	1 248	74	13	7				1	4				1	95	5	254	40	17	311
730	Sapinière-pessière à adénostyle	5 248	78	17	1					3				1	96	4	346	76	16	438
750	Pessière à polygale	544	80	19						1					99	1	221	54	3	278
760	Pessière à calamagrostide	1 408	78	20						2				1	98	2	229	58	7	294
810	Pessière à myrtille	192	96											4	96	4	426		16	442
830	Pessière sur blocs	1 504	90	5					3	2					95	5	319	19	18	356
840	Pessière à adénostyle	592	90		9					1				1	98	2	507		10	517
Total forêts non parcourues		89 424	44	19	1		1		21	3	4	3	1	2	66	34	166	65	120	351
Forêts pâturées		6 736	71	9	1				15	2	1			1	81	19	264	34	70	368
Bois sur pâturage		5 152	82	5					8	3				1	88	12	151	10	23	184
Total boisés parcourus		11 888	75	8	1				13	2				1	83	17	206	21	46	273
Total forêts non parcourues et boisés parcourus		101 312	47	18	1		1		20	3	4	3	1	2	67	33	170	60	112	342
Total boisés pionniers et marginaux		6 912																		
Total boisés		108 224																		

Tab. 1 Etat du matériel sur pied dans les forêts productives du canton de Vaud selon l'inventaire dendrométrique global 1996–98.

La division spatiale du canton de Vaud retenue dérive du découpage biogéographique de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), consensus basé sur des données floristiques et faunistiques (OFEFP 2001). Cette carte thématique repose toutefois sur un plan de découpage par frontières communales, un choix pertinent à l'échelon suisse, mais peu satisfaisant pour représenter des milieux naturels sans lien avec des unités administratives. En conséquence, les limites des régions biogéographiques ont été affinées par découpage en fonction de l'appartenance des massifs forestiers au caractère des régions concernées (figure 7).

Les régions du Jura et de la Côte

Les limites de la région biogéographique du Jura vaudois correspondent à celles de la division principale «Jura» définie par l'OFEV.

La chaîne jurassienne forme un ensemble simple et bien délimité par la dominance de la roche-mère calcaire, partiellement recouverte de restes de moraines alpines jusque vers 1100 m d'altitude. D'une manière générale, les sols sont moins profonds que dans les autres régions et donc plus sensibles aux effets du stress hydrique.

Le Jura vaudois (figure 8), entrecoupé de vallons transversaux et flanqué de l'important bassin fermé de la vallée de Joux, culmine au Mont Tendre (1677 m), mais ses crêtes oscillent généralement entre 1300 et 1500 m d'altitude. Il constitue un long rempart qui modifie profondément la trajectoire des vents de nord-ouest et d'ouest dans le plan vertical en leur donnant une composante descendante, avec pour conséquence la création d'une zone relativement sèche sur son flanc sud (Bouët 1985). Ce phénomène marque clairement l'identité de l'écosystème forestier du piémont jurassien.



Fig. 8 La chaîne et le pied du Jura, dans une enfilade de nord-est à sud-ouest.



Fig. 9 La Côte, entre Jura et lac Léman.

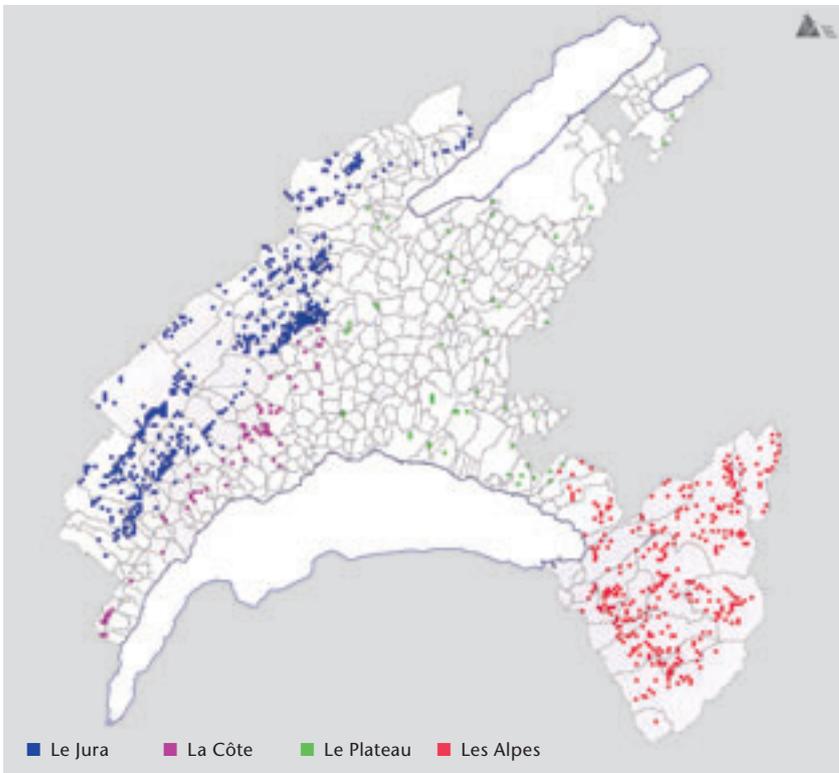


Fig. 10 Présence d'une ou plusieurs espèces herbacées méso-xérophiles ou tolérantes à la sécheresse distinguant les régions biogéographiques du Jura, de la Côte et des Alpes par rapport au Plateau (*Festuca heterophylla*, *Lathyrus linifolius*, *Carex montana*, *Melampyrum pratense*). Source: Etat de Vaud.

Prenant le nom usuel désignant le centre de cette région, la Côte fait partie de la subdivision «Bassin lémanique» qui, dans le découpage de l'OFEV, prolonge la division principale du Plateau jusqu'à Genève (figure 9). Le nom, à défaut d'une appellation plus générique valable de la Venoge à la frontière genevoise, provient de l'escarpement qui s'interpose entre les vignobles du bassin lémanique et les plateaux boisés du pied du Jura, formation taillée dans les dépôts morainiques ou alluvionnaires de l'ancien glacier du Rhône typiques de cette région.

Dans le présent dossier, les régions du Jura et de la Côte ont été rassemblées en une seule unité. Quatre arguments expliquent le bien-fondé de ce choix:

- située dans le piémont jurassien, la majeure partie des forêts de la Côte bénéficie d'un climat plus proche de celui de l'arc jurassien que du reste du Plateau vaudois,
- comme dans le Jura, les sols à drainage filtrants dominent à la Côte, alors que les sols molassiques frais caractérisent le Plateau (Haeberli 1971),
- il est particulièrement symptomatique que les espèces herbacées caractérisant le mieux l'identité de la région du Jura et de la Côte par rapport au Plateau fassent partie des espèces méso-xérophiles ou tolérantes à la sécheresse (figure 10): la fétuque à feuilles de deux sortes (*Festuca heterophylla*), la gesse des montagnes (*Lathyrus linifolius*), la laïche des montagnes (*Carex montana*) et la mélampyre des prés (*Melampyrum pratense*),
- la faible surface des forêts de la Côte par rapport au Jura (15.6% de l'ensemble du Jura et de la Côte) ne justifie pas le dégagement d'une unité régionale séparée.

La région du Plateau

Délimitée par le bassin lémanique, la vallée de la Venoge, la plaine de l'Orbe, la limite orientale du canton et les contreforts alpins, la région biogéographique du Plateau est caractérisée par une succession de collines creusées de profonds ravins (figure 11). Elle est entièrement incluse dans la division principale «Plateau» définie par l'OFEV. Elle culmine dans le Jorat à 930 m d'altitude. Toute la région est exposée à part à peu près égale au vent et à la bise. Les orages proviennent le plus souvent du Jura. Les stagnations d'air froid dans les cavités et les ravins humides peuvent abaisser notablement la température et permettre localement le développement d'une végétation montagnarde.

Issus de roches-mères molassiques, les sols sont de nature limoneuse, sauf dans les plaines recouvertes d'alluvions où dominent des sols marécageux et argileux. Sur les pentes faibles ou nulles des plateaux, les sols deviennent compacts ou imperméables. Il s'agit des terres «battantes» dont la structure instable amplifie les stress climatiques ou les phénomènes de compactage défavorable à la végétation arbo-



Fig. 11 Le Plateau, entre le lac de Neuchâtel et les contreforts des Alpes.



Fig. 12 Les Alpes, du vallon de la Veveyse à la plaine du Rhône.

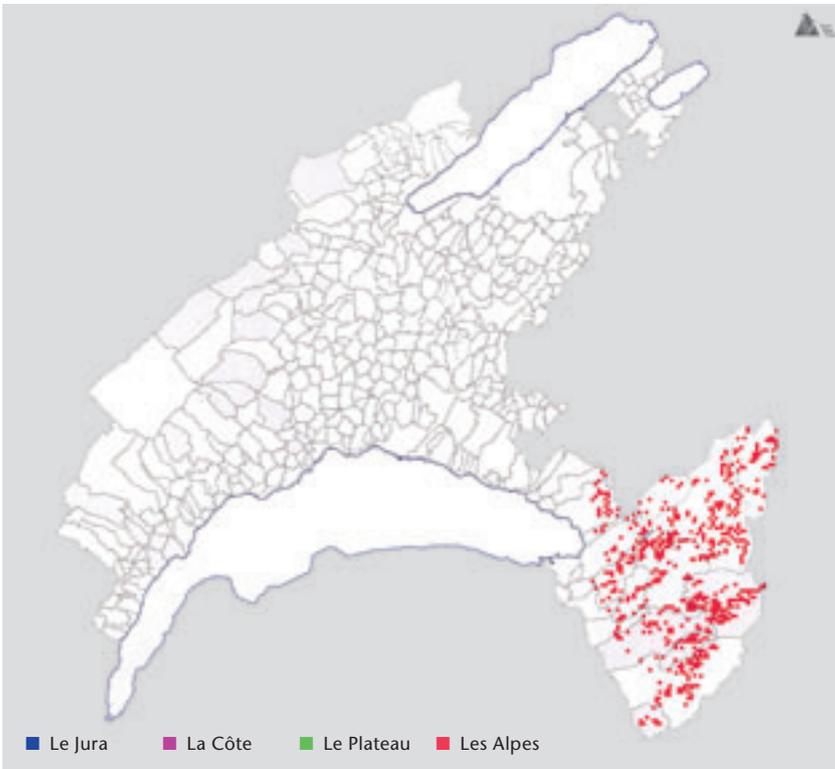


Fig. 13 Présence d'une ou plusieurs espèces indicatrices exclusives de la région biogéographique des Alpes (*Erica carnea*, *Polygala chamaebuxus*, *Alnus viridis*, *Peucedanum ostruthium*, *Rhododendrum ferrugineum*). Source: Etat de Vaud.

rescente. Les sols sont généralement pauvres en calcaire, sauf en profondeur ou dans les combes qui reçoivent les eaux de ruissellement.

Floristiquement, la région biogéographique du Plateau se distingue des autres régions par la rareté des espèces xérophiles et méso-xérophiles (voir l'exemple de la figure 10) et l'absence des espèces montagnardes et subalpines, sauf localement dans les ravins frais et humides. Parmi celles-ci, la renoncule laineuse (*Ranunculus lanuginosus*) est la plus fréquente, alors que l'aconit tue-loup (*Aconitum altissimum*), l'adénostyle à feuille d'alliaire (*Adenostyles alliariae*), la stellaire des bois (*Stellaria nemorum*) et la mélampyre des forêts (*Melampyrum sylvaticum*) font de rares apparitions.

Globalement, les flores et stations des régions du Plateau, du Jura et de la Côte sont plus proches entre elles que celle des Alpes qui comporte de nombreuses originalités. De ce fait, les formulaires de relevé de végétation utilisés sur le terrain sont identiques pour le Plateau, le Jura et la Côte. Par contre, à stations semblables, Plateau et Alpes sont plus proches sur le plan de la productivité ligneuse, reflet synthétique de conditions climatiques et d'humidité des sols plus favorables que dans la région du Jura et de la Côte.

La région des Alpes

L'ensemble montagneux et très découpé des Alpes rassemble tous les climats, avec des températures et des précipitations qui dépendent largement de l'altitude. Les moyennes annuelles passent de 8° à 600 m d'altitude à -5° à plus de 3000 m pour les premières, et de 1200 à 2600 mm environ pour les secondes (Bouët 1985). Plus orageuse que le Plateau, la région est ouverte aux vents et au foehn mais peu à la bise, sauf au niveau des cols.

Bien que caractérisée par une mosaïque faite d'une multitude de milieux différents, autant sur le plan lithologique (figure 2) que des conditions microclimatiques, l'unité des Alpes s'affirme clairement au travers d'une certaine originalité floristique s'exprimant jusqu'à la vallée de la Veveyse (figure 12). Dans la grille d'inventaire de 1 relevé floristique par 16 ha, de nombreuses espèces ne débordent jamais ou seulement rarement dans les autres régions. Parmi les bonnes espèces indicatrices de la région alpine, notons deux baso-xérophiles, la bruyère carnée (*Erica carnea*) et la polygale petit buis (*Polygala chamaebuxus*), deux espèces hygrophiles, l'aune vert (*Alnus viridis*) et l'impéatoire (*Peucedanum ostruthium*), alors que le rhododendron ferrugineux (*Rhododendrum ferrugineum*) représente les acidophiles (figure 13).

Perspectives

Cent cinquante ans d'inventaires dendrométriques locaux couronnés en fin de XX^e siècle par di-

vers états des lieux englobant l'ensemble du canton de Vaud représente un patrimoine d'exceptionnelle valeur, certainement encore trop peu exploré à ce jour pour porter un juste regard sur l'avenir. Grâce à la technique de mise en concordance de très nombreuses données environnementales sur une même grille d'enregistrement systématique, l'Observatoire de l'écosystème forestier du canton de Vaud dispose d'un vaste champ d'étude de l'évolution du milieu forestier sous l'influence conjointe des facteurs naturels et humains. Bien qu'onéreuse en apparence, la récolte régulière de données sur le terrain reste le plus sûr moyen de disposer des références nécessaires à une juste appréciation du fonctionnement de l'écosystème puisqu'elle assure la prise en compte du facteur temps. Plus que jamais, l'Etat doit être le garant d'un enrichissement multidisciplinaire et à très long terme de la banque des données forestières, conditions sine qua non de disposer des bases nécessaires à des choix politiques responsables. ■

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

Références

- BOUËT M (1985)** Climat et météorologie de la Suisse romande. Lausanne: Payot. 171 p.
- CLOT F, DELARZE R (2009)** Typologie des groupements végétaux forestiers du canton de Vaud: rupture nécessaire d'une tradition. *J for suisse* 160: s13–s17. doi: 10.3188/szf.2009.s0013
- DELARZE R, CLOT F (2009)** Technique d'interprétation des relevés de végétation: entre rigueur et pragmatisme. *J for suisse* 160: s7–s12. doi: 10.3188/szf.2009.s0007
- HAEBERLI R (1971)** Carte écologique-physiographique des sols du canton de Vaud. Lausanne: Office cantonal vaudois de l'urbanisme, cahiers de l'aménagement régional 12. 119 p.
- HORISBERGER D, CLOT F (2009)** Répartition altitudinale de la végétation forestière du canton de Vaud: affinage des connaissances. *J for suisse* 160: s24–s34. doi: 10.3188/szf.2009.s0024
- HORISBERGER D, MEYLAN M (2009a)** L'écosystème forestier du canton de Vaud: un pays, quatre régions. *J for suisse* 160: s35–s42. doi: 10.3188/szf.2009.s0035
- HORISBERGER D, MEYLAN M (2009b)** Productivité et exploitabilité des forêts du canton de Vaud: vers plus de réalisme. *J for suisse* 160: s54–s64. doi: 10.3188/szf.2009.s0054
- JEANTET G (1999)** Le point sur la forêt vaudoise. Lausanne: Service des forêts, de la faune et de la nature. 20 p.
- OFEFP (2001)** Les régions biogéographiques de la Suisse. Berne: Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Documents environnement n° 137: 47 p.
- PRIMAULT B (1972)** Etude méso-climatique du Canton de Vaud. Lausanne: Office cantonal vaudois de l'urbanisme, cahiers de l'aménagement régional 14. 186 p.
- SCHREIBER KF (1968)** Les conditions thermiques du canton de Vaud et leur graduation. Lausanne: Office cantonal vaudois de l'urbanisme, cahiers de l'aménagement régional 5. 31 p.

L'écosystème forestier du canton de Vaud: un pays, quatre régions

Dynamique en matière de récolte de données environnementales, l'Etat de Vaud dispose d'une banque de données forestières richement fournie dont les éléments les plus importants, comme la géologie, le climat et la végétation (bases phytosociologiques et dendrométriques) sont décrits dans cet article. Cette banque de données est accessible à l'ensemble du corps forestier. La description des quatre régions biogéographiques dans lesquelles s'insèrent ces informations permet de structurer régionalement les références environnementales de la gestion et l'aménagement forestier, facilitant ainsi la réflexion et la communication.

Das Waldökosystem des Kantons Waadt: ein Land, vier Regionen

Dynamisch in Sachen Erhebung von Umweltdaten, verfügt der Kanton Waadt über eine reiche forstliche Datenbank. Deren wichtigste Elemente, wie die Geologie, das Klima, die Vegetation (pflanzensoziologische und dendrometrische Grundlagen), werden in vorliegendem Artikel beschrieben. Diese Datenbank steht dem gesamten Forstdienst zur Verfügung. Die Beschreibung der vier biogeografischen Regionen, in welche sich die Daten einfügen, erlaubt es, die Kenngrößen für die Bewirtschaftung und Forsteinrichtung nach Regionen zu strukturieren, was die Reflexion und die Kommunikation vereinfacht.

Le guide des stations forestières du canton de Vaud: synthèse pour les praticiens

Denis Horisberger
Micheline Meylan

Service des forêts, de la faune et de la nature du canton de Vaud (CH)*
Service des forêts, de la faune et de la nature du canton de Vaud (CH)

The guide to forest stations in canton Vaud: a summary for practitioners

The guide to forest stations in canton Vaud is a collection of references and applications intended for forest practitioners. This computer-based instrument constantly incorporates new information. The guide is conceived on transparent bases that can be repeated and thus called in question. It offers a simplified process for determining vegetation groups and evaluating their productivity. It is completed by some suggestions for a choice of species adapted to the station which takes into account their suitability for any given station, climate changes and the present composition of forest stands.

Keywords: phytosociology, climate change, silviculture, Vaud, Switzerland
doi: 10.3188/szf.2009.s0043

* La Faille, CH-1423 Villars-Burquin, courriel denis.horisberger@bluewin.ch

Fruit d'un intense dialogue entre forestiers et géobotanistes, produit de multiples remises en question sur le terrain, le guide des stations forestières du canton de Vaud est un ensemble de références et d'applications prioritairement élaboré à l'intention des forestiers praticiens. Il traduit la préoccupation de tracer un itinéraire de réflexion préparant les décisions de gestion. Bien que jalonné par des références forcément imparfaites, cet itinéraire se veut suffisamment simple et schématiquement reproductible pour devenir un dénominateur commun maîtrisé par la majorité du corps forestier.

Dès l'origine du projet en 1987, le guide des stations forestières a été conçu pour intégrer le processus d'interprétation des inventaires dendrométriques par échantillonnage. Au terme d'une longue trajectoire jalonnée par plusieurs études, notamment dans le cadre du projet MAB Pays-d'Enhaut (Horisberger et al. 1983), mais surtout par le développement d'outils informatiques de plus en plus élaborés, le canton de Vaud dispose depuis l'été 2008 d'un système de gestion de bases de données géographiques intégrant la quasi-totalité des informations d'aménagement et de gestion récoltées depuis 1962, identité des groupements végétaux comprise.

Développée par des géobotanistes, la typologie des stations forestières du canton de Vaud fait office de référence scientifique (Clot & Delarze 2009, ce numéro). En complémentarité, les forestiers ont adapté la matière scientifique pour la rendre acces-

sible aux praticiens journalièrement confrontés aux décisions de gestion sur le terrain ainsi qu'aux aménagistes. A l'origine, il semblait évident que ces démarches devraient aboutir à l'élaboration d'un ouvrage de synthèse tel que produit par de nombreux cantons. Avec le développement d'outils informatiques capables d'actualiser en permanence les données forestières sur un réseau fixe, une nouvelle conception s'impose: les modèles de référence s'enrichissent constamment de nouvelles informations et deviennent à leur tour évolutifs. Soumis à l'épreuve du temps et d'un climat en mutation, un rigoureux suivi de la situation devient un enjeu majeur. Le concept d'Observatoire des écosystèmes forestiers du canton de Vaud tente de répondre à ce défi.

La typologie et la description simplifiées des milieux forestiers

La généralisation des systèmes d'information géographique permet aujourd'hui aux praticiens d'alimenter, de consulter et d'intégrer aisément l'ensemble des paramètres de gestion. En conséquence, l'accompagnement des praticiens forestiers dans l'art de l'analyse des stations conditionne l'obtention d'effets positifs à long terme sur l'évolution des forêts (figure 1).

Le service des forêts, de la faune et de la nature du canton de Vaud s'est engagé depuis plusieurs années dans ce processus de longue haleine, visant:

Fig. 1 Accompagnement de praticien forestier dans l'art de l'analyse des stations, par Micheline Meylan.



- la formation progressive de l'ensemble du corps forestier (plus de 80 praticiens) et de quelques forestiers spécialisés indépendants,
- leur accompagnement dans un esprit de rafraîchissement des connaissances acquises et de formation continue,
- l'échange d'informations contribuant à collecter les expériences locales et améliorer les itinéraires sylviculturaux,
- la réalisation d'une banque de données phytosociologiques couvrant l'ensemble des forêts productives non parcourues à la densité d'un point par ha, sur une grille identique à celle des inventaires dendrométriques, soit environ 90 000 ha.

Complexes et hétérogènes, les systèmes descriptifs de la végétation se sont multipliés depuis plus d'un siècle dans la littérature spécialisée, rendant difficile l'identification d'un groupement végétal par tous les intéressés, d'autant plus s'ils se recrutent hors du cercle des professionnels issus de la filière académique. Dans ce contexte, le recours à une typologie simplifiée adaptée aux nécessités des praticiens s'est imposé.

La réduction du nombre d'espèces végétales indicatrices

La banque des données de végétation contient plus de 850 espèces herbacées, arbustives ou arborescentes identifiées, ainsi qu'une soixantaine d'espèces de mousses. Dans cette diversité maîtrisée par les seuls géobotanistes, 441 espèces réparties dans 73 groupes indicateurs ont été retenues comme significatives par ces spécialistes. A partir de ce point, les démarches respectives des géobotanistes et des forestiers praticiens suivent des voies séparées bien que parallèles. Les premiers conservent à juste titre

un maximum d'informations documentées pour produire un système ad hoc de classification des groupements végétaux. Les seconds, orientés vers l'action pratique, tentent de plonger les praticiens dans un système suffisamment simple pour qu'il devienne un dénominateur commun constamment exercé sur le terrain. La réduction du nombre d'espèces indicatrices utilisées pour les diagnostics stationnels représente un pas important de cette démarche. Mentionnons les principales options retenues parmi les nombreux choix ayant suscité des échanges animés entre intéressés:

- Renonciation aux espèces muscinales, groupe complexe de plantes difficiles à déterminer, rarement indicatrices exclusives d'un type de station.
- Renonciation à toute espèce herbacée indicatrice apparaissant dans moins de 2% des relevés régionaux (Jura/Côte, Plateau, Alpes) à l'exception de quelques espèces indicatrices très spécialisées, p. ex. la dorine à feuilles alternes (*Chrysosplenium alternifolium*), la bruyère carnée (*Erica carnea*), la listère en cœur (*Listera cordata*), la prêle géante (*Equisetum telmateia*), l'épiaire officinale (*Stachys officinalis*) ou encore la langue de cerf (*Phyllittis scolopendrium*).
- Renonciation aux espèces arborescentes, sauf pour les bonnes indicatrices stationnelles ou d'altitude: aubour des Alpes (*Laburnum alpinum*), merisier (*Prunus avium*), érable à feuilles d'obier (*Acer opalus*), merisier à grappes (*Prunus padus*), érable champêtre (*Acer campestre*). Le souci d'éviter de donner du crédit à des milieux fortement imprégnés d'influence humaine dans la strate arborescente a dicté ce choix. Toutefois, dans les cas d'analyses détaillées d'associations spécialisées telles que les chênaies, les érableaies et les frênaies, le relevé des espèces arborescentes est recommandé. Dans les Alpes, l'indication de la présence du hêtre a été reconnue utile à la différenciation de l'étage montagnard supérieur par rapport à l'étage subalpin. En tout état de cause, l'activation des liens entre les inventaires forestiers et les relevés de végétation autorise un suivi de la strate arborescente beaucoup plus riche d'informations qu'un simple relevé de végétation.
- Maintien de quelques espèces mésophiles (gaillet odorant [*Galium odoratum*], laïche des forêts [*Carex silvatica*], raiponce en épi [*Phyteuma spicatum*] et violette des forêts [*Viola reichenbachiana*]) dont l'absence indique des conditions stationnelles extrêmes.
- Adaptation de la liste des espèces indicatrices aux spécificités régionales.

Ce processus d'allègement du cortège floristique adopté pour les diagnostics stationnels a produit finalement une liste de 104 espèces valable pour le Jura, la Côte et le Plateau (tableau 1), respective-

Tab. 1 Formulaire de relevé phytosociologique valable pour le Jura, la Côte et le Plateau

Formulaire de relevé phytosociologique		Coord. 541 600/189 200													
Canton de Vaud															
Jura Côte Plateau															
Taxation et numéros d'association		128	11	26	12	13	5*	14	15	21	16	18	72	71	83
Numéro de relevé		Régression du hêtre: voir form. «Tillaies et chênaies»													
Altitude		Régression du hêtre: voir form. «Tillaies et chênaies»													
Forme du terrain		Voir formulaire «Frénaies et aunaises»													
Présence de calcaire actif		Régression du hêtre: voir form. «Tillaies et chênaies»													
		Tapis continu de mousses													
		Karst ou gros blocs stables													
		Nette régression concurr. du hêtre													
1. Espèces à large répartition altitudinale															
101. Mésophiles ubiquistes															
Gailet odorant	<i>Galium odoratum</i>	○													
Laïche des forêts	<i>Carex sylvatica</i>	○													
Raiponce en épi	<i>Phyteuma spicatum</i>														
Violette des forêts	<i>Viola reichenbachiana</i>	○													
102. Mésophiles à optimum sur sol frais															
Fougère mâle	<i>Dryopteris filix-mas</i>	+													
Lamier des mont., ortie jaune	<i>Lamium galeobdolon</i>	○													
Millet étalé	<i>Milium effusum</i>														
Parisette à quatre feuilles	<i>Paris quadrifolia</i>	+								8					
Primevère élevée	<i>Primula elatior</i>		8		8			8		8					
Reine-des-bois	<i>Aruncus diocus</i>				8										
103. Méso-hygrophiles															
Angélique sauvage	<i>Angelica sylvestris</i>		8		8			8							
Canche gazonnante	<i>Deschampsia cespitosa</i>		8					8							
Epière des forêts	<i>Stachys sylvatica</i>		8		8			8	8						
Fougère femelle	<i>Athyrium filix-femina</i>				8										
Lysimaque des bois	<i>Lysimachia nemorum</i>		8					8	8						
104. Hygrophiles															
Crépide des marais	<i>Crepis paludosa</i>														
Populage	<i>Caltha palustris</i>														
Prêle des forêts	<i>Equisetum sylvaticum</i>														
Reine-des-prés	<i>Filipendula ulmaria</i>														
105. +/- acidophiles															
Gailet à feuilles rondes	<i>Galium rotundifolium</i>								4						
Luzules des bosq. et blanc-de-n.	<i>Luzula luzuloïdes et nivea</i>									(6)					
Luzule des forêts	<i>Luzula sylvatica</i>							4	4	4					
Mélampyre des prés	<i>Melampyrum pratense</i>									(6)					
Myrtille	<i>Vaccinium myrtillus</i>									4					
106. Méso-basophiles et basophiles															
Bois-gentil	<i>Daphne mezereum</i>														
Ellébore fétide	<i>Helleborus foetidus</i>														
Gesse printanière	<i>Lathyrus vernus</i>	+				6									
Lis martagon	<i>Lilium martagon</i>														
Mélique penchée	<i>Melica nutans</i>				2										
Mercuriale vivace	<i>Mercurialis perennis</i>	●													
Viorne lantane	<i>Viburnum lantana</i>										2				
107. Basophiles, sols actifs, frais															
Ail des ours	<i>Allium ursinum</i>					6			8		9				
Egopode podagraire	<i>Aegopodium podagraria</i>				8			9	8						
108. Basophiles, humidité changeante															
Calamagrostide bigarrée	<i>Calamagrostis varia</i>								m	m	m				
Laïche glauque	<i>Carex flacca</i>														
109. Baso-xérophiles															
Nerprun des Alpes	<i>Rhamnus alpina</i>												3		
Seslérie bleuâtre	<i>Sesleria caerulea</i>									6	2				
110. Méso-xérophiles et xérophiles															
Hépatique à trois lobes	<i>Hepatica nobilis</i>		2		2			2	2						
Laïche des montagnes	<i>Carex montana</i>		2	2	2			2	2		2				
Muguet de mai	<i>Convallaria majalis</i>		2		2			2	2		2				
111. Méso-xérophiles indicatrices de limon															
Mélique uniflore	<i>Melica uniflora</i>		2												
2. Espèces de étages montagnardes et subalpin à optimum en climat frais et humide (> 800 m)															
201. Méso-hygrophiles															
Aconit tue-loup	<i>Aconitum altissimum</i>														
Adénostyle à feuilles d'alliaire	<i>Adenostyles alliariae</i>														
Renoncule laineuse	<i>Ranunculus lanuginosus</i>														
Saxifrage à feuilles rondes	<i>Saxifraga rotundifolia</i>														
Stellaire des bois	<i>Stellaria nemorum</i>														

Taxation et numéros d'association		128	11	26	12	13	5*	14	15	21	16	18	72	71	83
202. Méso-hygrophiles d'enneigement prolongé															
Laitue-des-Alpes	<i>Cicerbita alpina</i>														
Rumex à feuilles de gouet	<i>Rumex alpestris</i>														
3. Espèces des étages montagnardes et subalpin (> 800 m)															
301. Acidophiles															
Luzule jaunâtre	<i>Luzula luzulina</i>														
Mélampyre des forêts	<i>Melampyrum sylvaticum</i>							4							
302. Basophiles															
Chèvrefeuille des Alpes	<i>Lonicera alpigena</i>														
Valériane des montagnes	<i>Valeriana montana</i>								2						
303. Basophiles, humidité changeante															
Centauree des montagnes	<i>Centaurea montana</i>														
Fausse pâquerette	<i>Aster bellidiastrum</i>														
4. Espèces des étages subalpin, montagnard et, localement, submontagnard (> 600 m)															
401. Mésophiles															
Actée en épi	<i>Actea spicata</i>														
Chèvrefeuille noir	<i>Lonicera nigra</i>														
Grande fétuque	<i>Festuca altissima</i>														
Polygonate verticillé	<i>Polygonatum verticillatum</i>														
Polystich à aiguillons	<i>Polystichum aculeatum</i>														
Séneçon ovale	<i>Senecio ovatus</i>														
402. +/- basophiles															
Dentaire (Card.) à cinq folioles	<i>Cardamine pentaphyllos</i>									8					
Dentaire (Card.) à sept folioles	<i>Cardamine heptaphylla</i>														
5. Espèces à optimum aux étages montagnard inférieur et submontagnard (< 1100 m)															
501. Méso-thermophiles															
Houx	<i>Ilex aquifolium</i>	○													
Lierre	<i>Hedera helix</i>	○													
Merisier	<i>Prunus avium</i>	○													
Primevère vulgaire	<i>Primula acaulis</i>	+													
502. Méso-xérophiles et xérophiles															
Anthéricum rameux	<i>Anthericum ramosum</i>										3				
Céphalanthère sp.	<i>Cephalanthera sp.</i>				2				2						
Coronille émérés	<i>Hippocrepis emerus</i>				2				2						
Erable à feuilles d'obier	<i>Acer opalus</i>		2						2						
Germandrée petit chêne	<i>Teucrium chamaedrys</i>														
Laïche blanche	<i>Carex alba</i>								2						
Mélitte à feuilles de mélisse	<i>Melittis melissophyllum</i>		2	2	2			2	2						
503. Méso-hygrophiles															
Circée de Paris	<i>Circaea lutetiana</i>	○	8		8			8	8						
Merisier à grappes, bois puant	<i>Prunus padus</i>		8		8										
504. Hygrophiles sur sol sensible au tassement (hors ornières!)															
Laïche à épis espacés	<i>Carex remota</i>														
505. Méso-xérophiles +/- acidophiles															
Epiaire officinale	<i>Stachys officinalis</i>										4				
Fétuque à feuilles de 2 sortes	<i>Festuca heterophylla</i>		2								(6)				
Gesse des montagnes	<i>Lathyrus linifolius</i>		2								(6)				
Gesse noire	<i>Lathyrus niger</i>										(6)				
506. Basophiles															
Asaret d'Europe	<i>Asarum europaeum</i>														
Cornouiller sanguin	<i>Cornus sanguinea</i>								2						
Erable champêtre	<i>Acer campestre</i>	+			6				2						
Euphorbe à feuilles d'amandier	<i>Euphorbia amygdaloides</i>														
Tamier commun	<i>Tamus communis</i>	+			6										
Troène vulgaire	<i>Ligustrum vulgare</i>	○							2						
507. Basophiles, sols actifs															
Ornithogale des Pyrénées	<i>Ornithogalum pyrenaicum</i>					6									
6. Espèces à optimum à l'étage submontagnard (< 800 m)															
601. Méso-hygrophiles															
Laïche à épis pendants	<i>Carex pendula</i>		8						8						
Prêle d'hiver	<i>Equisetum hiemale</i>					6									
Prêle géante	<i>Equisetum telmateia</i>														
602. Hygrophiles															
Laïche fausse, laïche aigüe	<i>Carex acutiformis</i>														
Lysimaque vulgaire	<i>Lysimachia vulgaris</i>														
603. Basophiles, sols actifs, frais															
Gouet	<i>Arum maculatum</i>	○								8					
Pulmonaire sombre	<i>Pulmonaria obscura</i>														
604. Nitrophiles															
Alliaire officinale	<i>Alliaria petiolata</i>		u?												
Gaillet gratteron	<i>Galium aparine</i>		u?		8										
Lierre terrestre	<i>Glechoma hederacea</i>		u?		8										
7. Plantes des rochers et des blocs															
Asplénium à pétiole vert	<i>Asplenium viride</i>														
Capillaire rouge	<i>Asplenium trichomanes</i>														
Moehringie mousse	<i>Moehringia muscosa</i>														
Réglisse-des-bois	<i>Polypodium vulgare</i>														

Notation de la présence des espèces dans les relevés:

Espèce très abondante > 75% de couverture ●
 Espèce abondante ○
 Espèce faiblement présente (1–3 tiges) +

Exemple de relevé**Fréquences régionales constatées:**

Espèce fréquente (présence > 60% des cas) ■
 Espèce régulièrement présente (30–60%) ■
 Espèce peu fréquente (10–30%) ■
 Espèce généralement absente (< 10%) □

Sous-ass. ou variantes d'ass. marquées par:

– la présence de l'espèce X
 – l'absence de l'espèce (X)

Écogramme des sous-associations:

a = acide
 b = basique
 s = sèche
 h = humide

	a	b	
s	1	2	3
	4	5	6
h	7	8	9
	a	b	

Exemples de code:

115 = sous-association typique
 111 = sous-association plus acide et sèche
 110 = sous-association indéterminée

ment 121 espèces dans les Alpes¹. Nonante espèces sont des indicatrices communes à toutes les régions.

La réduction des groupes indicateurs

Plusieurs des 73 groupes indicateurs initiaux définis par les géobotanistes correspondent à des paramètres de situation (lisière, ravin, manteau, ourlet, etc.) ou de milieux prédéfinis (prairie, pelouse, chênaie, pinède, ruisseaux, sources, bas-marais, glissement, etc.) nécessaires à l'interprétation semi-automatique des relevés de végétation. L'attente du praticien est plutôt focalisée sur les paramètres fondamentaux orientant les choix sylviculturaux et la productivité, en l'occurrence l'humidité et le pH. Par ailleurs, le regroupement des espèces en fonction de leurs affinités écologiques ou altitudinales s'est progressivement imposé comme un facteur facilitant l'usage des groupes indicateurs sur le terrain. Finalement, la structuration du cortège floristique indicateur se résume pour les régions du Jura, de la Côte et du Plateau à 4 niveaux altitudinaux comprenant au total 30 groupes de même affinité écologique (tableau 1), respectivement 6 niveaux altitudinaux et 28 groupes dans les Alpes.

La simplification de la liste des groupements végétaux

La liste initiale des groupements définie par les géobotanistes comprend toutes les associations végétales figurant dans la banque des données phytosociologiques du canton de Vaud. Par rapport à cette liste, les principales simplifications suivantes ont été apportées dans la démarche proposée aux forestiers praticiens:

- Renonciation aux associations 230 (hêtraie à if), 660 (chênaie mixte à gouet) et 770 (pessière à érable du Jura), soit des associations végétales identifiées sur la base d'une influence humaine dominante et/ou peu cohérentes au niveau phytosociologique. Après visite des stations concernées, les relevés de végétation y relatifs ont été attribués sans problème à un large éventail d'associations parentes.
- Nombre de groupements végétaux expriment des spécificités régionales ou locales rarement rencontrées sur le terrain. En conséquence, il est apparu inutile de charger les documents de synthèse par une information trop spécialisée compliquant la réflexion des praticiens. Au surplus, l'originalité de

ces stations saute aux yeux sur le terrain, de sorte qu'il n'y a guère de risque de les négliger dans les décisions de gestion. Tout au plus faut-il se référer à la littérature spécialisée pour les décrire.

● Plusieurs groupements végétaux (chênaie, tillaie, frênaie, aunaie, érable) correspondent à des climax stationnels difficilement décelables par l'analyse du seul cortège floristique des relevés. Dans ces situations, l'étude du contexte environnemental est déterminante.

L'écogramme des sous-associations

Produit du pragmatisme animant les acteurs du dossier phytosociologique, l'écogramme développé pour classer les sous-associations végétales correspond à une version numérique à 9 cases de l'écogramme classique d'humidité et de pH du sol (voir les tableaux 1 à 3 ainsi que Clot & Delarze 2009, ce numéro). Ciblée très simplement sur les deux axes principaux d'observation des stations, cette approche positive sur le plan mnémotechnique s'est avérée parfaitement adaptée aux forestiers praticiens qui, dans la très grande majorité des cas, n'ont cure de la nomenclature compliquée prévalant dans la littérature spécialisée.

Les variantes stationnelles

Bien que décrites sur le plan floristique par les géobotanistes, les variantes stationnelles correspondent généralement sur le terrain à des évidences lithologiques, topographiques ou anthropogènes. En conséquence, dans l'approche simplifiée, elles ne sont pas appuyées par des considérations floristiques propres mais sont uniquement enregistrées par taxation visuelle selon une liste de référence (bas du tableau 2), à une exception près (m, variante sur sol marneux, sujette à des variations d'humidité importantes).

La fréquence régionale des espèces

Exprimée par une échelle de couleur, la fréquence régionale d'apparition d'une espèce dans une association ou une sous-association trace l'empreinte floristique du groupement concerné (tableau 1) et permet d'attribuer le code de sous-association correspondant. L'indication de fréquence obéit aux critères suivants:

¹ Formulaires accessibles sur www.vd.ch/observatoire-des-forets (1.9.2009)

Présence		Absence	
Signification du graphisme des numéros d'association: 1 ou †: confirmation de taxation ou d'exclusion			
Groupes			
101 Mésophiles ubiquistes			
Groupes de plantes ubiquistes à utiliser en fin d'analyse			
102 Mésophiles à optimum sur sol frais			
Groupes de plantes relativement fréquentes à utiliser en fin d'analyse			
103 Méso-hygrophiles			
	‡ 3	5*	72
104 Hygrophiles			
		5*	72
105 +/- acidophiles			
≥ 2 espèces →	‡ 12 ‡ 13	26	71 83
106 Méso-basophiles et basophiles			
≥ 2 espèces →		15	21
†† 26 †4 ‡2 ‡1 83		12	si gr. 506 absent
107 Basophiles, sols actifs, frais			
108 Basophiles, humidité changeante			
109 Baso-xérophiles			
110 Méso-xérophiles et xérophiles			
		2†	
111 Méso-xérophiles indicatrices de limon			
201 Méso-hygrophiles			
†† 26 ‡2 ‡3 ‡4 ‡5		18	72
2† 7†			
202 Méso-hygrophiles d'enneigement prolongé			
≥ 6 espèces des gr.			
201 et 202 →		18	
301 Acidophiles			

Axe hydrique		Axe chimique	
110 Hêtraie à aspérule			
111 112 113	Minimum 1 esp. ②, sans hygrophiles ou méso-hygrophiles		
117 118 119	Minimum 1 esp. ③, ou 2 autres méso-hygrophiles, sans xérophiles ou méso-xérophiles		
111		1 ou 2 méso-basophiles ou basophiles	113
114	Minimum 2 acidophiles, sans basophiles	(davantage → 120, 130, 150, 210),	116
117		sans acidophiles	119
120 Hêtraie à pulmonaire			
122	Minimum 1 esp. ②, sans hygrophiles ou méso-hygrophiles		
128	1 ou 2 hygrophiles et méso-hygrophiles (davantage → 130, 500), sans xérophiles		
130 Hêtraie à gouet			
		Minimum 1 esp. ⑥	136
140 Hêtraie à millet			
141 142 143	Minimum 1 esp. ②, sans hygrophiles ou méso-hygrophiles		
147 148 149	Minimum 1 esp. ③ ou 2 autres méso-hygrophiles (sauf fougère femelle), sans xérophiles ou méso-xérophiles		
141	1 esp. ④ ou au minimum 2 acidophiles,	1 esp. basophile ou méso-basophile	143
144	sans basophiles	(davantage → 120, 130, 150, 160, 210)	146
147			149
150 Hêtraie à cardamine			
151 152	Minimum 1 esp. ②, sans hygrophiles ou méso-hygrophiles		
157 158	Minimum 1 esp. ③, ou 2 autres méso-hygrophiles, sans xérophiles ou méso-xérophiles		
151			
154	1 esp. ④		
157			
160 Hêtraie à sapin			
161 162 163	Minimum 1 esp. ② ou ③, sans hygrophiles ou méso-hygrophiles		
167 168 169	≥ 4 méso-hygrophiles ou hygrophiles, sans xérophiles ou méso-xérophiles		
161			163
164	Au minimum 2 acidophiles de plus que de méso-basophiles ou basophiles	Au minimum 2 méso-basophiles ou basophiles de plus que d'acidophiles	166
167			169
180 Hêtraie à érable			
		Au minimum 2 méso-basophiles ou basophiles de plus que d'acidophiles	186

Tab. 2 Formulaire de détermination des associations, sous-associations et variantes valable pour le Jura, la Côte et le Plateau.

- < 5% de présence = espèce non mentionnée, sans importance déterminante pour l'association concernée,
- 5 à 9% = espèce en principe non mentionnée sauf exception liée à un caractère indicateur très prononcé, assimilée alors aux espèces de fréquence 10–29%,
- 10–29%,
- 30–59%,
- > 59%.

Le caractère d'une espèce absente de la sous-association centrale mais indicatrice d'une autre sous-association est exprimé par le code correspondant. Dans quelques cas, l'absence d'une espèce permet d'attribuer le relevé à une sous-association dont le code est alors indiqué entre parenthèses.

Les relevés phytosociologiques simplifiés

La technique de relevé

Les relevés phytosociologiques sont effectués sur une surface de 113 m² délimités par un rayon de 6 m autour du point d'inventaire de la grille systématique. Leur exécution respecte les principes d'une démarche classique tout en simplifiant la notation de la présence des espèces par des signes facilement lisibles sur les formulaires de relevé:

- Espèce très abondante (> 75% de couverture)
- Espèce abondante
- + Espèce faiblement présente (1 à 3 tiges)

Pour affiner l'analyse du poids des indications écologiques, le poids de deux espèces faiblement pré-

Détermination de l'association par analyse de la présence/absence des espèces par groupe de même affinité écologique

Note:
La démarche initiale est suivie d'une réitération de l'exercice de comparaison sur tous les groupes

Présence	Absence
302 Basophiles	
303 Basophiles, humidité changeante	
401 Mésophiles	
11 26 21	14 15 16 18 72
402 +/- basophiles	
501 Méso-thermophiles	
16 18 72 71 83	12 13 21
502 Méso-xérophiles et xérophiles	
21	
503 Méso-hygrophiles	
504 Hygrophiles sur sol sensible au tassement	
505 Méso-xérophiles +/- acidophiles	
≥ 2 espèces → 21	
506 Basophiles	
26 18 72 71 83	5* 21
≥ 2 espèces → 11 14 12 si gr. 106 absent	
507 Basophiles, sols actifs	
601 Méso-hygrophiles	
602 Hygrophiles	
5* ou 13	
603 Basophiles, sols actifs, frais	
604 Nitrophiles	
7 Plantes des rochers et des blocs	
Groupe de plantes écologiquement très spécialisées, sans influence sur la détermination de l'association	

Ecogramme des sous-associations:

a = acide		a	b	
b = basique	s	1	2	3
s = sèche		4	5	6
h = humide	h	7	8	9
		a	b	

Ex. de code:
115 = sous-association typique
111 = sous-association plus acide et sèche
110 = sous-association indéterminée

Détermination des sous-associations par analyse de la présence/absence des espèces sous l'angle des axes extrêmes hydrique et chimique

Note:
L'analyse des variantes de sous-associations concernant les érablaies (300), les tillaias (400), les frênaies et aunaies (500) et les chênaies (600) se fait sur les formulaires séparés concernant ces associations

Axe hydrique		Axe chimique	
210 Hêtraie à laïches			
213	1 esp. ③, sans hygrophiles ou méso-hygrophiles		
217 218 219	Minimum 1 esp. ⑧		
214	1 esp. ④ ou au minimum 2 acidophiles	1 esp. ⑥ ou absence d'acidophiles	213
217			216
			219
260 Hêtraie à luzule des bois			
262	Minimum 1 esp. ②		
710 Sapinière-Pessière à myrtille			
Uniquement sous-association centrale			
720 Sapinière à préle			
Uniquement sous-association centrale			
830 Pessière sur blocs			
Uniquement sous-association centrale			

Détermination des variantes de sous-association

Variantes liées à la lithologie et à la topographie:

- a Variante sur squelette calcaire superficiel non stabilisé (éboulis)
- b Variante sur gros blocs (éboulement)
- c Variante sur lapiés ou sur bancs rocheux affleurants
- e Variante des pentes marneuses raides, entrecoupées d'affleurements rocheux
- f Variante des pentes raides de ravins encaissés et frais
- g Variante des loupes de glissements de terrain

Variantes liées à la texture du sol, à sa teneur en azote, etc.:

- m Variante des sols marneux, sujet à des fluctuations d'humidité importantes
- n Variante des sols eutrophisés, riches en nitrates
- p Variante des sols morainiques à pseudogley, riches en limons, sensibles au tassement (Plateau molassique)

Variantes liées à des facteurs anthropogènes:

- u Variante des cordons boisés, haies et lisières
- v Variante des forêts pâturées
- w Variante des forêts parcs

sentes est admis équivalent à celui d'une espèce abondante.

Hormis dans des cas destinés à résoudre des problèmes spécifiques (p. ex. étude de transects de végétation), les relevés s'inscrivent dans la grille d'inventaire de 1 point par ha, ce qui permet de les relier aux autres informations consignées dans la banque des données forestières de l'Etat de Vaud.

L'interprétation des relevés

La démarche logique et répétitive proposée pour interpréter les relevés dérive des techniques utilisées par les géobotanistes. Les simplifications apportées pour s'adapter aux informations plus restreintes contenues dans les formulaires de relevé ont nécessité une longue expérience de terrain, princi-

palement acquise par Micheline Meylan, garde forestière, auteure de 14300 relevés simplifiés dans le réseau hectométrique et relectrice/correctrice des plus de 40000 relevés simplifiés effectués à ce jour sur ce même réseau.

L'itinéraire suivi dans cette démarche (tableau 2) passe systématiquement en revue la présence/absence des groupes d'espèces et procède par élimination progressive des associations et sous-associations non concernées. Au besoin, à défaut d'une solution évidente, la démarche est répétée, l'aire inventoriée réexaminée et l'environnement immédiat observé pour atteindre une conviction dans l'attribution du code de sous-association. L'absence de conviction, généralement due à un nombre restreint d'indicateurs sur l'aire du relevé, se manifeste par une nota-

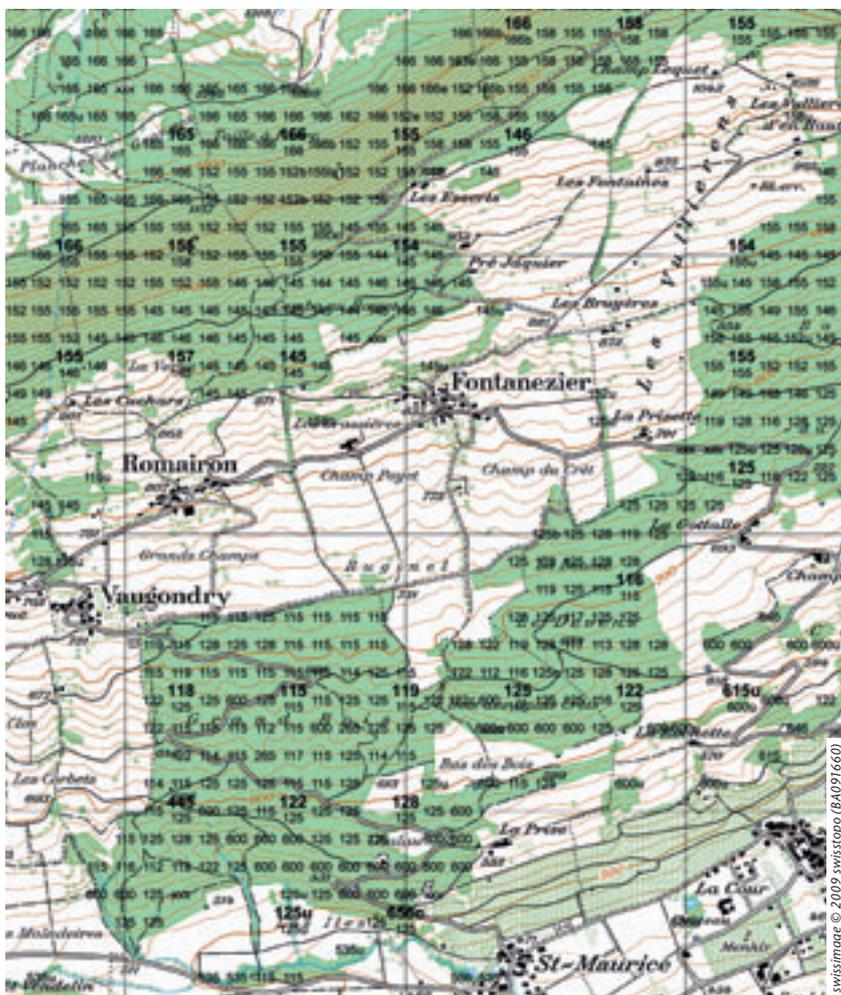


Fig. 2 Taxations phytosociologiques des réseaux de 1 relevé/ha et 1 relevé/16 ha.

Reproduit avec l'autorisation de swisstopo (BA091660).

tion incomplète (p. ex. 110, 600, etc.) ou carrément la mention d'absence de décision (xxx) jusqu'au réexamen global de la région concernée.

Les taxations du réseau hectométrique viennent alors se juxtaposer à celles du réseau de 1 relevé tous les 400 m (1 relevé/16 ha) traité par les géobotanistes (figure 2). Comme les emplacements de relevé ne coïncident pas exactement dans les deux démarches, leurs taxations respectives ne se superposent pas forcément, apportant de facto des informations supplémentaires qui se complètent et soulignent leur relativité. L'angle d'approche plus pointu des spécia-

listes peut infléchir les taxations du réseau hectométrique. Dans d'autres cas, ces dernières apportent leur contribution à la clarification d'une taxation $1/16$ ha peu fiable parce que privée d'un contexte de référence suffisant lors de la taxation. Il résulte de cet ensemble d'approches une carte formée de deux mosaïques concomitantes de taxations qui forment l'empreinte de la réalité côtoyée par le forestier praticien.

Du diagnostic stationnel aux actes de gestion

L'analyse des milieux forestiers permet d'évaluer les atouts et contraintes des stations, de donner des outils de diagnostic pour les gestionnaires et de hiérarchiser les facteurs susceptibles d'influer sur la production forestière (Curt 1997). Toutefois, cette analyse n'a de sens que si elle sert d'aide aux décisions qui doivent guider les praticiens forestiers dans la perspective du développement durable de l'écosystème forestier.

Associée au diagnostic stationnel, l'analyse de la productivité ligneuse et de la récolte des bois concerne le domaine spécifique de l'interprétation des inventaires dendrométriques, c'est-à-dire prioritairement un aspect quantitatif de la gestion forestière. Elle repose sur la maîtrise des outils de modélisation de la production ligneuse, branche d'étude pas directement utilisable sur le terrain. Pour cette raison, elle fait l'objet d'une contribution distincte (Horisberger 2009, ce numéro).

Dans un contexte de changement climatique, la conduite des peuplements s'oriente vers des itinéraires sylvicoles différenciés en fonction de l'état des peuplements, soit préventifs, soit curatifs. Liée de plus en plus à l'économie en eau des peuplements, la réorientation de la sylviculture reste un domaine à explorer, même si les recommandations de travailler avec une grande diversité d'essences et un meilleur équilibre possible entre couronne et système racinaire semblent la première réponse de bon sens face aux

Légende tableau 3

Aptitudes des essences intégrant vitalité physiologique, qualité du bois et comportement relatif

<ul style="list-style-type: none"> Aptitudes optimales Aptitudes suboptimales Aptitudes limitées Aptitudes inappropriées ou non caractérisées 	<p>Essences adaptées à la station, à favoriser conformément à leur tempérament propre.</p> <p>Essences adaptées à la station mais nécessitant une vigilance sylviculturale particulière par rapport aux facteurs limitants susceptibles de réduire leur vitalité et/ou la qualité de leur bois, facteurs de plus en plus marqués à l'approche de leur limite altitudinale supérieure.</p> <p>Essences régulièrement présentes dans la station, pas forcément dans la strate arborescente, peu satisfaisantes en termes de vitalité, production de bois et/ou qualité du bois, à maintenir généralement comme accompagnantes naturelles, utiles à la stabilité du peuplement et la biodiversité.</p> <p>Essences généralement absentes ou peu fréquentes dans la station.</p>
---	--

Stations à risques accentués de dépérissement en regard de l'évolution climatique

- Risques liés à des sols à faible capacité de rétention en eau, stations particulièrement défavorables à l'épicéa et au sapin blanc en cas de sécheresse, mais aussi très propices au développement de pourritures dans le cas de l'épicéa.
- Risques liés à des sols hydromorphes identifiés par des taches de rouille à 30–40 cm de profondeur, c'est-à-dire des sols à fluctuations d'humidité importantes d'origine pluviale, propices aux phénomènes de tassement du sol. Essences particulièrement sensibles en cas de sécheresse et/ou de tassement du sol: épicéa, sapin blanc, hêtre, érable sycomore, frêne et chêne pédonculé.

inquiétudes de l'avenir. La contribution du diagnostic stationnel consiste principalement à proposer un choix adéquat d'essences et à fournir des cartes de sensibilité aux stress hydriques.

Mais les mesures associées au diagnostic stationnel touchent également le domaine de la biodiversité. Dans une gestion orientée vers la multifonctionnalité de la forêt, la promotion active de la biodiversité font organiquement partie de la pratique forestière face au risque de banalisation de l'écosystème forestier.

Le choix des essences

En raison de la diversité génétique des essences forestières, la régénération naturelle présente des garanties d'adaptation particulièrement élevées pour affronter les conditions futures. Pourtant, en cas de régénération sous abri, une exposition insuffisante aux stress climatiques pourrait limiter les effets de la sélection naturelle, notamment pour les essences d'ombre aussi abondantes que le hêtre ou le sapin blanc. De quoi alimenter un vaste questionnement dans une période d'augmentation sensible des températures en moins d'une demi-génération d'arbres... Privilégier les mélanges d'essences représente une autre mesure de précaution permettant d'augmenter la capacité d'adaptation des peuplements, mais l'histoire des forêts ou le type de station ne laisse pas forcément au sylviculteur de larges possibilités de manœuvre. Et le palliatif de l'enrichissement artificiel des essences en station n'offre qu'une variabilité génétique restreinte, sauf en cas de plantation d'une véritable population éduquée en tant que telle en pépinière. Bref, plus que jamais, mettre les bonnes essences au bon endroit reste un art difficile à maîtriser...

L'action positive du forestier repose sur l'observation permanente et attentive de l'écosystème forestier, de manière à anticiper les effets du changement climatique. Le guide des stations forestières du canton de Vaud propose des formulaires d'analyse du choix des essences forestières naturelles valables pour chaque région et sous-association végétale (p. ex. tableau 3), documents proposant les informations suivantes²:

- les aptitudes des essences forestières naturelles intégrant vitalité physiologique, qualité du bois et comportement relatif,
- la sensibilité des stations à l'évolution climatique.

La liste des essences forestières naturelles retenues correspond à celles dont la fréquence d'apparition dans le réseau systématique des relevés de végétation $1/16$ ha est considérée comme significative. Dans les documents destinés aux praticiens figure également la description succincte du caractère de chaque essence, description sous-tendant la construction du formulaire d'analyse. La synthèse proposée ne prétend pas à l'exhaustivité mais ouvre des pistes

que le regard critique des sylviculteurs devrait faire évoluer, si possible en les adaptant régionalement, voire en les simplifiant pour correspondre aux besoins et réalités de chaque unité de gestion. En complément, une liste des essences rares ou hôtes exotiques adaptées aux stations vaudoises devrait être dressée sur la base de la littérature spécialisée, avec pour but de soutenir des objectifs ponctuels (protection biologique, protection du paysage, production de bois précieux, etc.).

La promotion de la biodiversité

La caractérisation de la biodiversité naturelle ou historique représente un enchevêtrement de systèmes dépendant de l'angle d'étude (botanique, ornithologique, entomologique, sylvicultural, etc.). Objectivement, l'écologisme focalisé sur la promotion d'une espèce ou d'un biotope particulier, même s'il préconise une gestion mesurée, échappe difficilement à la tentation d'enfermer le gestionnaire dans un cadre stratégique unilatéral. Par contre, l'environnement de travail du praticien forestier se présente comme un système ouvert, capable d'échanges avec les pôles d'intérêt les plus divers. Connaisseur privilégié des réalités de terrain, intégrateur des connaissances scientifiques, techniques, économiques ou politiques, il est chargé de la lourde responsabilité de tenir un rôle de décideur dans l'immense majorité des interventions touchant à l'évolution de la forêt, donc à sa biodiversité. Le guide des stations cherche à aiguïser l'attention du praticien sur la complexité de l'écosystème forestier avec pour but de l'aider à discerner les mécanismes dominants de son fonctionnement. Pour le reste, «le regard qu'il porte sur la forêt intègre son sol, sa flore, sa faune, son bois, son dynamisme, sa longévité, sa beauté... Dans cette optique, le martelage [mais aussi toute autre action culturelle] requiert simultanément prudence, goût du consensus, humilité et respect des rythmes naturels de l'écosystème» (Junod 2008).

Perspectives

Dans sa formulation actuelle axée sur la détermination des stations, le choix des essences, la promotion de la biodiversité et l'utilisation des références de production de bois, le guide des stations forestières du canton de Vaud n'est qu'une étape sur le chemin des remises en question actuelles. Dans une période de rapides changements climatiques, le besoin de décapitaliser les forêts en bois sur pied constitue un défi majeur pour le monde forestier, avec cette responsabilité d'orienter le choix des espèces pour affronter un environnement dont on ne distingue encore que les contours. La lente voie tra-

² www.vd.ch/observatoire-des-forets (1.9.2009)

ditionnelle des recherches scientifiques menées en laboratoire ou en forêt pour modéliser un avenir possible paraît elle-même dépassée par la vitesse d'apparition de phénomènes nouveaux (qui aurait prédit il y a encore peu d'années la fragilisation en plaine du hêtre ou du chêne pédonculé?). Gérer l'observation attentive de l'écosystème forestier et le partage des expériences vécues par les praticiens constitue certainement une des réponses les plus prometteuses pour amorcer des choix pertinents face aux modifications radicales attendues. ■

Soumis: 11 juin 2009, accepté (sans comité de lecture): 10 août 2009

Références

- AUBERT F (1953)** Un siècle dans la forêt vaudoise: fondation et activité de la Société vaudoise de sylviculture 1853–1953. Soleure: Office forestier central suisse. 84 p.
- BECHMANN R (1984)** Des arbres et des hommes. Paris: Flammarion. 385 p.

CLOT F, DELARZE R (2009) Typologie des groupements végétaux forestiers du canton de Vaud: rupture nécessaire d'une tradition. *J for suisse* 160: s13–s17. doi: 10.3188/szf.2009.s0013

CURT T (1997) Analyse du milieu et relation avec la production forestière. Nancy: Actes des deuxièmes rencontres forestières de l'ENGREF, 17–18.11.1995. pp. 68–76.

ENCYCLOPÉDIE ILLUSTRÉE DU PAYS DE VAUD (1972) Lausanne: 24 Heures. 209 p.

HORISBERGER D, GÉTAZ D, MEIER S (1983) Analyse des ressources ligneuses du Pays-d'Enhaut. Château-d'Oex: MAB Pays-d'Enhaut, Rapport N° 17. 99 p.

HORISBERGER D, MEYLAN M (2009) Productivité et exploitabilité des forêts du canton de Vaud: vers plus de réalisme. *J for suisse* 160: s54–s64. doi: 10.3188/szf.2009.s0054

JUNOD P (2008) Diversité biologique dans le quotidien forestier. Bâle: Fondation Sophie et Karl Binding. 128 p.

LANDOLT E (1991) Plantes vasculaires menacées en Suisse. Berne: Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage. 183 p.

SCHÜTZ J (1997) Développement durable: que signifie ce concept pour les forêts des pays industrialisés en zone tempérée? Nancy: Actes des deuxièmes rencontres forestières de l'ENGREF, 17–18.11.1995. pp. 11–18.

Le guide des stations forestières du canton de Vaud: synthèse pour les praticiens

Le guide des stations forestières du canton de Vaud est un ensemble de références et d'applications destiné aux forestiers praticiens. Cet outil, sur support informatique, intègre constamment de nouvelles informations. Conçu sur des bases reproductibles et donc susceptibles d'être remises en question, il propose une démarche simplifiée de détermination des groupements végétaux et d'évaluation de leur productivité. Il est complété par des suggestions de choix d'essences adaptées à la station qui tiennent compte de leurs aptitudes stationnelles, de l'évolution climatique et de la composition actuelle des peuplements forestiers.

Der Waldstandortführer des Kantons Waadt: Synthese für Praktiker

Der Waldstandortführer des Kantons Waadt ist eine Sammlung von Referenzen und Anwendungen für forstliche Praktiker. Dieses EDV-basierte Werkzeug wird laufend um neue Informationen ergänzt. Auf Basis von transparenten Grundlagen, die entsprechend anfällig auf Kritik sind, ermöglicht der Führer ein vereinfachtes Vorgehen zur Bestimmung der Pflanzengesellschaften und zur Schätzung ihres Produktionsvermögens. Er wird ergänzt um Empfehlungen bezüglich der Wahl von an den Standort angepassten Baumarten, welche die Standorteignung, die klimatische Entwicklung und die aktuelle Bestandeszusammensetzung berücksichtigen.

Productivité et exploitabilité des forêts du canton de Vaud: vers plus de réalisme

Denis Horisberger
Micheline Meylan

Service des forêts, de la faune et de la nature du canton de Vaud (CH)*
Service des forêts, de la faune et de la nature du canton de Vaud (CH)

Productivity and levels of exploitation of the forests in canton Vaud: a step towards more realism

The present debate concerning the sustainable management of natural resources, accentuated by a climate change already well attested but the effects of which are still largely uncertain, is reviving interest in previsions of productivity and possible exploitation of the forests. The repetition of inventories, and the interpretation of these taking into account the particularities of each station, do make it possible to construct coherent scenarios of future development, despite the considerable age of the available reference models. A moderate reaction to the observed ageing and weakening of the forests in canton Vaud should be to support the continuation of the strategy of constant intensification of exploitation followed throughout the twentieth century, a strategy which is, moreover, indispensable for the strengthening of the multifunctional use of woodlands.

Keywords: forest growth, productivity, annual allowable cut, climate change, Vaud, Switzerland
doi: 10.3188/szf.2009.s0054

* La Faille, CH-1423 Villars-Burquin, courriel denis.horisberger@bluewin.ch

Insaisissable production de bois... Pour décrire ce paramètre capital du fonctionnement de l'écosystème forestier, les scientifiques ont multiplié les modèles de calcul. Mais, une fois les scénarios élaborés, la production de bois se traduit sur le terrain en des réalités parfois fort éloignées. L'histoire des peuplements, le type de sylviculture, l'accessibilité des forêts, la technique d'exploitation, le marché économique, les objectifs d'aménagement, etc., sont autant de facteurs qui compliquent les calculs de productivité. Aujourd'hui, l'évolution climatique ébranle même des certitudes qui paraissaient bien établies: la forêt de demain changera profondément de visage, autant que la biodiversité. Malgré près d'un demi-siècle de cris d'alerte répétés (Flury 1965, Badan 1967), le peu d'estime porté à l'égard de la matière première bois par rapport aux matériaux de substitution ainsi que la sous-évaluation du rôle de la forêt en faveur de la société ont conduit à une surcapitalisation de bois, projetant les forêts dans une ère de fragilité accentuée par l'évolution des stress climatiques.

L'analyse de la production ligneuse a pour but principal de donner des cadres quantitatifs et qualitatifs aux gestes écotechniques présidant à la récolte du bois, à la réduction du nombre de tiges dans les jeunes peuplements (dépressage) et au réglage du mé-

lange des essences. Car l'image sécurisante développée autour de la notion de sylviculture proche de la nature escamote une réalité première: pour répondre durablement aux besoins de la société et maintenir un haut degré de biodiversité, ces gestes écotechniques sont continuellement correcteurs de... la nature. En effet, laissée à sa libre évolution, cette nature tend à un instable contraire aux nécessités de protection, surtout dans les peuplements dont les tiges sont insuffisamment dépressées, dans les phases de décrépitude, ainsi que dans les peuplements banalisés par l'occupation unilatérale de l'espace par les essences les plus concurrentielles, en l'occurrence les essences d'ombre et demi-ombre. Même un inconditionnel de la forêt sauvage exprime lucidement, mais sans l'acquiescer, le constat que notre société a tellement influencé la nature qu'elle en est réduite à «éviter un climax absolu qui devient monotone» (Hainard 2008).

Cadres quantitatifs et qualitatifs

Aucun modèle ne saurait prétendre refléter la réalité de l'évolution globale de l'écosystème forestier. Par contre, les modèles sont incontournables pour structurer la réflexion et placer des limites

quantitatives et qualitatives aux paramètres de gestion, sous réserve d'un contrôle permanent de l'évolution des boisés à l'aide des inventaires forestiers. Ce couple indissociable fonde l'action sylvicole responsable, c'est-à-dire durable dans ses effets.

Les tables de production

Les tables de production de l'Institut fédéral de recherches forestières (IFRF 1966, IFRF 1967, IFRF 1968 et IFRF 1969) concernant l'épicéa, le sapin, le mélèze et le hêtre ont été publiées entre 1966 et 1969. Leur originalité réside dans la présentation des courbes de répartition des tiges en fonction de l'âge et de la hauteur dominante des peuplements. Le Service des forêts, de la faune et de la nature du canton de Vaud a largement exploité et testé ces données. L'analyse des paramètres de production a débuté à l'aide de modèles rudimentaires (Horisberger 1969), puis s'est affinée par l'usage de la relation étonnamment cohérente entre l'âge (moyen, maximum), la hauteur des arbres dominants (h_{dom} , approchant le plus possible de la hauteur moyenne des 100 plus grosses tiges à l'hectare), le diamètre moyen (d_g , diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne) et le diamètre maximum (d_{max} , diamètre moyen des 2% plus grosses tiges) des peuplements (Horisberger 1982). L'indice de fertilité est formulé soit par la hauteur dominante à 50 ans (h_{dom} à 50 ans en m), notion simple à retenir mais qui ne se prête pas au calcul de moyennes, soit par l'accroissement moyen maximum depuis l'origine exprimé en m^3 de bois fort (m^3bf , bois de plus de 7 cm de diamètre).

Aujourd'hui, le bien-fondé du recours aux modèles calculés à partir des tables de production de l'IFRF semble largement attesté dans le canton de Vaud. Tous les indicateurs liés aux analyses de production, de capitalisation et d'exploitation des bois pointent sur des valeurs cohérentes entre elles. La constante amélioration qualitative des analyses aboutit à des estimations de production en hausse. C'est probablement l'effet de progrès dans l'usage des modèles, cumulés avec une augmentation de productivité liée à l'allongement de la période de végétation, l'augmentation des températures moyennes et l'amélioration des sols.

Les analyses de production

Interprétées et archivées dans une application informatique Access, les analyses de production comportent actuellement plus de 800 références acquises dans autant de peuplements vaudois remplissant en principe les critères suivants:

- le peuplement et la station doivent être homogènes sur l'ensemble de la surface étudiée et compor-

ter au minimum 80 tiges (dans les peuplements purs) à 200 ou plus (dans les peuplements mélangés),

- une intervention doit avoir été exécutée dans les quatre dernières années précédant l'analyse en sorte que les souches soient suffisamment saines pour permettre le comptage des cernes après un rafraîchissement partiel au rabot,
- le diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne doit être égal ou supérieur à 30 cm et l'âge du peuplement égal ou supérieur à 60 ans de manière à entrer dans le cadre des modèles de référence,
- les lisières et les limites de peuplement sont exclues pour ne pas influencer les résultats par des comportements anormaux.

Comme les caractéristiques dendrométriques analysées sont indépendantes de la surface, une grande souplesse de délimitation du peuplement à l'aide d'un topofil est possible. Elle permet de respecter scrupuleusement les critères d'homogénéité du peuplement et de la station. Après l'inventaire pied par pied effectué selon la méthode traditionnelle (avec compas forestier et carnet de relevés), les mesures complémentaires sont réparties sur l'ensemble de la surface: détermination de l'âge sur une dizaine de souches par essence, mesure d'une dizaine de hauteurs par essence dominante, mesure de la surface terrière par inventaire Bitterlich, relevé de végétation à l'aide de formulaires ad hoc, mesures de la pente et de l'orientation, description du relief, etc.

Après report de ces informations dans un fichier Excel automatisant les calculs, trois modèles issus des tables de production permettent d'évaluer l'indice de fertilité moyen (h_{dom} à 50 ans exprimé en m) en fonction des relations âge moyen/ h_{dom} , âge max/ d_{max} et âge moyen/ d_g (sur le principe de la démarche, se reporter à Horisberger 1982). En cas de discordance entre les résultats obtenus, il convient de tenir compte de tout indice susceptible de les biaiser, notamment par l'histoire du peuplement, et d'at-

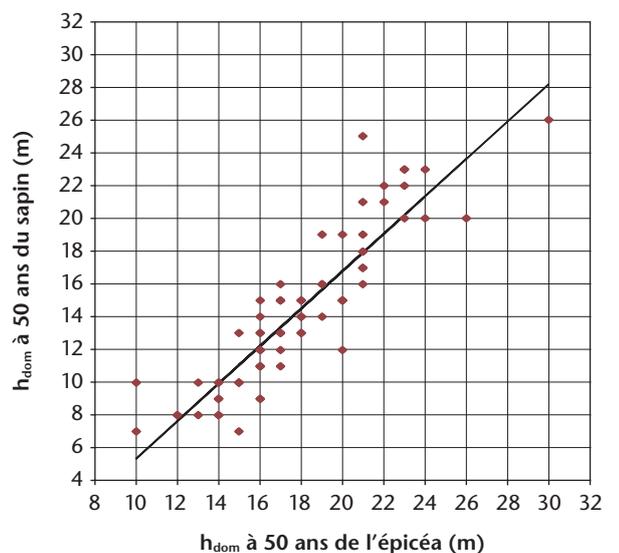


Fig. 1 Relation entre les indices de fertilité de l'épicéa et du sapin d'âges égaux dans un même peuplement.

tribuer une valeur moyenne valable pour le site en respectant les poids de «fiabilité» suivants: $IF_{h_{dom}} > IF_{d_g} > IF_{d_{max}}$.

L'épicéa, essence de référence

Parmi toutes les essences indigènes, l'épicéa possède une souplesse d'adaptation telle qu'il est capable de se développer dans quasi toutes les stations productives du canton, facilitant les analyses comparatives entre niveaux de fertilité. Cette qualité est complétée par l'existence d'une relation simple entre les indices de fertilité des principales essences qui structurent les peuplements, à l'exemple de la relation entre l'épicéa et le sapin blanc (figure 1).

Dès lors, l'épicéa devient logiquement l'étalon d'une table de correspondance des indices de fertilité des différentes essences (figure 2). Cette table doit toutefois être considérée comme une échelle de tendances globalement confirmées pour les conditions vaudoises mais que les réalités de terrain peuvent infléchir en fonction de spécificités locales, vaste espace d'étude encore à explorer.

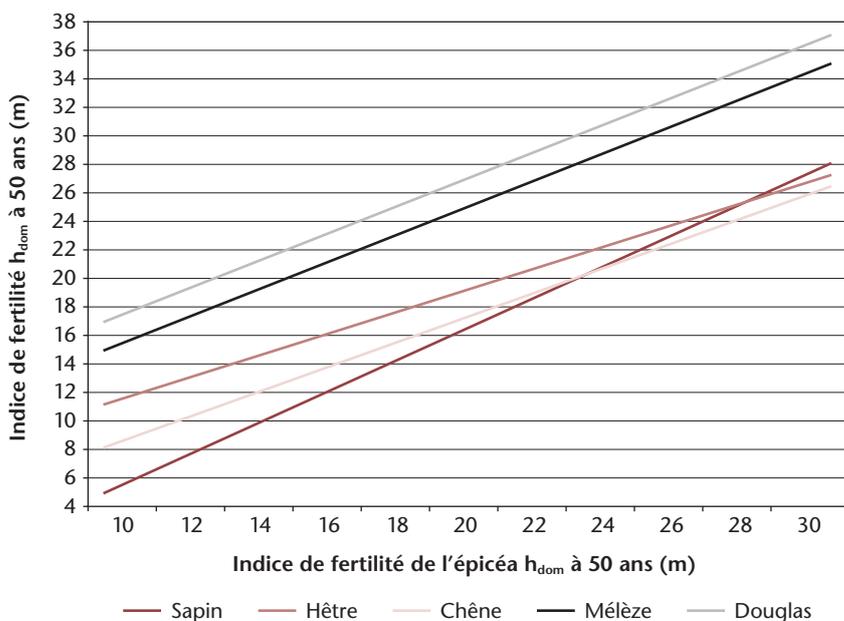


Fig. 2 Correspondances entre les indices de fertilité exprimés par la hauteur dominante à 50 ans des principales essences structurant les peuplements (tendances!).

L'occupation spatiale par les essences principales

L'usage de références volumétriques pour décrire l'état des forêts dissimule un facteur souvent négligé dans les analyses de production, soit celui de la relation entre le volume du matériel sur pied et la surface occupée par les différentes essences. Comme les tables de production fournissent des données rapportées à la surface de peuplements purs, leur utilisation pour analyser des ensembles mixtes passe par

ce dénominateur commun. Selon les normes actuellement retenues dans le canton de Vaud, à station et volume du matériel sur pied (exprimé en m^3t , tarif vaudois unique) égaux le sapin occupe 90% de la surface qu'occuperait l'épicéa, le mélèze 100%, le Douglas 80%, le chêne 140%, le hêtre et les feuillus divers 130%. Les différences d'occupation spatiale ne sont donc pas négligeables de sorte qu'elles doivent être prise en compte dans les calculs d'accroissement basés sur la proportion en volume des essences.

L'influence de l'altitude sur la fertilité

La dynamique de production de bois porte logiquement l'empreinte des régions, principalement en corrélation avec la température, la pluviométrie, le régime des vents et la nature des sols (Horisberger 2009, ce numéro). Le gradient altitudinal synthétise la résultante de ces influences sur l'indice de fertilité dans les forêts productives du canton de Vaud (figure 3). L'apparente dispersion des données de fertilité ou d'accroissement en fonction de l'altitude résulte principalement de différences stationnelles et, dans la majorité des cas extrêmes, de choix insuffisamment critiques des peuplements étudiés.

- Région Jura/Côte (figure 5): la diminution de l'indice de fertilité moyen rapporté à l'épicéa est relativement faible jusqu'à environ 1000 m d'altitude. Les effets de la diminution de la longueur de la période de végétation sont probablement gommés par l'élévation de la pluviométrie sur des sols relativement profonds, enrichis de moraine alpine et à bonne capacité de rétention en eau. Par contre, à partir de 950–1000 m d'altitude, en se rapprochant des crêtes jurassiennes, la rudesse du climat et la plus grande superficialité des sols sur roche-mère calcaire se marquent par une rapide diminution de l'accroissement.

- Région Plateau (figure 6): aucun effet perceptible de l'augmentation de l'altitude n'est décelé sur l'indice de fertilité moyen rapporté à l'épicéa. Comme dans la région Jura/Côte au-dessous de 1000 m d'altitude, les effets de la diminution de la longueur de la période de végétation sont probablement gommés par l'élévation de la pluviométrie sur des sols à bonne capacité de rétention en eau.

- Région Alpes (figure 7): moins documenté que dans les autres régions, l'indice de fertilité moyen semble suivre une régression régulière avec l'augmentation de l'altitude. Cette tendance met en évidence les différences climatiques importantes dans les Alpes par rapport au Jura: pluviométrie plus élevée et plus régulière, peu d'effets de crête dans les Alpes, absence de bise mais forte influence du foehn. Alors qu'à 1500 m d'altitude l'indice de fertilité rapporté à l'épicéa avoisine 10 m de hauteur dominante à 50 ans dans le Jura, correspondant à une produc-

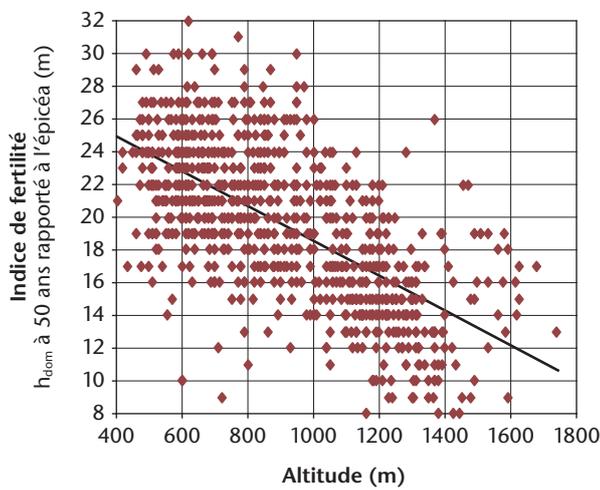


Fig. 3 Relation entre l'indice de fertilité rapporté à l'épicéa et l'altitude dans l'ensemble du canton de Vaud.

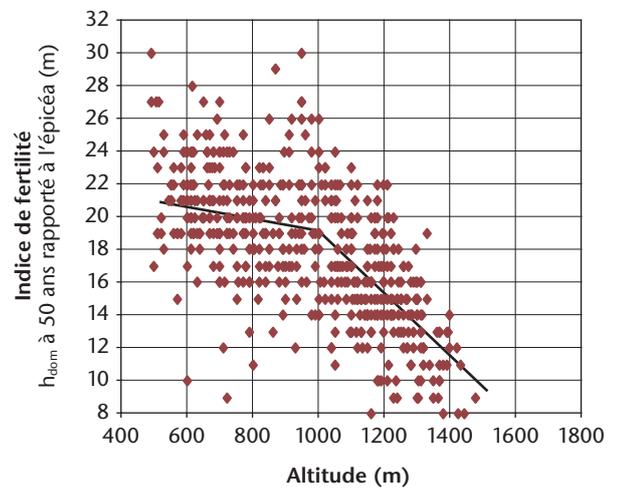


Fig. 5 Relation entre l'indice de fertilité rapporté à l'épicéa et l'altitude dans les régions du Jura et de la Côte.

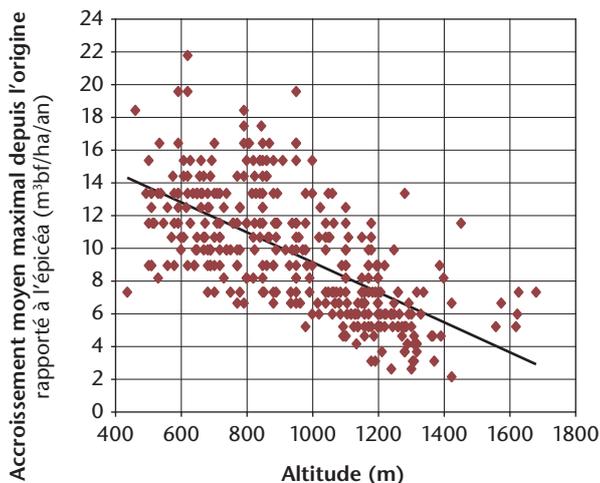


Fig. 4 Relation entre l'accroissement moyen maximal depuis l'origine rapporté à l'épicéa et l'altitude dans l'ensemble du canton de Vaud.

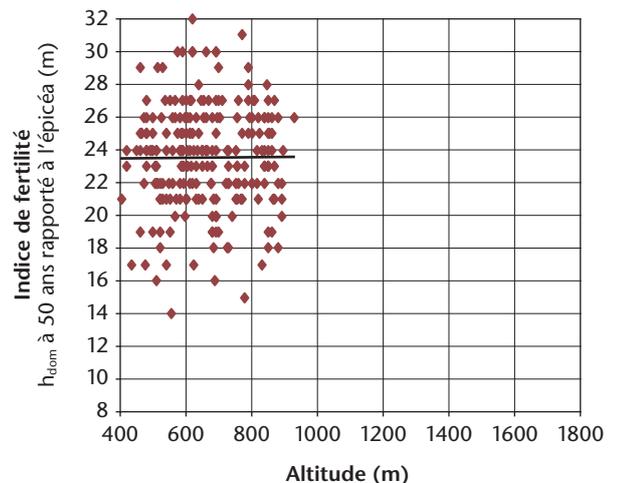


Fig. 6 Relation entre l'indice de fertilité rapporté à l'épicéa et l'altitude dans la région du Plateau.

tivité d'environ 3–4 m³bf/ha/an, il se situe encore autour de 16 m dans les Alpes pour une productivité de 6–7 m³bf/ha/an!

Analysé en fonction de l'altitude, le comportement des indices de fertilité offre une source d'information extrêmement riche. Par exemple, étudié pour l'ensemble des forêts du canton de Vaud, l'accroissement moyen maximal depuis l'origine de peuplements purs d'épicéa, exprimé en m³ de bois fort (figure 4), permet de calculer sa relation avec la température. En raison de différences régionales, ce document ne présente qu'une synthèse approximative de la situation. L'accroissement de l'épicéa varie en moyenne de 12.0 m³bf/ha/an sur 1400 m de dénivellation, ce qui traduit:

- un gradient vertical d'accroissement de 0.86 m³bf par 100 m de dénivellation,
- un gradient d'accroissement atteignant 1.36 m³bf par degré de température, en admettant un gradient vertical de 0.63 degré par 100 m de dénivellation en période de végétation (Bouët 1985),
- une augmentation d'accroissement située autour de 2.0 m³bf/ha/an au XX^e siècle, nonobstant

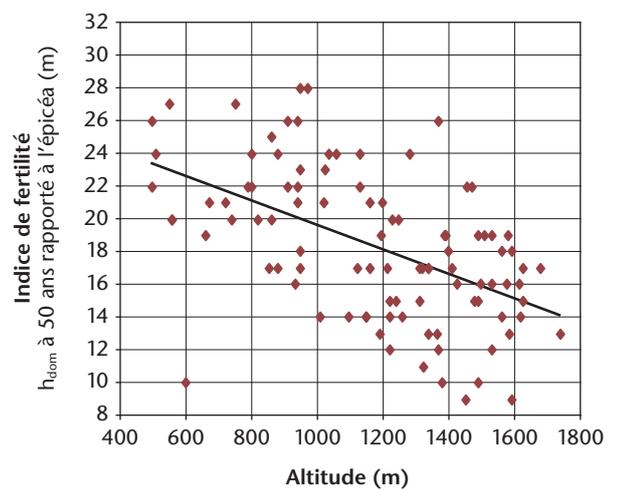


Fig. 7 Relation entre l'indice de fertilité rapporté à l'épicéa et l'altitude dans la région des Alpes.

une élévation moyenne des températures estimée à 1.3 degrés (Rebetez 2008), c'est-à-dire une valeur correspondant à 25% de l'accroissement moyen de bois fort calculé actuellement pour les forêts productives du canton de Vaud (8.0 m³bf/ha/an).

L'influence de la station sur la productivité

La typologie développée pour décrire les milieux forestiers (Clot & Delarze 2009, ce numéro) répond au besoin fondamental du gestionnaire forestier de structurer une réflexion sylviculturale en fonction de la végétation. Synthèses de processus complexes, les références de productivité permettent de quantifier une dynamique d'évolution, ou tout au moins d'étalonner les milieux les uns par rapport aux autres. Parmi tous les facteurs d'influence, la longueur de la période de végétation et l'alimentation en eau prédominent très largement en fonction:

- de l'altitude qui intègre les paramètres de température et de pluviométrie,
- des qualités physico-chimiques des sols et, surtout, de leur capacité de rétention en eau qui détermine le potentiel de résistance de la végétation aux stress hydriques,
- de la topographie, qui complexifie l'ensemble des paramètres cités ci-dessus.

La littérature spécialisée affiche une grande pauvreté d'informations quantitatives sur la productivité ligneuse dans les divers groupements végétaux, à l'exception de quelques travaux précurseurs effectués sur le Plateau suisse (p. ex. Frehner 1963, Keller et al 1998). Même l'Inventaire Forestier National

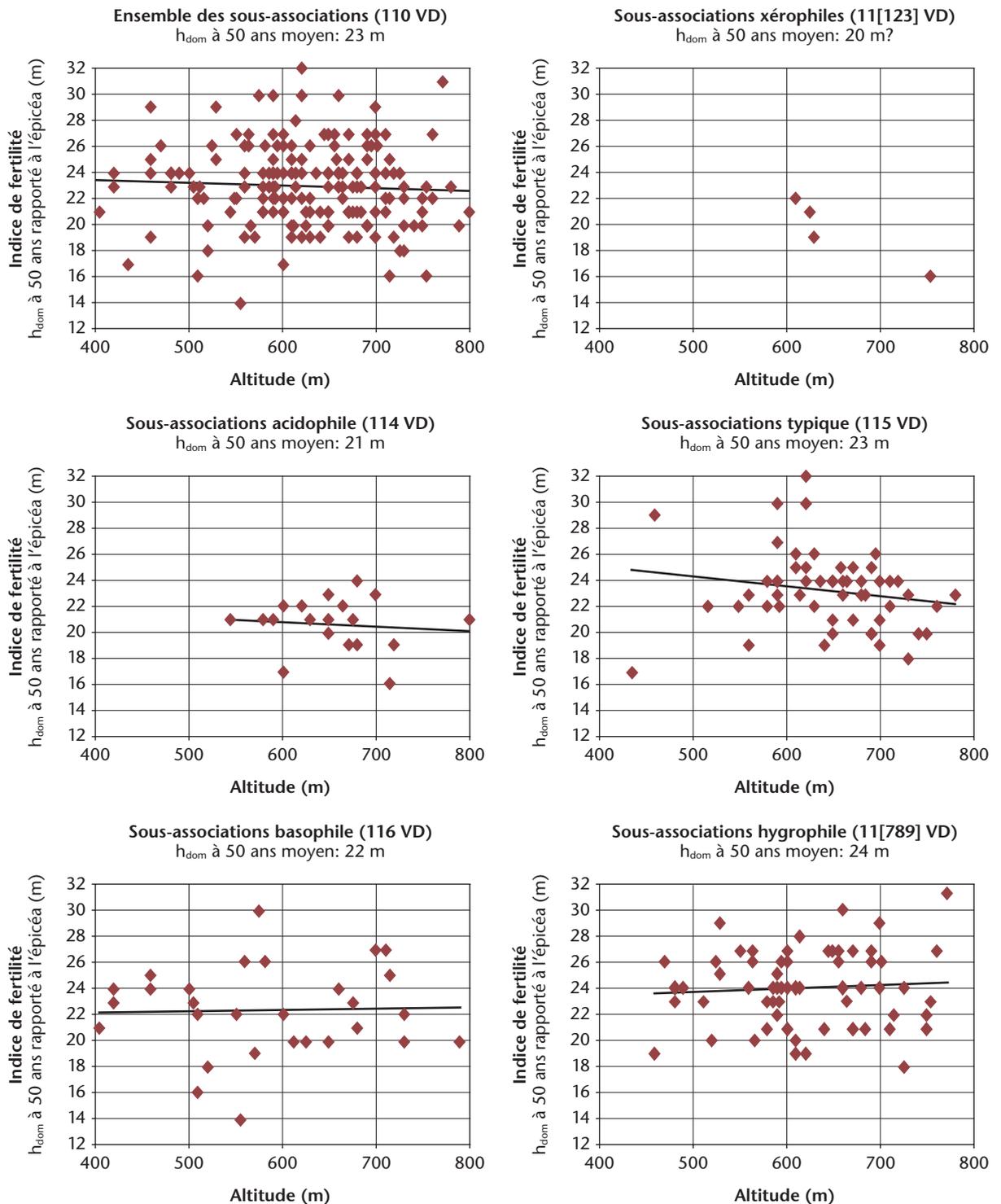


Fig. 8 Influence des facteurs d'humidité et de pH du sol sur la fertilité dans la hêtraie à asperule.

suisse ne fournit que des données lacunaires basées sur un schéma écologique simple qui permet d'ordonner les indices de fertilité selon la hauteur dominante en fonction des types de stations (Keller 1978). Notons également que la comparaison des inventaires pied par pied ou par échantillonnage, essentiellement ciblée sur des unités de gestion et non sur des types de stations, ne fournit guère de données fiables sur l'accroissement. Expérience faite dans les inventaires forestiers pied par pied ou par échantillonnage du canton de Vaud, les difficultés récurrentes rencontrées dans les calculs d'accroissement prennent déjà source au niveau de la morphologie des opérateurs qui tiennent les compas d'inventaire (grand fort ou petit maigre ...), ce qui peut engendrer des données d'accroissement incohérentes, sans compter les innombrables événements catastrophiques qui perturbent les contrôles d'exploitation ...

Au fil de la récolte des données, une remarquable cohérence s'est dessinée entre les indices de fertilité calculés par association et sous-association végétales. La gradation d'humidité identifiée par les espèces herbacées xérophiles, mésophiles ou hygrophiles, ainsi que certaines qualités physico-chimiques du sol marquées par les espèces acidophiles ou basophiles, se répercute nettement sur la fertilité (figure 8).

Bien qu'un certain nombre d'associations et de sous-associations soient peu documentées en matière de fertilité, le tableau 1 présente une synthèse

reflétant le niveau des connaissances actuelles dans le canton de Vaud et la figure 9 une traduction géographique de la répartition des accroissements moyens potentiels rapportés à l'épicéa.

Le matériel sur pied et son évolution

Sur les 120 300 ha assujettis à la législation forestière dans le canton de Vaud, seuls 108 200 ha sont boisés, dont 6900 ha par des formations pionnières ou marginales rarement exploitées et faiblement pourvues en matériel sur pied (en moyenne env. 80 m³t/ha, m³ au tarif vaudois unique par ha). L'aire des forêts significatives sur le plan de la production ligneuse s'élève donc à 101 300 ha. Une présentation détaillée de l'état du matériel sur pied et de son évolution est accessible sur le site du Service des forêts, de la faune et de la nature du canton de Vaud¹ alors que seules les données essentielles pour la gestion à venir sont retenues ici.

- Entre 1975 et 1997, le matériel sur pied des boisés productifs non parcourus par le bétail (89 400 ha) a passé de 282 à 351 m³t/ha, sans modification du pourcentage de feuillus (34%).

- Cette évolution révèle une très importante capitalisation de 3.1 m³t/ha/an pour un accroissement dépassant 7 m³t/ha/an.

- Cette capitalisation est attestée par l'évolution des proportions de petits (16–28 cm), moyens (28–48 cm) et gros bois (> 48 cm) qui passent de 19/51/30% à 15/45/40%.

- A titre de comparaison, le modèle de forêt durable, équilibré sur le plan des stades de développement et basé sur une répartition d'essences identique à l'état 1997, est caractérisé par un volume de 266 m³t/ha pour un accroissement de 6.5 m³t/ha/an. Dans ce modèle, les proportions de petits bois s'inscrivent dans une fourchette de 20 à 25%, les moyens bois 40 à 45% alors que les gros bois ne devraient guère dépasser 35% (SFFN 1975).

- Bien que les forêts privées soient plus riches en matériel sur pied que les forêts publiques (377, resp. 342 m³t/ha) et une plus grande richesse en feuillus (41, resp. 32%), les deux unités présentent une même problématique de déséquilibre des classes de développement.

Les potentialités de production et d'exploitation

La forêt consiste en un système spatio-temporel hétérogène dont chaque élément réagit à son rythme propre au gré de l'évolution des structures verticale et horizontale des peuplements ainsi que

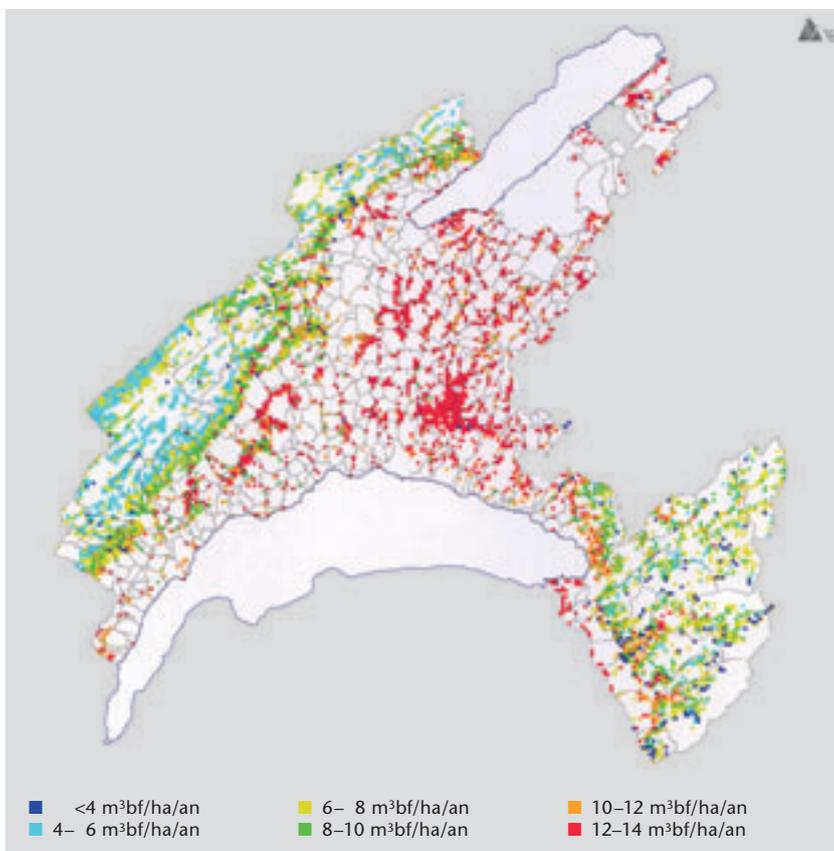


Fig. 9 Accroissement moyen potentiel en m³bf rapporté à l'épicéa dans les forêts du canton de Vaud. Source: Etat de Vaud.

1 www.vd.ch/observatoire-des-forets (1.9.2009)

Association végétale	Numéro de sous-association	h _{dom} à 50 ans ± 12%			Accr. moyen depuis l'origine ± 20% en m ³ de bois fort			Accr. moyen depuis l'origine ± 20% en m ³ au tarif VD unique		
		Epicéa	Sapin	Hêtre	Epicéa	Sapin	Hêtre	Epicéa	Sapin	Hêtre
		m	m	m	m ³ bf /ha/an	m ³ bf /ha/an	m ³ bf /ha/an	m ³ t /ha/an	m ³ t /ha/an	m ³ t /ha/an
Hêtraie à aspérule	111-112-113	20	16.5	19	10.0*	12.5*	7.5*	8.0*	10.5*	6.0*
	114	22	19	21	11.5*	14.0*	8.5*	9.5*	11.5*	6.5*
	115	23.5	20.5	22	13.0*	15.0*	9.5*	10.5*	12.0*	7.0*
	116	22.5	19.5	21	12.0*	14.5*	9.0*	9.5*	11.5*	6.5*
	117-118-119	24	21	22.5	13.5	15.5	10.0	10.5	12.5	7.0
Hêtraie à pulmonaire	122	20	16.5	19	10.0*	12.5*	7.0*	8.0*	10.5*	5.5*
	125	22.5	19.5	21	12.0*	14.5*	9.0*	9.5*	11.5*	6.5*
	128	23	20	21.5	12.5	15.0	9.0	10.0	12.0	6.5
Hêtraie à gouet	135-136	23.5	20.5	22	13.0	15.0	9.5	10.5	12.0	7.0
Hêtraie à millet	141-142-143	21	17.5	20	10.5*	13.5*	8.0*	8.5*	11.0*	6.0*
	144	22.5	19.5	21	12.0	14.5	8.5	9.5	11.5	6.5
	145-146	23	20	21.5	12.5	15.0	9.0	10.0	12.0	6.5
	147-148-149	24	21	22.5	13.5	15.5	10.0	10.5	12.5	7.0
Hêtraie à cardamine	152	19.5	16	19	9.5	12.0	7.0	8.0	10.0	5.5
	155	21	17.5	20	10.5	13.0	8.0	8.5	11.0	6.0
	158	22.5	19.5	21	12.0	14.5	9.0	9.5	11.5	6.5
Hêtraie à sapin < 1200 m	161-162-163	14	9.5	14.5	5.5	7.0	4.0	4.5	6.5	4.0
	164	15	10.5	15	6.0	8.0	4.5	5.0	7.5	4.0
	165	16.5	12.5	16.5	7.0	9.5	5.5	6.0	8.0	4.5
	166	18	14	17.5	8.0	11.0	6.0	7.0	9.0	5.0
	167-168-169	18.5	15	18	8.5	11.5	6.5	7.5	9.5	5.5
Hêtraie à sapin > 1199 m	161-162-163	13	8.5	13.5	4.5	6.5	3.5	4.0	6.0	3.5
	164	14.5	10	15	5.5	8.0	4.5	5.0	7.0	4.0
	165	16	12	16	6.5	9.0	5.0	5.5	8.0	4.5
	166	17	13	17	7.5	10.0	5.5	6.5	8.5	5.0
	167-168-169	18	14	17.5	8.0	11.0	6.0	7.0	9.0	5.0
Hêtraie à laïches	21 [3456789]	16.5	12.5	16.5	7.0*	9.5*	5.5*	6.0*	8.0*	4.5*
Hêtraie à luzule des bois	262-265	16.5	16	19	9.5	12.0	7.0	8.0	10.0	5.5
Erablaie à langue de cerf	315	21.5	18	20.5	11.0	13.5	8.0	9.0	11.0	6.0
Erablaie à alisier	342-345	12	7.5	13	4.0	5.5	3.5	3.5	5.5	3.5
Erablaie à corydale	325	22	19	21	11.5	14.0	8.5	9.5	11.5	6.5
Erablaie à reine-des-bois	335	19.5	16	19	9.5	12.0	7.0	8.0	10.0	5.5
Erablaie à orme	355	15	10.5	15	6.0	7.5	4.5	5.0	7.0	4.0
Tillaies	4[124]5	17	13	17	7.5	10.0	6.0	6.5	8.5	5.0
Frênaies < 800 m	5[23456]5	23	20	21.5	12.5	15.0	9.0	10.0	12.0	6.5
Frênaies 800–1099 m	5[2345]5	20.5	17	19.5	10.5	13.0	7.5	8.5	10.5	6.0
Frênaies > 1099 m	5[345]5	18	14	17.5	8.0	11.0	6.0	7.0	9.0	5.0
Chênaie à gesse noirissante	645-646	16	12	16	6.5	9.0	5.0	5.5	8.0	4.5
Chênaie à gaillet des bois	65 [5689]	20	16.5	19	10.0	12.5	7.0	8.0	10.5	5.5
Chênaie à luzule	675	19	15.5	18.5	9.0	11.5	6.5	7.5	9.5	5.5
Sapinière-pessière à myrtille	715	17	13	17	7.5	10.0	5.5	6.5	8.5	5.0
Sapinière à prêle	725	13.5	9	14	5.0	7.0	4.0	4.0	6.5	4.0
Sapinière-pessière à adénostyle	731-732-733	16.5	12.5	16.5	7.0	9.5	5.5	6.0	8.0	4.5
	734-735-736	17	13	17	7.5	10.0	5.5	6.5	8.5	5.0
	737-738-739	18	14	17.5	8.0	11.0	6.0	7.0	9.0	5.0
Pessière à polygale petit buis	752	10	5	11	3.0	3.5	2.5	2.0	4.5	2.5
	755	10.5	5.5	11.5	3.5	4.5	2.5	2.5	4.5	3.0
Pessière à calamagrostide	765	16.5	12.5	16.5	7.0	9.5	5.5	6.0	8.0	4.5
Pessière à myrtille	815	13.5	9	14	5.0	7.0	4.0	4.0	6.5	4.0
Pessière sur blocs	835	11.5	7.5	13	4.0	5.5	3.5	3.5	5.5	3.5
Pessière à adénostyle	845-848	16	12	16	6.5	9.0	5.5	5.5	8.0	4.5
Ecogramme des sous-associations: (dernier chiffre du numéro de la sous-association)		a		b						
	s	1	2	3	s					
		4	5	6						
	h	7	8	9	h					
		a		b						

Tab. 1 Correspondances entre les indices de fertilité et les accroissements moyens de l'épicéa, du sapin et du hêtre valables pour le Plateau et les Alpes. Les données valables pour le Jura sont inférieures de 5 à 10%. Important: les valeurs d'accroissement sont valables dans un intervalle de ± 20% par rapport à la valeur donnée. Astérisque*: valeur à réduire de 15% sur les pentes supérieures à 30%.

des modifications dans la répartition des essences, le tout étant principalement dicté par la fertilité des stations, les paramètres climatiques et les actions de gestion. L'inertie actuelle du système est remarquable, même au travers d'événements catastrophiques tels que les ouragans, qui font d'ailleurs partie intégrante de la dynamique naturelle des forêts. Objectivement, au XX^e siècle, les ouragans n'ont que légèrement et temporairement corrigé une dynamique d'évolution marquée par une tendance au vieillissement excessif des forêts, sans modifier fondamentalement l'accroissement global des bois. Mais la multiplication attendue des stress climatiques pourraient déstabiliser plus rapidement que prévu cette apparente solidité de l'écosystème forestier ...

Un calcul de productivité fiable pour une unité de gestion ou une région repose sur les connaissances rassemblées au niveau stationnel. Plus l'ensemble pourra être réduit à l'addition d'unités de comportement homogène, plus grande sera la qualité des résultats. A proportions résineux/feuillus équivalentes à celles du dernier inventaire global (1996–1998), l'évaluation des potentialités de production durable du canton de Vaud, boisés pionniers et marginaux exclus, repose sur les unités de calcul suivantes:

- 3 régions (Jura/Côte, Plateau, Alpes),
- 30 associations végétales,
- 153 sous-associations ou regroupements de sous-associations végétales,
- 2 types de boisés parcourus.

Les potentialités d'exploitation

La production théoriquement disponible de manière durable n'est pas exploitable en totalité (tableau 2) car les plans directeurs forestiers prévoient des réductions de récolte pour atteindre dans certains cas des objectifs d'aménagement autres que la valorisation du bois (protection physique, protection paysagère, protection biologique et récréation/accueil), mais surtout en raison des difficultés d'accès aux peuplements. La clé de calcul des potentialités d'exploitation répond aux critères suivants fixés en fonction d'une longue expérience de calcul des possibilités d'exploitation dans le canton de Vaud:

- 100% exploités: objectif de valorisation normale sur pente < 30%,

- 70% exploités: objectif de valorisation normale sur pentes de 30 à 59% ou objectifs de valorisation faible,
- 40% exploités: objectif de valorisation normale sur pentes de 60 à 89% ou objectif de valorisation occasionnelle,
- 0% exploité: objectif de valorisation nulle ou pente > 89%.

Des 625 000 m³/an théoriquement disponibles dans l'ensemble du canton, seuls 466 000 m³/an pourraient être exploités durablement selon les critères actuels, c'est-à-dire 75% de la production totale. Mais ici encore les régions se distinguent par des différences sensibles puisque le taux d'exploitabilité atteint 81% dans la région Jura/Côte, 85% sur le Plateau, alors que les Alpes n'atteignent logiquement que 54%.

Les bois non valorisés

Les données calculées sont impressionnantes: 25% des potentialités de production ou 159 000 m³/an au total dans le canton de Vaud (tableau 2) viennent alimenter cette biomasse entièrement destinée à la décomposition en forêt. Certes, à la faveur d'un relief tourmenté, la moitié des bois non valorisés s'accumulent logiquement dans les Alpes, mais les taux calculés pour les régions Jura/Côte et Plateau ne sont pas négligeables (19%, resp. 15%). Jadis soigneusement récupérés pour produire de l'énergie, les bois actuellement délaissés en forêt n'ont probablement jamais été aussi abondants depuis des siècles sous forme de rémanents de coupes, de bois morts sur pied ou encore d'arbres soumis à l'évolution naturelle.

Les possibilités d'exploitation et de valorisation des bois

Contrairement à une idée largement répandue, la connaissance de l'accroissement courant des forêts n'a que peu d'influence sur le calcul des possibilités d'exploitation, c'est-à-dire la prévision des prélèvements de bois permettant d'atteindre les objectifs d'aménagement. En effet, des forêts structurellement très différentes peuvent présenter des accroissements identiques. Une évaluation satisfaisante des possibilités d'exploitation mise donc principalement:

Tab. 2 Potentialités de production durable et leur exploitabilité dans l'ensemble des boisés productifs.

			Jura/Côte	Plateau	Alpes	Total VD
Surfaces		ha	53 600	20 400	27 300	101 300
Potentialités de production durable du modèle	Total	m ³ /an	291 000	163 000	171 000	625 000
	Epicéa et rés. div.	%	39	47	53	45
	Sapin	%	25	10	23	20
	Feuillus	%	36	43	24	35
Exploitabilité de la production durable	Total	m ³ /an	235 000	139 000	92 000	466 000
	Taux d'exploitabilité	%	81	85	54	75
Bois non valorisés	Total	m ³ /an	56 000	24 000	79 000	159 000
	Taux de non-valorisation	%	19	15	46	25

- sur la multiplication des questionnements concernant l'évolution de la courbe de distribution des tiges par catégories de diamètre et leur positionnement au sein des peuplements (cas de la forêt jardinée),
- sur la dynamique de succession et de répartition des peuplements définis en termes de stades de développement (cas des forêts traitées par coupes progressives).

Les bases de fixation des possibilités d'exploitation

Dans le canton de Vaud, l'itinéraire de questionnement et de calcul des possibilités est normalisé dans un formulaire ad hoc accessible sur internet dont les éléments décisifs sont les suivants:

- les indices de fertilité (h_{dom} à 50 ans en m),
- les surfaces par type d'intervention (ha): soins aux plantations, soins culturels, éclaircies de perchis, normale ou de mise en lumière, coupes de régénération, jardinage, interventions en boisé parcouru et bois sur pâturage, interventions diverses,
- le volume initial sur pied par type d'intervention (m^3t/ha),
- la proportion des petits (16–28 cm), moyens (28–48 cm) et gros bois (> 48 cm) par type d'intervention,
- l'estimation de l'accroissement en fonction du poids respectif des résineux et feuillus par type d'intervention ($m^3t/ha/an$),
- les taux d'éclaircie différenciés en fonction de scénarios variés (% du volume sur pied initial): éclaircie de perchis, éclaircie normale avec ou sans effort d'ouverture de centre de rajeunissement, éclaircies de mise en lumière, éclaircies de maintien de la stabilité dans les peuplements en attente de régénération, éclaircies jardinatoires,
- les rythmes de régénération (ha/an): rythmes antérieurs d'après la relation entre les surfaces de soins aux plantations/soins culturels et leur âge

maximum, rythme en fonction d'un temps de révolution moyen adapté à l'unité de gestion, rythme d'après la relation entre la surface des peuplements à régénérer et le laps de temps nécessaire à les exploiter.

L'horizon moyen estimé raisonnable pour espérer maîtriser quelque peu le survieillessement des futaies en accélérant leur rythme de rajeunissement a été fixé aux années 2050–2060, période qui correspondra également à une profonde remise en question des fondamentaux de la sylviculture en fonction de l'élévation des températures de l'ordre de 2 à 3 degrés attendue par les climatologues (Rebetez 2008). A proportion résineux/feuillus équivalant à l'état 1997, les scénarios de calcul des possibilités d'exploitation respectant cette échéance pointent sur des valeurs très largement supérieures aux potentialités de production durable. Le scénario moyen actuel admet une possibilité de 765 000 m^3t/an , avec des marges alternatives d'environ +/- 10% jouant sur les taux d'éclaircie et l'appréciation de la stabilité des vieilles futaies, contre les 466 000 m^3t/an de production exploitable du modèle durable (tableaux 2 et 3).

Bilan et perspectives pour l'ensemble des boisés du canton de Vaud

L'évolution des martelages de bois de 1910 à nos jours dans l'ensemble des boisés vaudois (figure 10) illustre clairement la dynamique de recapitalisation des forêts, avec relance perceptible des exploitations dès les premiers constats de déséquilibres structurels (Flury 1965, Badan 1967). Le spectaculaire pic de surexploitation engendré par l'ouragan Lothar (1999) concerne essentiellement les forêts du Plateau, alors que les régions du Jura, de la Côte et des Alpes ont continué de suivre un rythme d'exploitation relativement stable.

Bilan et perspectives pour la région Jura/Côte

Relativement épargnée par les ouragans majeurs, la région Jura/Côte s'adapte au marché et fait office de tampon épargnant le bois résineux en cas de crise sur le Plateau (figure 11). Le volume des exploitations reste stable et la capitalisation des bois sur pied se poursuit. Il n'est dès lors pas étonnant que l'écart entre les potentialités de production durable (235 000 m^3t/an) et la possibilité proposée pour les décennies à venir (381 000 m^3t/an) soit très important (tableaux 2 et 3). L'accélération des phénomènes de dépérissement sous stress climatiques risque pourtant de toucher de plein fouet les forêts des étages submontagnard et montagnard inférieur (forêt < 1100 m d'altitude), qui représentent environ la moitié des potentialités de production, et contraindre les gestionnaires à réagir de plus en plus dans l'urgence. D'ailleurs, une partie des exploitations résineuses des dernières années concerne déjà le dépé-

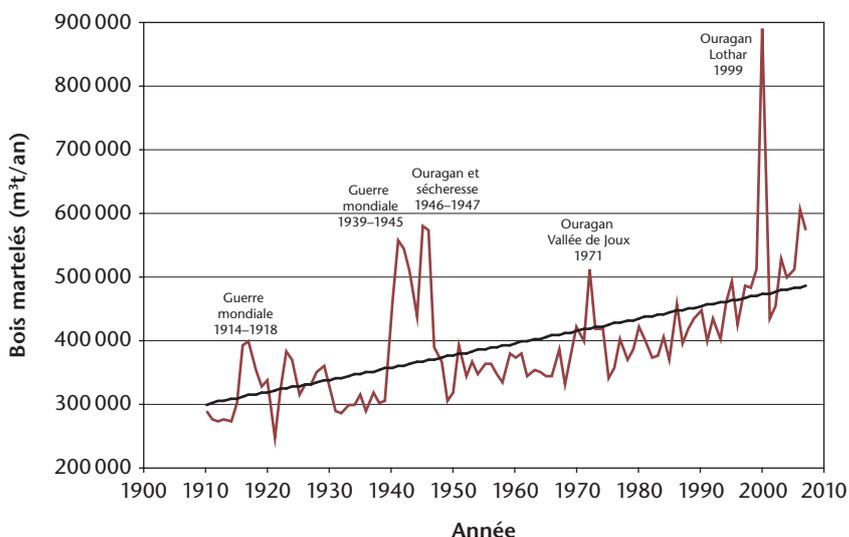


Fig. 10 Evolution des martelages de 1910 à nos jours dans le canton de Vaud.

Tab. 3 Possibilités d'exploitation des boisés productifs du canton de Vaud jusqu'à la résorption des surplus de matériel sur pied (2050–2060).

			Jura/Côte	Plateau	Alpes	Total VD
Surfaces		ha	53 600	20 400	27 300	101 300
Possibilités d'exploitation	Résineux	m ³ /an	243 000	118 000	127 000	488 000
	Feuillus	m ³ /an	138 000	101 000	38 000	277 000
	Total	m ³ /an	381 000	219 000	165 000	765 000
	Résineux	%	64	54	77	64
	Feuillus	%	36	46	23	36

rissement du sapin blanc et, dans une moindre mesure, de l'épicéa.

Bilan et perspectives pour la région Plateau

Touchée plus tôt que les autres régions par les problèmes de vieillissement des forêts en raison de sa fertilité élevée, la région du Plateau a vécu en fin de XX^e siècle une accélération des opérations de rajeunissement, approchant même un rythme normal pour un temps de révolution moyen d'environ 120 ans. Pourtant, la décapitalisation n'a véritablement débuté que vers 1995–1996 avec des exploitations dépassant la production théorique durable, dynamique renforcée sous l'influence de l'ouragan Lothar et des canicules de l'été 2003. Dès lors, même si certaines unités de gestion n'ont pas encore entamé le processus de décapitalisation, d'autres voient déjà leurs possibilités diminuer. Une évolution régionale positive devrait se vérifier lors de la prochaine évaluation globale de la situation.

Bilan et perspectives pour la région Alpes

Comme la région jurassienne, la région Alpes a été relativement épargnée par les ouragans majeurs des deux dernières décennies. Bien que destinées prioritairement à atteindre des objectifs de protection, les exploitations (57 800 m³/an depuis 1990) restent à un niveau largement inférieur aux possi-

bilités (92 000 m³/an) bien que ces dernières ne représentent déjà que 54% des potentialités de production totales. Jouissant de bonnes conditions stationnelles et d'une pluviométrie plus élevée que les autres régions, les Alpes seront probablement plus longtemps épargnées par les stress climatiques que les autres régions.

Vers une décapitalisation maîtrisée

Les propositions de décapitalisation maîtrisée à l'horizon 2050–2060 peuvent paraître rapides par rapport au risque de recréer un déséquilibre majeur dans la répartition des stades de développement. Plusieurs arguments sont de nature à atténuer cette crainte:

- L'accélération de la décapitalisation porte sur les futaies à régénérer selon le diagnostic actuel. Or les futaies jeunes et moyennes continuent d'alimenter régulièrement le stade des vieilles futaies, éloignant de fait la perspective d'un important déséquilibre structurel. De plus, pour autant que les exploitations augmentent, de nombreux peuplements d'âge moyen, voire même âgés, peuvent être restructurés dans une perspective de rallongement du temps de révolution (cas des peuplements de chênes sessiles dégagés de la concurrence des autres essences) ou d'infléchissement vers un traitement jardinatoire, diminuant du même coup les risques de déséquilibre.
- L'augmentation des températures engendrera à la fois une augmentation des accroissements et un raccourcissement des temps de révolution, accélérant ainsi le fonctionnement global du système.
- La sylviculture actuelle porte une plus grande attention sur l'adéquation des essences à la station et au renforcement de l'équilibre entre couronne et système racinaire. Il en résulte de vigoureuses éclaircies de sélection jusqu'au stade du perchis, opérations qui accélèrent le rythme de passage aux stades de développement suivant et tendent à combler le déficit en perchis plus rapidement que dans les modèles.

Perspectives

L'analyse des potentialités de production et d'exploitation menée à l'échelon des régions ne dessine que l'enveloppe des actions à décider au niveau

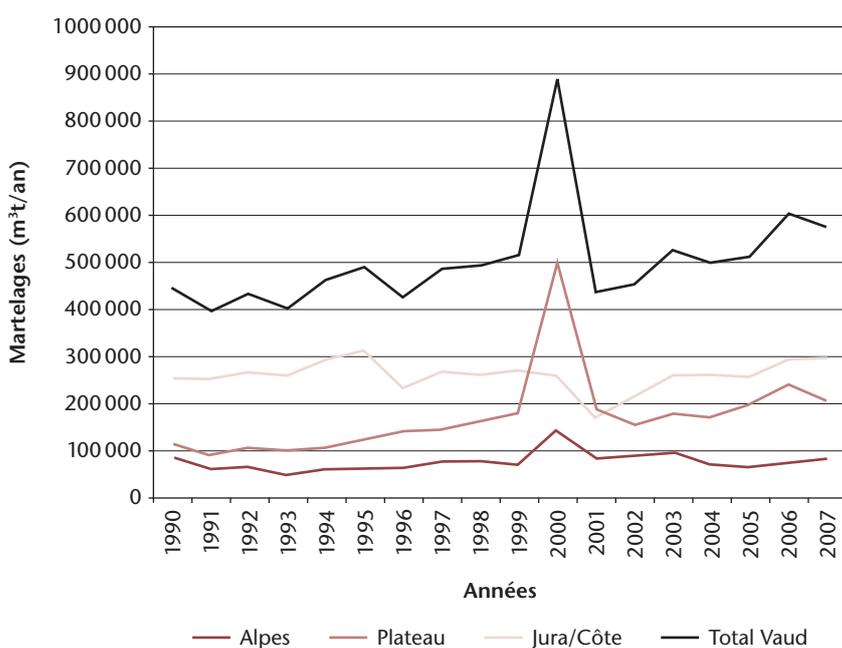


Fig. 11 Evolution régionale des martelages 1990–2007 dans le canton de Vaud.

des unités de gestion par les praticiens et les propriétaires de forêt. Dans une période de remise en question des fondamentaux de la sylviculture, mais aussi des modèles de production et de la promotion de la biodiversité, les actions stratégiques reposent plus que jamais sur:

- une sylviculture soigneusement adaptée aux spécificités de chaque station, particulièrement au niveau du choix des essences et de la diversité des structures, non seulement pour assurer la stabilité des boisés mais également pour promouvoir une diversité finement adaptée au milieu,
- le contrôle régulier de l'évolution de l'écosystème via les inventaires forestiers pour orienter les décisions de gestion le plus objectivement possible,
- la mise en place d'une politique volontariste d'utilisation du matériau bois dont la valorisation partielle mais croissante sous forme de bois énergie représente une première opportunité susceptible de dynamiser l'exploitation durable des forêts vaudoises.

Soumis: 11 juin 2009, accepté (avec comité de lecture): 4 septembre 2009

Références

- BADAN R, GRIEDER E, ANSERMET O (1967)** Perspectives de production et d'écoulement des bois vaudois. Rapport au Conseil d'Etat du canton de Vaud. Lausanne: Service des forêts, chasse et pêche. 21 p.
- BOUËT M (1985)** Climat et météorologie de la Suisse romande. Lausanne: Payot. 171 p.
- CLOT F, DELARZE R (2009)** Typologie des groupements végétaux forestiers du canton de Vaud: rupture nécessaire d'une tradition. *J for suisse* 160: s13–s17. doi: 10.3188/szf.2009.s0013
- FLURY J (1965)** Ein generelles Inventar der Waldungen des Kantons Waadt. *J for suisse* 116: 625–631.
- FREHNER HK (1963)** Waldgesellschaften im westlichen Aargauer Mittelland. *Beitr geobot Landesaufn Schweiz* 44. 96 p.
- HAINARD R (2008)** Les forêts sauvages de Robert Hainard. Saint-Claude-de-Diray: Hesse. 180 p.
- HORISBERGER D (1969)** L'interprétation des résultats d'inventaire par échantillonnage dans le canton de Vaud. *J for suisse* 120: 125–144.
- HORISBERGER D (1982)** Techniques simples d'analyse des potentialités forestières. *J for suisse* 133: 225–238.
- HORISBERGER D (2009)** L'écosystème forestier du canton de Vaud, un pays, quatre régions. *J for suisse* 160: s35–s42. doi: 10.3188/szf.2009.s0035
- IFRF (1966)** Tables de production pour le sapin. Birmensdorf: Institut fédéral de recherches forestières. 96 p.
- IFRF (1967)** Tables de production pour le hêtre. Birmensdorf: Institut fédéral de recherches forestières. 67 p.
- IFRF (1968)** Tables de production pour l'épicéa. Birmensdorf: Institut fédéral de recherches forestières. 75 p.
- IFRF (1969)** Tables de production pour le mélèze. Birmensdorf: Institut fédéral de recherches forestières. 93 p.
- KELLER H (1978)** Einfacher ertragskundlicher Bonitätsschlüssel für Waldbestände in der Schweiz. *Mémoires Inst Féd Rech For* 54 (1). 98 p.
- KELLER W, WOHLGEMUTH T, KUHN N, SCHÜTZ M, WILDI O (1998)** Waldgesellschaften der Schweiz auf floristischer Grundlage. Statistisch überarbeitete Fassung der «Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz» von Heinz Ellenberg und Frank Klötzli (1972). *Mitt Eidgenöss Forsch.anst Wald Schnee Landsch* 73: 91–357.
- REBETEZ M (2008)** Monthly air temperature trends in Switzerland 1901–2000 and 1975–2004. *Theor App Climatol* 91: 27–34.
- SFFN (1975)** Tables de production pour l'épicéa, le sapin et le hêtre. Condensé des tables de production de l'Institut fédéral de recherches forestières. Lausanne: Service cantonal des forêts. 10 p.

Productivité et exploitabilité des forêts du canton de Vaud: vers plus de réalisme

Le questionnement actuel en matière de gestion durable des ressources naturelles, accentué par une évolution climatique déjà bien affirmée mais aux effets encore largement incertains, relance l'intérêt des prévisions de production et d'exploitabilité des forêts. Malgré l'ancienneté des modèles de référence disponibles, la répétition des inventaires par échantillonnage et la possibilité de les interpréter en fonction des données stationnelles permettent de construire des scénarios d'évolution cohérents. Une réaction mesurée aux constats de vieillissement et de fragilisation des forêts vaudoises devrait prolonger la stratégie de constante intensification des exploitations poursuivie tout au long du XX^e siècle, stratégie par ailleurs indispensable au renforcement de la multifonctionnalité des massifs forestiers.

Produktivität und Nutzungspotenzial der Wälder des Kantons Waadt: für mehr Sachlichkeit

Die aktuelle Diskussion zum nachhaltigen Umgang mit natürlichen Ressourcen, welche verschärft wird durch eine klimatische Entwicklung, die zwar bestätigt ist, deren Effekte aber noch unsicher sind, hat das Interesse an Produktions- und Nutzungsprognosen für die Wälder wieder geweckt. Trotz des Alters der zur Verfügung stehenden Referenzmodelle ist es dank der Wiederholung der Stichprobeninventuren und ihrer Interpretierbarkeit in Abhängigkeit von Standortdaten möglich, plausible Entwicklungsszenarien zu konstruieren. Die gemessene Reaktion auf das festgestellte Altern und die zunehmende Empfindlichkeit der Waadtländer Wälder dürfte dazu führen, dass die während des 20. Jahrhunderts verfolgte Strategie der stetigen Nutzungsintensivierung andauern wird. Diese Strategie ist übrigens unerlässlich, wenn die Multifunktionalität der Wälder verbessert werden soll.

Aire et gestion des ressources en chêne du canton de Vaud: dossier d'un avenir immédiat

Denis Horisberger Service des forêts, de la faune et de la nature, Lausanne (CH)*
Micheline Meylan Service des forêts, de la faune et de la nature, Lausanne (CH)

Resource management and distribution area of oak in canton Vaud: an issue for the immediate future

When climatic changes are taken into account in forestry management, the question arises of the choice of tree species in order to adapt the forests to increased temperatures and stress arising from lack of water. The oak could be the main species accommodating itself to the new situation up to an altitude of about 900 m. A maximal development of this genetic inheritance adapted to our soils and the reinstallation of a network of oak forests would in fact give a new boost to the exceptional biodiversity linked to this species. In canton Vaud, the application of a silviculture favourable to the oak would concern a relatively small and reasonable area of approximately 8,000 hectares, which corresponds to less than 20% of the surface theoretically adapted to this species, with a rhythm of rejuvenation of about 40 hectares a year.

Keywords: oak, silviculture, climate change, Vaud, Switzerland
doi: 10.3188/szf.2009.s0065

* La Faille, CH-1423 Villars-Burquin, courriel denis.horisberger@bluewin.ch

L'évolution climatique ouvre une nouvelle étape dans l'aménagement des forêts pour absorber l'augmentation annoncée des températures (+2 à 3 °C) et les changements de régime des précipitations, phénomènes marqués par de probables stress hydriques printaniers et estivaux (Rebetez 2008, Rigling et al. 2008). La gestion des ressources en chêne, et plus particulièrement du chêne sessile, s'inscrit dans cette problématique. En effet, en raison de sa large ubiquité stationnelle et de sa relative tolérance aux températures élevées ou aux variations d'humidité, le chêne sessile représente aux altitudes inférieures une solution de substitution aux essences plus fragiles telles que hêtre, frêne, érable sycomore, chêne pédonculé, sapin blanc ou épicéa, option régulièrement évoquée par les spécialistes environnementaux.

L'aire actuelle des forêts riches en chêne résulte autant de facteurs stationnels (adéquation naturelle des espèces aux sols et à la température) que de facteurs remontant à la sédentarisation de populations humaines utilisatrices des produits du chêne (glands, bois, tannin des écorces, etc.). L'utilisation de nouvelles techniques agropastorales et l'avènement de l'ère industrielle ont permis de se passer du chêne, entraînant son déclin dès le milieu du

XVI^e siècle, avec une forte accélération au XX^e siècle sous la concurrence naturelle des essences forestières moins exigeantes en lumière, plus productives et naturellement dominantes en hauteur (principalement hêtre, frêne, sapin blanc et épicéa).

En conséquence, l'aire actuelle des forêts riches en chêne est le produit d'une longue histoire dont les paramètres ne présentent que peu d'analogies avec les besoins de la société du XXI^e siècle. Les nouvelles nécessités entrent dans le cadre d'une gestion forestière multifonctionnelle, avec la recherche d'une optimisation des interventions nécessaires au maintien de la biodiversité et à la production de bois, sans pour autant négliger les aspects plus localisés des intérêts paysagers ou d'activités de récréation, voire de protection physique. Les changements climatiques forcent aujourd'hui une nouvelle dynamique d'aménagement et de gestion des forêts, avec bien des surprises possibles! En prolongation du dossier «Promotion du chêne, stratégie de conservation d'un patrimoine naturel et culturel en Suisse» (Bonfils et al 2005), le présent document pose les bases d'une stratégie d'adaptation de la gestion du chêne aux conditions stationnelles et climatiques du XXI^e siècle dans le canton de Vaud.

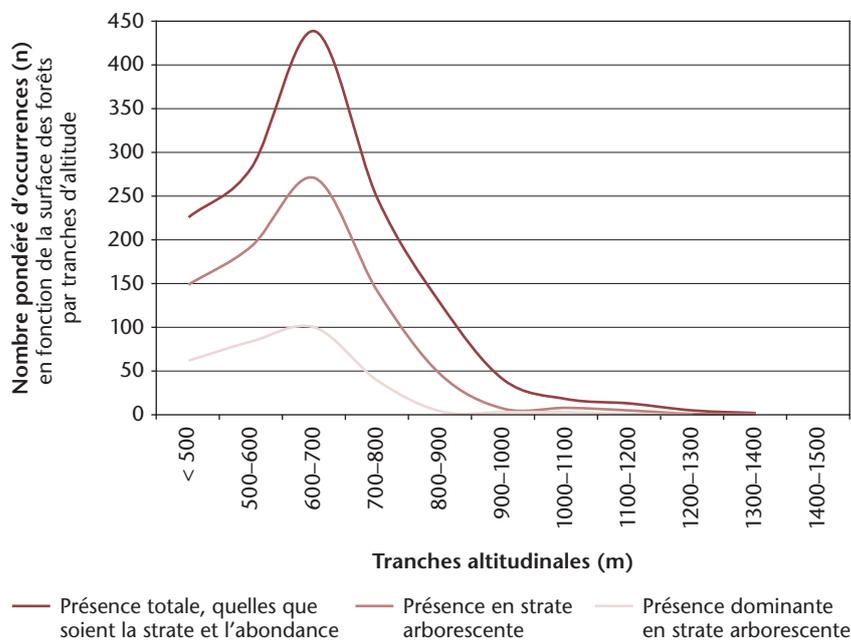


Fig. 1 Répartition altitudinale des chênes par tranches altitudinales.

Méthodologie

Les relevés de végétation du réseau systématique du canton de Vaud, effectués de 1988 à 2004 à la densité d'un relevé pour 16 ha par Sylvain Meier, ingénieur forestier EPFZ, ainsi que l'inventaire dendrométrique global 1996–1998 constituent les sources d'information premières de la présente analyse (Hartman et al., ce numéro). Fondamentalement, la démarche repose sur la description des aires actuelles et potentielles des ressources en chêne. La localisation et la quantification des actions en faveur du chêne, à intégrer dans la gestion multifonctionnelle des forêts du canton de Vaud, résultent d'un processus d'approche sélectif permettant la définition de lignes directrices cohérentes et soutenables.

Fig. 2 Aire de présence du chêne dans le canton de Vaud. Source: Etat de Vaud.



Canton de Vaud
Aire totale des forêts, 108 000 ha



Aire de présence du chêne quels que soient la strate et le recouvrement, 24 800 ha



Aire de présence du chêne avec recouvrement > 5% dans la strate arborescente, 8650 ha

Aires actuelles des ressources en chêne

Le chêne comprend un complexe d'espèces capables d'hybridation et susceptibles d'apparaître dans la quasi-totalité des stations forestières, des plus humides occupées par le chêne pédonculé aux plus sèches supportées par le pubescent, en passant par un vaste domaine intermédiaire adapté au sessile (Kissling 1980). Le seul facteur véritablement contraignant pour le chêne est la température qui réduit drastiquement sa présence au-dessus de 900 à 1000 m d'altitude (figure 1), mais avec des apparitions possibles jusqu'à 1400 m d'altitude dans les Alpes. Dispersé dans l'ensemble de l'étage submontagnard, ce complexe d'espèces fait partie des essences majeures du canton de Vaud.

Selon la banque des données phytosociologiques systématiques, la fréquence d'apparition des espèces de chêne autochtones se répartit de la manière suivante: 57% de type sessile dominant, 41% de type pédonculé dominant et 2% de type sessile-pubescent dominant.

La présence du chêne est attestée dans 21% des boisés du canton de Vaud, soit environ 24 800 ha, dont un tiers comprend des chênes dans la strate arborescente (figure 2). Son volume s'élève à 4.1% de l'ensemble du matériel sur pied, soit une proportion double de la moyenne suisse.

Dilués sur l'ensemble des stations, les chiffres globaux ci-dessus ne fournissent guère d'indications utiles à la gestion sylviculturale, car ils incluent des apparitions ponctuelles de chênes dans des stations totalement impropres à sa gestion. Par contre, l'approche phytosociologique ouvre des perspectives nettement plus en phase avec les réalités de terrain en calculant les données relatives à l'aire plus restreinte adaptée à la gestion du chêne (tableau 1).

Les principaux groupements végétaux théoriquement propices aux chênes couvrent 34 464 ha répartis de la manière suivante:

N°	Groupements végétaux	Unité	Aire actuelle des stations moyennes propices au chêne sessile	Aire actuelle des stations humides propices au chêne pédonculé	Aire actuelle des stations sèches propices aux chênes sessile et pubescent	Aire actuelle totale des stations théor. propices aux chênes	Aire d'extension probable des chênes dans les prochaines décennies
110	Hêtraie à aspérule	ha	14 400			14 400	
120	Hêtraie à pulmonaire	ha	7 024			7 024	
260	Hêtraie à luzule des bois	ha	208			208	
650	Chênaie à gaillet des bois	ha	1 024			1 024	
130	Hêtraie à gouet	ha		1 568		1 568	
5[23456]0	Frênaies	ha		5 760		5 760	
210	Hêtraie à laïches	ha			2 688	2 688	
400	Tillaies	ha			320	320	
6[12]0	Chênaie buissonnante	ha			480	480	
640	Chênaie à gesse noirissante	ha			960	960	
670	Chênaie à luzule	ha			32	32	
140	Hêtraie à millet, altitude < 900 m	ha					4 288
150	Hêtraie à cardamine, altitude < 900 m	ha					3 344
Aire totale propice aux chênes		ha	22 656	7 328	4 480	34 464	7 632
Volume du matériel sur pied: Résineux		m ³ /ha	157	62	80	129	250
Feuillus		m ³ /ha	185	193	118	178	113
Total		m ³ /ha	342	255	198	307	363
dont chênes		m ³ /ha	36	27	38	35	2
		%	11	11	19	11	1
Volume moyen des tiges de chênes		m ³ /t	1.16	1.63	0.47	0.99	0.48
Proportion des Petits/Moyens/Gros bois de chênes		%	11/38/51	6/24/70	39/51/10	14/38/48	44/50/6
Indice de fertilité moyen des chênes hdom à 50 ans		m	18	20	13	18	
Accroissement moyen de peuplements purs de chêne		m ³ /ha/an	5.6	6.4	3.4	5.4	
Accroissement moyen annuel des chênes par ha		m ³ /ha/an	0.7	1.1	0.8	0.7	
Accroissement moyen annuel total des chênes		m ³ /an	15 500	8 300	3 700	27 500	
Aire actuelle de présence des chênes							
Toutes strates		ha	13 745	3 655	3 355	20 755	2 105
Toutes abondances							
Aire actuelle de présence des chênes							
Strate arborescente		ha	5 175	965	2 070	8 210	115
Recouvrement > 5%							
Aire actuelle maximale de présence des chênes rapportée à 100% de recouvrement théorique		ha	3 100	1 470	1 100	5 670	

Tab. 1 Aire et état des ressources propices aux chênes dans le canton de Vaud. Aire forestière totale: 108 000 ha.

- Aire des stations moyennes propices au chêne sessile (22 656 ha): hêtraie à aspérule, hêtraie à pulmonaire, hêtraie à luzule des bois, chênaie à gaillet des bois.
- Aire des stations humides propices au chêne pédonculé (7 328 ha): hêtraie à gouet, frênaie.
- Aire des stations sèches propices aux chênes sessile et pubescent (4 480 ha): hêtraie à laïches, tillaie, chênaie buissonnante, chênaie à gesse noirissante, chênaie à luzule.

Dans ces surfaces, la strate arborescente rapportée à 100% de recouvrement théorique correspond à 5 000 à 5 700 ha au maximum, soit 15 à 16% de l'aire propice aux chênes. Près de la moitié des chênes (48%) se situe dans la classe des gros bois (diamètre supérieur à 48 cm) et seulement 14% dans celle

des petits bois (diamètre 16–28 cm) alors que cette catégorie de diamètre devrait au moins participer pour 20 à 25% du volume (SFFN 1975). En réalité, cet état de situation est encore plus grave puisque les stations propices au développement de futaies riches en chênes sessiles ou pédonculés ne comportent que 11%, resp. 6% de petits bois.

Orientation de la gestion du chêne

Sous la pression de l'évolution climatique, le recours accru au chêne impose une réorientation sylviculturale intégrant les paramètres propres à cette essence particulièrement adaptée à la gestion multifonctionnelle des forêts du canton de Vaud. En ef-

fet, la valorisation de sa production ligneuse présente un intérêt élevé, autant que les objectifs de protection biologique et paysagère, voire ceux de récréation.

Paramètres stationnels

Les nombreux travaux de recherches entrepris ces dernières décennies ont permis de cerner les facteurs clés d'orientation de la gestion du chêne (Bonfils et al. 2005). L'observation soigneuse de la sensibilité des différentes espèces de chêne à l'évolution climatique représente le pivot d'une réflexion résolument tournée vers l'avenir.

A l'échelle de l'Europe, un large consensus existe sur le fait que le chêne pédonculé, adapté aux stations continuellement pourvues en eau mais traditionnellement favorisé sur une aire plus étendue, régresse rapidement. Sous l'effet de stress hydriques répétés, son dépérissement est principalement induit par le développement de divers champignons xylophages qui profitent de sa baisse de vitalité. Dès lors, sa culture doit être strictement réservée à ses milieux de prédilection, soit les frênaies et hêtraies humides riches en éléments nutritifs.

L'espace libéré par le pédonculé profite unilatéralement au chêne sessile dont les qualités ont souvent été sous-évaluées, notamment parce que la tige principale se caractérise par une légère ondulation et que ses fruits ont un calibre inférieur à ceux du pédonculé, avec des aptitudes à la germination plus restreintes (Aas 1996). Ses potentialités de production semblent également légèrement moindres, mais il est adapté à une très large palette de stations.

L'évolution des températures, avec accentuation de l'aridité des stations peu productives, pourrait favoriser une légère augmentation de la présence du chêne pubescent. Mais cette hypothèse reste à vérifier car le chêne sessile est toujours très présent, même au sein des populations comprenant des chênes pubescents typiques. D'autre part, il est difficile d'évaluer la relation entre des sols qui n'évolueront pas rapidement et un climat fondamentalement modifié en moins d'une génération d'arbre. La présence du chêne pubescent restera liée aux stations les plus arides.

Paramètres climatiques

En rapide évolution, ces paramètres redistribuent géographiquement les espèces en fonction des stations et ouvrent des perspectives d'extension du chêne à des altitudes plus élevées qu'actuellement. Comme le gradient de diminution des températures estivales varie entre 0.6 à 0.7 °C par 100 m de dénivellation (Bouët 1985), une élévation des températures moyennes de 2 à 3 °C pourrait théoriquement correspondre à une extension de l'aire potentielle du chêne dépassant plusieurs centaines de mètres de dénivellation! Mais le climat résulte d'influences extrêmement complexes liées en particulier à la topographie et au régime des vents, de sorte que l'in-

tégration prudente de l'impact du paramètre climatique conduit à évaluer une extension possible de la prochaine génération de chêne jusque vers 900 m d'altitude, ouvrant une aire supplémentaire de 7000 à 8000 ha où sa présence sous forme herbacée ou arborescente, plus rarement arborescente, est déjà attestée sur 25 à 30% de la surface (tableau 1). Cette limite est d'autant plus justifiée que l'histoire a laissé localement des populations de chêne sessile de qualité jusque vers 800 m d'altitude, populations dont les qualités génétiques représentent probablement un patrimoine de haute valeur, par exemple en regard de la résistance aux gels printaniers ou automnaux.

Paramètres biologiques

Le patrimoine biologique acquis au cours des âges ne doit pas être analysé comme un état stable ou idéal. C'est plutôt un état instantané résultant de processus dynamiques, à gérer en tant que tel (Legay & Mortier 2006). L'entretien d'un réseau relativement continu de forêts riches en chêne (> 40% en volume) constitue la condition sine qua non d'une telle gestion, avec maintien d'échanges élevés entre flux de gènes.

Marqueur typique des forêts dominées par le chêne, le pic mar est devenu l'emblème d'une politique de conservation et de redynamisation favorable à la perpétuation du chêne. Il est couramment admis aujourd'hui que des massifs riches en chêne d'environ 200 ha et distants au plus de 5 à 10 km permettent d'assurer l'avenir d'une population de bonne vitalité composée de 15 à 30 couples. Mais la réalité de terrain est beaucoup plus complexe, dépendant de la forme et de la fragmentation des massifs. Une succession d'unités de 10 à 15 ha riches en chênes, séparées de 3 kilomètres au plus, correspond probablement à la norme structurelle inférieure nécessaire à la survie de l'espèce (Pasinelli et al. 2005).

Paramètres économiques

Garder des coûts de gestion supportables pour le propriétaire forestier est devenu un enjeu fondamental de la gestion multifonctionnelle des forêts. L'amorce actuelle de revalorisation de la matière ligneuse n'est pas encore décisive pour encourager la promotion du chêne sans aide financière publique. Parmi les mesures de bon sens aidant à définir les aires d'interventions prioritaires en faveur du chêne figurent principalement:

- le choix de stations potentiellement favorables au rajeunissement du chêne,
- le ciblage de stations permettant la meilleure relation coût/efficacité dans le rajeunissement du chêne,
- une restriction aux terrains de pente inférieure à 30% permettant de rationaliser mécaniquement l'entretien des jeunes peuplements, et donc d'abaisser les coûts.

Structuration des aires de gestion du chêne

Aire propice à la gestion de massifs dominés par le chêne sessile

L'aire potentielle totale favorable au chêne sessile couvre un cinquième de l'aire forestière vaudoise, soit près de 23 000 ha (tableau 1, figures 3 et 4) dont les deux tiers sont situés au-dessous de 700 m d'altitude. Actuellement, 5175 ha contiennent des chênes arborescents avec recouvrement supérieur à 5%, c'est-à-dire avec une signification non négligeable en terme de sylviculture. Si les faibles capacités concurrentielles du sessile constituent un lourd handicap dans les processus d'installation de peuplements riches en chêne, ses capacités d'adaptation à de nouvelles conditions climatiques sont indéniabiles alors que, dans le canton de Vaud, s'amplifient depuis plusieurs années les signes de fragilité de ses concurrents adultes (hêtre, frêne, érable sycomore, chêne pédonculé, épicéa, sapin blanc).

Aire des stations humides propices au chêne pédonculé

Ces stations de plaine extrêmement fragmentées correspondent principalement aux frênaies, secondairement à la hêtraie à gouet. Dans ces milieux humides couvrant 7328 ha (tableau 3), la vitalité du chêne pédonculé lui permet de percer ponctuellement le manteau arborescent du frêne. Ce phénomène est renforcé par la structure du réseau des frênaies qui est composé pour une large part de cordons boisés le long des cours d'eau, avec un fort apport de lumière latérale (figure 5). Mais la concurrence permanente du frêne ne justifie généralement pas d'incessantes interventions en faveur d'une dominance mieux affirmée du chêne pédonculé, d'autant plus que la qualité de son bois laisse souvent à désirer (abondance de gourmands, forte pro-

Fig. 3 Aires potentielles propices aux différentes espèces de chêne dans le canton de Vaud.

Source: Etat de Vaud.



Aire totale couverte par les associations végétales propices aux chênes sessiles, 22 656 ha



Aire totale des stations humides propices aux chênes pédonculés isolés ou en groupe, 7328 ha



Aire totale des stations sèches propices aux chênes sessiles et pubescents, 4480 ha



Fig. 4 Peuplements de chêne sessile de qualité en voie de rajeunissement dans une hêtraie à aspérule humide. Bois des Tassonnères (Giez, VD).

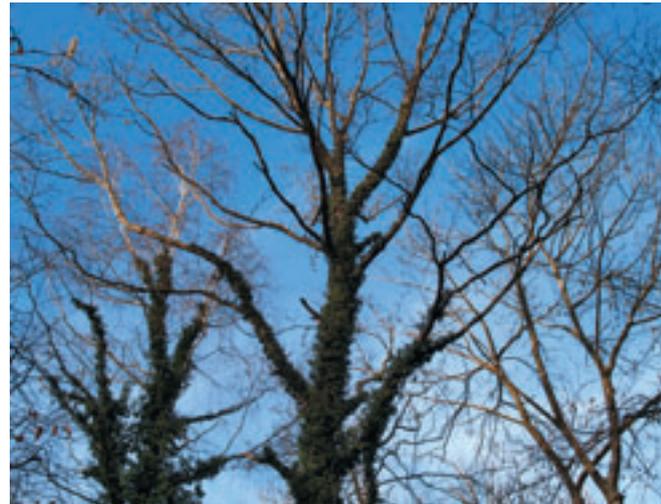


Fig. 5 Chêne pédonculé accompagné de bouleau (à gauche) et de frêne (à droite) dans une frênaie alluviale. Grèves d'Onnens (Onnens, VD).

portion d'aubier) comme l'attestent les observations répétées des auteurs lors du choix des bois de tonnerie. Si près de la moitié de ces stations abritent du chêne, un recouvrement supérieur à 5% n'est constaté que sur 965 ha.



Fig. 6 Chênaie buissonnante en voie de colonisation d'une garide. Chassagne de Bonvillars (Bonvillars, VD).

Aire des stations sèches propices aux chênes sessile et pubescent

Ces stations, qui s'étendent sur plus de 4480 ha (tableau 1), étaient traditionnellement gérées sous forme de pâture extensive ou de taillis. Une proportion significative de chênes arborescents existe sur environ la moitié de la surface (2070 ha), mais ils sont généralement caractérisés par une piètre qualité. Pratiquement absents du Plateau, ces milieux occupent le pied des Alpes et, surtout, le pied du Jura.

Ces forêts comportent d'intéressantes spécificités pour la gestion à long terme des forêts riches en chêne. Marginales en terme de productivité, elles possèdent intrinsèquement une très riche biodiversité liée en particulier à la superficialité du sol qui exclut les essences à fort potentiel de concurrence. Une couverture arborescente peu développée favorise l'apport de lumière et donc le rajeunissement d'essences héliophiles, dont les chênes sessile et pubescent (figure 6). Un cortège spécialisé d'espèces végétales ou animales se développe naturellement, avec ou sans présence de chêne selon les milieux. Des chênes de première grandeur peuvent se développer localement, mais dans un laps de temps et avec une qualité ne justifiant que des interventions ponctuelles pour des motifs biologiques ou paysagers. L'élévation des températures rendra probablement ces stations encore plus arides et marginales. A noter que le pic mar, espèce phare des forêts riches en chêne, ne trouve généralement pas dans ces milieux la hauteur minimale (15 à 20 m) de massif nécessaire à l'installation de territoires de reproduction (Sermet & Horisberger 1988).

Longtemps laissées à leur développement sans autre prélèvement que du bois énergie, ces massifs forestiers ont formé au fil des ans des réservoirs de

biodiversité susceptibles de pallier temporairement et partiellement les effets de la régression des chênes étouffés par les essences concurrentes dans les stations plus productives. Ces massifs demandent au moins une forme de gestion perpétuant les fragiles acquis de plusieurs siècles de gestion extensive, notamment la poursuite du prélèvement de bois énergie parmi les essences concurrentes du chêne, en particulier le frêne et le hêtre. Ces essences profitent en effet des moindres lentilles favorables de sol pour se développer aux dépens du chêne, tout en produisant également du bois de faible qualité.

Aire avec présence peu fréquente de chêne

Largement ubiquiste aux stades juvéniles, le chêne est susceptible d'apparaître en toutes stations dans les strates herbacée et buissonnante des forêts de l'étage submontagnard (< 800 m d'altitude). Mais, hors des stations mentionnées dans les paragraphes ci-dessus, sa présence en strate arborescente reste extrêmement clairsemée.

Le chêne affirme sa présence d'une manière souvent spectaculaire dans les haies de l'espace agricole, ou encore sous forme isolée. Ce réseau non inventorié, autrefois marqué à travers toutes les campagnes, ne subsiste aujourd'hui que par lambeaux discontinus, sauf parfois le long de ruisseaux.

Stratégie d'aménagement et de gestion

Anticiper et accompagner l'adaptation de l'écosystème forestier aux changements climatiques n'est pas une musique d'avenir, mais bien une tâche actuellement prioritaire de l'action des forestiers. En effet, face à l'augmentation de la fragilité de la plupart des essences majeures, la gestion forestière doit affronter le défi de réorienter ses choix sylviculturaux dans un laps de temps inférieur à une génération d'arbre. Installer les essences dans l'optimum de leurs conditions stationnelles conduira à favoriser en plaine des essences relativement tolérantes au stress hydrique: charme, tilleul, châtaignier, pins, etc., mais surtout le chêne sessile, seule essence majeure disposant de capacités d'adaptation élevées aux différents sols.

L'analyse des aires de présence du chêne ou des aires qui lui sont favorables délimite un cadre stratégique dans lequel peut se raisonner l'avenir du chêne dans le canton de Vaud. Par rapport aux traditionnelles motivations conservatrices soutenant la promotion du chêne (recherche de bois de qualité, défense de valeurs culturelles, intérêts pour la protection de la nature, etc.), la redynamisation du patrimoine «chêne» hérité d'une longue histoire force une reformulation des objectifs et actions stratégiques en sa faveur (tableau 2).

Domaines d'action	Mesures	Objectifs								
			Conserver le patrimoine génétique existant des chênes	Faire évoluer le patrimoine génétique des chênes	Valoriser le patrimoine génétique des chênes	Dynamiser la sylviculture du chêne	Favoriser la biodiversité liée au chêne	Réduire les coûts de création ou recréation de forêts riches en chêne	Améliorer l'économie liée au chêne	Coordonner les réseaux d'observation du chêne à l'échelle du pays
1. Stratégie générale	1. Définir une politique cadre d'anticipation et d'accompagnement de l'adaptation de l'écosystème forestier aux changements climatiques.		X	X	X	X	X	X	X	X
	2. Prêter une attention permanente à l'égard du chêne au regard de ses capacités d'adaptation aux changements climatiques.		X	X	X					
	3. Privilégier le renforcement des zones existantes de concentration des chênes.		X			X	X			
	4. Privilégier le renforcement d'un réseau coordonné de forêts riches en chêne composées d'une succession de massifs de 10 à 15 ha au minimum séparés de 2 km en moyenne (3 km au plus), entre les zones de concentration existantes.					X	X		X	
	5. Prioriser les investissements en faveur du chêne dans les zones gérables à moindre frais (stations productives, accessibilité aux engins mécaniques).					X	X	X	X	
2. Politique de rajeunissement	6. Initier un maximum de régénérations naturelles.		X	X		X	X			
	7. Détecter un maximum de peuplements semenciers potentiels jusqu'à 900 m d'altitude.		X		X					X
	8. Organiser une veille des fructifications.		X		X					X
	9. Alimenter les pépinières en semences de provenances décrites et reconnues d'intérêt national ou régional.		X		X	X		X		X
	10. Planter des chênes de provenances de qualité adaptées à la station.		X		X	X		X		
	11. Planter des populations de chêne suffisamment denses pour permettre une sélection adaptée au climat et au sol (si possible > 2000 tiges/ha).			X	X	X				
3. Gestion des futaies	12. Prioriser à large échelle l'intérêt du chêne dans les interventions d'éclaircie.		X		X		X			
	13. Récolter les vieilles futaies en fonction de critères de gestion durable (équilibre des âges, fourniture régulière du marché en bois de qualité, etc.).					X			X	
4. Suivi et contrôle	14. Tenir un registre de localisation et d'analyse des rajeunissements, fourrés, gaulis et perchis de chêne.									X
	15. Inventorier par repasse le pic mar et ses territoires en des points fixes de transects fixes.									X

Tab. 2 Proposition d'objectifs et d'actions stratégiques en faveur du chêne.

Pour déboucher sur des mesures chiffrées concrètes, ce cadre stratégique doit être préalablement confronté aux réalités politiques et financières du terrain, et donc soumis au réalisme des propriétaires et gestionnaires de forêt. Les données et propositions chiffrées qui suivent, à utiliser en terme de tendances, visent simplement à structurer la réflexion.

Evaluation et localisation des mesures de gestion en faveur du chêne dans le canton de Vaud

Stratégie générale

Les mesures 1 (définir une politique cadre d'anticipation et d'accompagnement de l'adaptation

de l'écosystème forestier aux changements climatiques) et 2 (prêter une attention permanente au chêne en regard de ses capacités d'adaptation aux changements climatiques) proposées dans le tableau 2 relèvent d'une prise de conscience générale des enjeux forestiers liés à l'évolution climatique actuelle. Devant l'ampleur de la remise en question, un large consensus stratégique est souhaitable à travers tout le pays, voire une coordination minimale dans les échanges d'information.

Dans le canton de Vaud, le renforcement des zones existantes de concentration des chênes (mesure 3) s'articule autour de cinq entités (figure 7):

- le Piémont jurassien en rive nord du lac de Neuchâtel, région partagée entre les cantons de Neuchâtel et Vaud, avec une prolongation jusqu'aux gorges de l'Orbe (1),

- la région de Ferreyres-Mormont, avec de forts liens jusque dans la région d'Apples, cœur indubitable du patrimoine riche en chêne (2),
- les plateaux d'Oulens, Goumoens-la-Ville, Suchy, Essertines-sur-Yverdon (3),
- l'Ouest vaudois entre Rolle et Mies, en connexion avec le bassin genevois (4),
- la vallée du Rhône et les contreforts alpins, au patrimoine original isolé du reste du canton, principalement intéressant sur le plan de la biodiversité (5).

Entre ces entités, le réseau des chênes est plus ou moins fragmenté et entrecoupé localement par des peuplements encore riches en chêne. Le réseau doit être renforcé par la multiplication de massifs permettant une sylviculture efficace du chêne au lieu de le disperser dans de petites cellules déconnectées les unes des autres (mesure 4). Dans ce dernier, les principales zones de faiblesse se situent à La Côte, entre Rolle et Apples (6), sur le Plateau entre Oulens et la région lausannoise (7), et depuis les plateaux de Suchy et d'Essertines-sur-Yverdon en direction de la rive sud du lac de Neuchâtel et de la Broye, en passant par les enclaves fribourgeoises (8).

Hormis dans des cas particuliers destinés à stabiliser des versants par des taillis de chêne, d'évidentes considérations financières conduisent à concentrer l'effort de redynamisation du chêne dans les

stations productives et gérables à moindre frais, c'est-à-dire accessibles aux engins d'entretien et d'exploitation (mesure 5, voir «Paramètres économiques» du paragraphe «Orientation de la gestion du chêne»).

Politique de rajeunissement

La surface des forêts dotées d'une présence significative du chêne dans la strate arborescente (> 5% de recouvrement) s'étend sur 8210 ha dans les stations qui lui sont propices (tableau 1). Ce premier chiffre de référence donne une estimation de l'effort à accomplir pour simplement maintenir le statu quo: 40–50 ha/an de rajeunissements riches en chêne, sous réserve que la présence des chênes disséminés dans le reste des forêts reste stable.

Une autre approche passe par le constat que, grosso modo, le réseau minimal idéal des forêts riches en chêne correspond à une série de couloirs totalisant 140 km de longueur sur 5 km de largeur en moyenne (figure 7). Admettant qu'il soit composé uniquement de cellules riches en chêne de 20 ha séparées de 2 km en moyenne (valeurs moyennes proposées dans la mesure 4, définies en fonction de critères biologiques), la surface minimale de l'ensemble des forêts riches en chêne devrait atteindre 6000 à 7000 ha. A noter que cette surface ne représente encore que 17 à 20% de l'aire théoriquement adaptée au chêne dans le canton de Vaud...

Nonobstant l'application d'une véritable sylviculture du chêne sur 7000 à 8000 ha, c'est-à-dire sa dominance dans les rajeunissements ainsi qu'un temps de révolution moyen maximal de 180 ans, ce ne sont pas moins de 40 ha de forêts qui devraient être rajeunies chaque année pour redynamiser la culture du chêne sans nouvelle perte de substance par rapport à la situation actuelle, tout en répondant aux critères minimaux admis en matière de sylviculture et d'amélioration de la biodiversité.

Le recours à la régénération naturelle (mesure 6) garantit les meilleures chances d'adaptation du chêne au changement climatique, pour autant qu'elle bénéficie de facto d'un nombre important de porte-graines, que la sélection puisse s'opérer sur une vaste population et que l'espèce soit adaptée à la station. La réalité, soumise à la rareté des glandées et à la forte concurrence des autres essences, fait toutefois apparaître la modeste contribution de la régénération naturelle dans l'installation de nouvelles forêts riches en chêne.

Force est donc de conduire une politique très volontariste de plantation supposant un programme coordonné de détection des peuplements semenciers (mesure 7), l'organisation d'une veille des fructifications pour valoriser au mieux le patrimoine génétique existant (mesure 8) et alimenter les pépinières en semences diversifiées et de qualité (mesure 9). Une part importante du succès des plantations réside dans un choix de provenances bien adaptées à la sta-

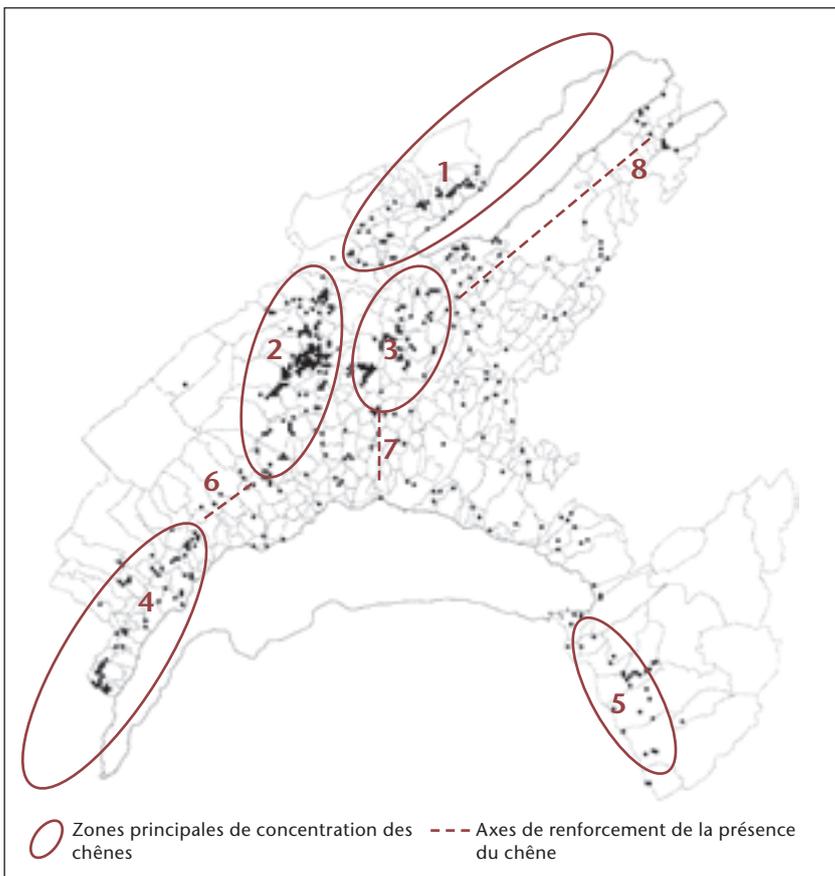


Fig. 7 Stratégie de promotion du chêne dans le canton de Vaud. Carte de référence: aire de présence significative du chêne dans la strate arborescente (recouvrement > 5%), 8210 ha. Source: Etat de Vaud.

tion (mesure 10) et l'installation d'une population suffisamment étoffée pour faire jouer les paramètres de sélection naturelle (si possible 2000 plants par ha, mesure 11).

Gestion des futaies

Prioriser à large échelle l'intérêt du chêne dans les interventions d'éclaircie (mesure 12) et récolter les vieilles futaies en fonction de critères de gestion durable (équilibre des âges, fourniture régulière du marché en bois de qualité, etc.) (mesure 13) s'inscrivent dans la logique actuelle de l'aménagement forestier, renforcée par la conscience qu'il convient d'ores et déjà d'anticiper l'influence des changements climatiques.

Considérations finales

Anticiper l'adaptation de l'écosystème aux changements climatiques présuppose une démarche très volontariste appuyée par l'ensemble des milieux professionnels intéressés, accompagnée d'un suivi dans l'application des mesures proposées. Tenir un registre de localisation des rajeunissements, fourrés, gaulis et perchis de chêne, au besoin complété par des analyses formalisées et des documents photographiques, ouvre la possibilité de comparaison pour tout intéressé, moyen le plus simple et efficace à disposition des gestionnaires pour référencer succès et insuccès (mesure 14) et procéder aux corrections nécessaires.

Une sylviculture appliquant les principes de gestion durable (amélioration permanente de l'équilibre des classes d'âge) devrait renforcer progressivement la qualité structurelle des zones principales de concentration des chênes. Le pic mar, indissolublement lié aux forêts riches en chêne, en reste le marqueur idéal, susceptible d'être contrôlé à l'aide de méthodes rôdées et peu coûteuses (mesure 15, inventarisation de l'oiseau par repasse en des points fixes de transects traversant les forêts avec présence signifi-

cative de chêne). A la récréation de véritables réseaux de forêts riches en chêne répondra inéluctablement une dynamisation des populations de pic mar. ■

Soumis: 11 juin 2009, accepté (avec comité de lecture): 31 août 2009

Références

- AAS G (1996) Morphologische und ökologische Variation mitteleuropäischer Quercus-Arten: ein Beitrag zum Verständnis der Biodiversität. Zürich: Eidgenössische Technische Hochschule, Habilitationsschrift. 275 p.
- BONFILS P, HORISBERGER D, ULBER M (RÉD) (2005) Promotion du chêne. Stratégie de conservation d'un patrimoine naturel et culturel en Suisse. Berne: Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage. 102 p.
- BOUËT M (1985) Climat et météorologie de la Suisse romande. Lausanne: Payot. 171 p.
- 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
- KISSLING P (1980) Clef de détermination des chênes médio-européens (*Quercus* L.). *Ber Schweiz Bot Ges* 90 (1/2): 29-44.
- LEGAY M, MORTIER F (2006) La forêt face au changement climatique: adapter la gestion forestière. Paris: Office national des forêts, Collection dossiers forestiers, n° 16. 39 p.
- PASINELLI G, WEGGLER M, MULHAUSER B (2005) Plan d'action national Pic mar. Berne: Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage. 38 p.
- REBETEZ M (2008) Monthly air temperature trends in Switzerland 1901-2000 and 1975-2004. *Theor Appl Climatol* 91: 27-34.
- RIGLING A ET AL (2008) Klimawandel als Prüfstein für die Waldbewirtschaftung. *J for suisse* 159: 315-325. doi: 10.3188/szf.2008.0315
- SERMET E, HORISBERGER D (1988) Distribution et habitat du Pic mar dans les cantons de Vaud et de Neuchâtel. *Nos Oiseaux* 411: 205-224.
- SFFN (1975) Tables de production pour l'épicéa, le sapin et le hêtre. Condensé des tables de production de l'Institut fédéral de recherches forestières. Lausanne: Service cantonal des forêts. 10 p.

Aire et gestion des ressources en chêne du canton de Vaud: dossier d'un avenir immédiat

Dans la gestion forestière, la prise en compte de l'évolution climatique pose la question de la place accordée aux différentes essences pour s'adapter à l'élévation des températures et aux stress hydriques. Le chêne pourrait devenir l'essence majeure s'accommodant de cette nouvelle situation jusque vers 900 m d'altitude. La valorisation maximale d'un patrimoine génétique adapté à nos sols et la réinstallation d'un réseau de forêts riches en chêne entraîneront de facto la redynamisation de l'exceptionnelle biodiversité liée à cette essence. L'application d'une sylviculture propice au chêne dans le canton de Vaud devrait concerner une surface minimale et raisonnable de 7000 à 8000 ha, soit moins de 20% de la surface théoriquement adaptée à cette espèce, avec un rythme de rajeunissement d'environ 40 ha/année.

Verbreitung und Bewirtschaftung der Eiche im Kanton Waadt: ein anstehendes Thema

Bei der Waldbewirtschaftung wirft die Berücksichtigung der Klimaänderung die Frage der Baumartenwahl auf, damit die Bestände auf die erwartete Temperaturerhöhung und den Trockenstress vorbereitet sind. Die Eiche könnte zur Hauptbaumart werden, da sie sich bis zu einer Höhenlage von rund 900 m ü. M. an die neue Situation anpassen kann. Die maximale Ausnutzung des an unsere Böden angepassten genetischen Erbes und der Wiederaufbau eines Netzes von eichenreichen Wäldern geben der Artenförderung de facto neuen Schwung, da die mit der Eiche verbundene Biodiversität aussergewöhnlich gross ist. Ein die Eiche begünstigender Waldbau sollte im Kanton Waadt vernünftigerweise auf einer Fläche von mindestens 7000 bis 8000 Hektaren angewendet werden, d.h. auf weniger als 20% der theoretisch möglichen Eichenfläche. Dabei sollten jährlich rund 40 Hektaren verjüngt werden.

Hommage à Jean-Paul Graf
(1925–2009)



Avec le décès de Jean-Paul Graf cet été à l'âge de 84 ans, les forestiers suisses ont perdu un homme d'une rare culture, un pédagogue hors pair, un aventurier, mais aussi une véritable encyclopédie vivante qui a consacré une bonne partie de sa vie à se battre pour «ses» forêts. Jean-Paul laisse un souvenir impérissable à tous ceux qui ont eu la chance de le côtoyer.

Jean-Paul Graf vient au monde en 1925 à Leysin. Dès l'adolescence, c'est le temps des premières expéditions dans la vallée des Ormonts, celui de la conquête des premiers sommets et de l'initiation à la spéléologie dans les nombreuses grottes et gouffres de la région de Leysin. Un côté aventureux que Jean-Paul cultivera avec délectation tout au long de sa vie.

Montagne, alpinisme, spéléologie, minéralogie, astronomie, botanique, tels sont quelques-unes des passions de cet homme pour qui tout tourne toujours autour de la nature; une nature dont la beauté l'émerveillera chaque jour tout au long de sa vie. Il n'est pas qu'un contemplateur, il lui faut toujours comprendre, déterminer, nommer avec précision tout ce qu'il voit. Après sa scolarité obligatoire à Leysin, il poursuit ses études et entre à Zurich à l'École polytechnique fédérale, en foresterie. Il obtient son diplôme d'ingénieur forestier en 1947, ce qui va lui permettre de continuer à vivre, cette fois professionnellement, sa passion pour la nature, mais toujours loin de toute routine.

De 1957 à 1962, il est responsable de l'arrondissement forestier Aigle–Leysin–plaine du Rhône. A noter que pour obtenir ce poste, il a dû renier son origine bâloise et se faire naturaliser vaudois pour la coquette somme de 2000 francs! Dès 1962, il passe à la Confédération où il sera durant 28 ans responsable de la gestion

des forêts de quasi toute la Suisse romande, son territoire s'étendant aux cantons de Vaud, du Valais, de Genève et de Neuchâtel. Il gère notamment l'ensemble des fonds pour les chemins forestiers et devient rapidement «le» spécialiste des travaux de protection contre les avalanches. Ses qualités de montagnard et sa grande connaissance de la neige et de ses dangers en font l'homme idéal pour ces réalisations. Il n'hésite jamais à se rendre dans les pentes et les couloirs les plus raides, le plus souvent skis aux pieds, pour juger de la faisabilité des travaux ou inspecter leur bonne facture.

A la fin de sa carrière, fort de son immense bagage scientifique et de ses années d'observations sur le terrain, il s'est plus d'une fois insurgé contre la «fumisterie» de la mort des forêts, se moquant sévèrement de ce concept destiné surtout selon lui à amener de l'argent de la recherche vers les forestiers. Au final, l'histoire lui a donné raison: les forêts ne sont pas mortes et la chaire de foresterie de l'EPFZ a été démantelée.

A la retraite, Jean-Paul quitte son domicile d'Aiglon pour s'installer à La Frasse, à Château-d'Œx. Jouissant longtemps d'une bonne santé, sa retraite sera bien sûr active. Il parcourt plus que jamais ses chères forêts et ses montagnes, été comme hiver, poursuivant son insatiable quête de connaissance, dévorant livre sur livre en gardant plus que jamais son bon sens de terrien. Ainsi, lui qui fut sans le moindre doute un écologiste au meilleur sens du terme, avant même que le mot ne soit inventé, s'insurgeait régulièrement des dérives des technocrates, qui du fond de leurs bureaux pondent des règlements absurdes, ou de l'extrémisme des ayatollahs verts qui n'ont pas le moindre sens des réalités de terrain. Ses critiques étaient souvent acerbes, toujours justifiées et le plus souvent matinées d'une bonne dose d'humour.

Alors, merci Jean-Paul d'avoir été l'ami, le pédagogue, le passionné, fait au feu de l'effort. Un homme qui est parti debout, comme il a vécu, sans jamais se plaindre malgré le cancer qui l'a finalement terrassé chez lui à 84 ans. Tous ceux qui ont eu la chance de travailler avec lui et de partager un peu de son immense savoir témoignent à son épouse et à ses enfants leur plus vive sympathie. ■

Jean-Pierre Dulex

Agroforesterie

DUPRAZ C, LIAGRE F (2008) Agroforesterie. Des arbres et des cultures. Paris: France agricole. 256 p. ISBN 978-2-85557-150-8. EUR 43.–.

Le pari pédagogique de ses auteurs destine l'ouvrage, richement illustré, aux propriétaires fonciers, agriculteurs en priorité, à la recherche d'alternatives culturelles et de diversité de gestion de leur propriété. Il implique l'arboriculteur et le forestier dans l'approche présentée sous forme d'un continuum, de l'open-field à la forêt pérenne. Il présente de plus un angle d'analyse et de modulation de la gestion territoriale qui interpellera tout acteur foncier, de l'écologue au politique. Le savoir-faire ancestral est ainsi renouvelé par des apports expérimentaux et des analyses plus théoriques. Le volet pastoral est cité, mais sciemment laissé en marge de l'ouvrage, qui se concentre sur les interrelations entre plantes ligneuses et herbacées sans présence de bétail. On parlera donc d'agri-sylviculture d'une part et de sylvo-pastoralisme d'autre part. Cet ouvrage fait suite aux synthèses du numéro spécial 1994 de la Revue forestière française «Agroforesterie en zone tempérée».

Le plan de l'ouvrage, structuré en deux parties – comprendre d'abord, pour agir ensuite –, permet une lecture fractionnée de la matière. L'articulation des chapitres illustre les formes traditionnelles de culture mixte, tant en Europe, avec une prédilection naturelle pour la France, qu'en Afrique et en Extrême-Orient. Sans souci d'exhaustivité, elle juxtapose des essais et pratiques récentes aux usages pérennes hérités du passé. Suit un volet dédié à la définition et la quantification de ces formes d'usage des sols, pour insister ensuite sur les motivations à la pratiquer, qu'elles soient de nature privée ou publique – protection des sols, des nappes et des eaux, ou encore contribution à la qualité biologique et paysagère des territoires. Les interactions «sol–arbre–plante–lumière» sont présentées à l'aide de résultats de recherche appliquée obtenus depuis le milieu des années 1980 et illustrent la nature des relations entre deux cultures, de la compétition à la facilitation (une forme

d'entraide mutuelle). Y sont intégrés les aspects hydriques, physiques et chimiques de ces formes de culture mixtes.

Le volet agir décline le déroulement d'un projet agro-forestier sous ses angles économiques et techniques, tant pour le ligneux que pour l'herbacé. Il contient des fiches, notices et schémas, très pratiques et fort bien illustrés, clairement destinés au propriétaire foncier et à l'opérateur direct, qu'il soit agriculteur ou forestier. L'ouvrage s'achève par des considérations plus moroses sur le peu de recherche mises en œuvre en France, du moins durant ces dernières décennies, et sur quelques piques envers des administrations nationale et européenne plus préoccupées par le respect des normes que par l'appui à des pratiques novatrices.

Une riche bibliographie couronne ce livre, qui éclaire les fondements scientifiques incontestables de la matière présentée et permettra au lecteur intéressé d'approfondir les domaines de son choix. Il faut encore mentionner la richesse des données, actions et acteurs que l'on trouvera sur le réseau Internet, au travers du site: www.agroforesterie.fr et de ses multiples ramifications.

L'ouvrage constitue enfin un support de communication et de dialogue entre les représentants des divers pans de l'économie rurale helvétique. Il en élargit le champ d'action commun, qui débutant à la forêt paysanne et au pâturage boisé, renouvelle et valorise la place de l'arbre en campagne, trop souvent réduite à quelques soldes de haies et des vergers traditionnels en régression. ■

Pierre Cherbuin

Composer avec le long terme

HOOGSTRA MA (2008) Coping with the long term. An empirical analysis of time perspectives, time orientation, and temporal uncertainty in forestry. Wageningen: Univ Wageningen, PhD-thesis. 154 p. ISBN 978-90-8585-242-1

La très lente croissance des arbres nous oblige à nous projeter dans un futur d'autant plus incertain que les périodes de production sont longues. Face à cette incertitude, deux attitudes diamétralement opposées sont généralement énoncées dans la littérature: le forestier comme visionnaire («vi-

sionary futurist») capable de transcender l'incertitude inhérente au futur, de fixer des objectifs sur le long terme et d'en planifier la réalisation – il est fait mention de «doctrine du long terme» – et le forestier attaché au présent («stuck in the present») pour qui le long terme est trop éloigné pour en déduire une action concrète et sensée. Partant du constat d'un manque d'évidence empirique dans ce domaine, l'auteur de cette thèse de doctorat de l'université de Wageningen au Pays-Bas se propose d'étudier la manière dont les forestiers gèrent cette incertitude d'un point de vue socioculturel et non pas technique.

L'auteur aborde le long terme au travers de trois notions: la perspective temporelle, l'orientation temporelle et l'incertitude. La perspective temporelle correspond à la manière dont un individu projette, organise, analyse, évalue les événements du passé, du présent et du futur. De nombreuses études ont montré qu'un horizon de 20 à 30 ans est déjà généralement trop éloigné pour exercer une emprise concrète sur le comportement des gens. L'orientation temporelle indique l'attention plus ou moins marquée que porte un individu au passé, au présent et au futur. Par exemple, les gestionnaires axés avant tout sur le présent ou le passé sont plutôt sur la défensive et peu ouverts à de nouvelles solutions. Ils préfèrent maintenir le status quo. La perception de l'incertitude quant à elle est tout aussi importante que l'incertitude en soi. Même si le futur peut être objectivement considéré comme incertain, cela ne signifie pas pour autant qu'un individu le perçoit comme tel. A l'inverse, si l'incertitude paraît trop grande, elle peut être source de blocage.

L'auteur emploie pour chaque notion une méthode différente dans un processus de triangulation qui doit permettre d'approfondir la compréhension du sujet d'étude selon différentes perspectives. La perspective temporelle a été étudiée au moyen d'interviews téléphoniques effectuées auprès de gestionnaires forestiers du Land allemand de Rhénanie-du-Nord-Westphalie et des Pays-Bas. La grande majorité des gestionnaires interrogés ont une vision à long terme de leur forêt, portant sur plusieurs décennies. Leur limite temporelle pour la détermination des actions à entreprendre est cependant d'une quinzaine d'années. L'orientation temporelle a fait l'objet d'un questionnaire en-

voqué aux gestionnaires forestiers des Pays-Bas, dans lequel les participants étaient appelés à dessiner librement trois cercles pour le passé, le présent et le futur. La pondération temporelle est déduite principalement de la taille relative de chacun des cercles. Les résultats indiquent une orientation marquée vers le futur pour la majorité des forestiers interrogés, ce qui tend à montrer que leur action n'est pas simplement le prolongement des pratiques du passé et du présent, mais se base sur leurs attentes du futur. Le niveau d'incertitude lié au futur a été étudié par l'analyse de publications spécialisées d'Allemagne, des Pays-Bas et de Suisse. Seules les contributions de praticiens ont été prises en compte. Il en ressort que le futur représente la période temporelle avec le plus faible niveau d'incertitude.

A la lumière de ces résultats (limite du futur à seulement 15 ans, perception du futur comme étant relativement certain), l'auteur remet en cause la doctrine du long terme. Elle relativise aussi les résultats concernant l'orientation temporelle en indiquant que la méthode utilisée a tendance à faire ressortir le futur comme zone temporelle la plus importante.

Les bases de cette remise en cause semblent cependant ténues, quand bien même, sur le fond, la question demeure. Les gestionnaires interrogés sur la perspective temporelle devaient déterminer dix actions importantes à entreprendre et situer leur réalisation par rapport au présent. La limite de 15 ans pour la perspective temporelle est déduite de ces résultats. Il ne semble cependant pas que les gestionnaires aient été interrogés sur la portée de leur action (projection dans le futur), ni sur les raisons de leur détermination (p.ex. contribution à la réalisation d'une vision à long terme). A noter aussi que les publications prises en compte dans l'étude ne dépassent généralement pas deux pages, ce qui est peu pour laisser s'exprimer une opinion différenciée.

Cette remise en question du forestier visionnaire est dans tous les cas bienvenue. Elle nous invite à explorer et à repenser notre attitude par rapport au futur et ses implications sur la gestion forestière. Cette étude fournit les bases théoriques nécessaires et des premières pistes de compréhension qu'il conviendra d'étoffer et d'approfondir. ■

Christian Rosset

STIHL[®]
TIMBERSPORTS
S E R I E S

Championnat de Suisse

Bûcheronnage de compétition de haut niveau

20 juin 2010

à Flumserberg



La technique des gagnants

En faites-vous partie?

Alors la tronçonneuse STIHL correspond à vos besoins!

STIHL offre une gamme étendue d'appareils à moteur pour la forêt et le soin à apporter à la nature – tronçonneuses, débroussailluses,

souffleurs et aspirateurs-broyeurs, taille-haies, tondeuses, broyeurs, etc. Vous en saurez plus sur cette technique de pointe chez votre revendeur spécialisé. Il saura vous conseiller d'une manière compétente et vous offrir un service professionnel.

STIHL MotoMix - le carburant à faible teneur en polluants pour moteurs 2 temps et 4-MIX.



STIHL VERTRIEBS AG
8617 Mönchaltorf

Tél. 044 949 30 30

Fax 044 949 30 20

mail: info@stihl.ch

www.stihl.ch

Vente uniquement par le revendeur spécialisé

STIHL[®]