

Délimitation d'une réserve forestière totale: approche par l'étude de la végétation

PASCAL VITTOZ, ALEXANDRE BUTTLER et PASCAL JUNOD

Keywords: Forest reserve delineation; plant communities; biodiversity; phytosociology; dead wood; multifunctional forestry; Switzerland. FDK 182 : 907 : UDK 573.4*1 : (494)

Introduction

La loi fédérale sur les forêts de 1991 poursuit l'objectif de protéger les forêts en tant que milieu naturel, tout en considérant leur multifonctionnalité (Lfo art. 1). Parmi les principes de gestion, ancrés dans cette même loi, il est notamment précisé que les cantons peuvent délimiter des réserves forestières de surface suffisante pour assurer la conservation de la diversité des espèces animales et végétales (Lfo art. 20). Les options de la politique suisse en matière de réserves forestières telles que définies dans les lignes directrices émises en janvier 2001 par la Confédération¹, visent d'ici 2030 à doter la Suisse de réserves forestières sur 10% de l'aire boisée. Deux types de réserves forestières sont envisagés (surface minimale de 5 ha): 1. les réserves forestières totales, où la forêt est durablement et délibérément laissée à sa libre évolution naturelle, en principe exemptes de toutes interventions sylviculturales; 2. les réserves forestières à interventions particulières, avec dans ce cas un traitement sylvicole orienté de manière à protéger une biocénose, une structure ou une espèce intéressante, voire pour maintenir un mode de traitement particulier.

Pour aller à la rencontre des propriétaires forestiers, le canton de Neuchâtel a publié en mars 2003 un concept cantonal des réserves forestières (RÉPUBLIQUE ET CANTON DE NEUCHÂTEL 2003). Ce document reflète la ferme volonté de l'autorité cantonale d'apporter sa contribution à l'élaboration d'un réseau de réserves forestières à l'échelle de l'arc jurassien et de toute la Suisse. Pour concrétiser ces intentions, l'ingénieur forestier du 3^e arrondissement du canton de Neuchâtel a suggéré à la commune de Bevaix (propriétaire de 465 ha de forêt) la réalisation d'une étude destinée à soutenir et à documenter la mise en réserve forestière totale d'une moitié environ de la division 25 qui s'étend sur 12,4 ha au centre du versant sud-est de la Montagne de Boudry (coordonnées 550.4/198.2).

Le travail présenté ici s'appuie pour l'essentiel sur les résultats et le rapport d'une classe d'étudiants du DESS en Systématique et gestion de la biodiversité (Diplôme d'études supérieures spécialisées, Universités de Lausanne, Neuchâtel et Genève, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne), qui a fait un stage de terrain dans le cadre d'un module de botanique (dirigé par les deux premiers auteurs), en mai 2003. La demande du gestionnaire forestier (le troisième auteur), appuyée par le propriétaire, était d'analyser l'ensemble de la division 25 pour sélectionner le périmètre le plus adéquat, selon des critères à préciser, en vue d'une mise en réserve totale. C'est le point de vue végétation qui a été privilégié pour répondre à la question posée, choix nécessairement arbitraire, mais dont les méthodes peuvent apporter des informations multiples et incontournables dans ce contexte. Ce travail devait aussi servir d'état initial pour un suivi à plus long terme (monitoring).

Matériel et méthodes

Description du site d'étude

La division choisie, qui s'étend entre les altitudes de 750 et 905 m, présente l'intérêt de se situer à la limite du dépôt mo-

rainique datant de la dernière glaciation, et à cheval sur trois associations forestières selon RICHARD (1965): le *Luzulo-Fagetum* sur des sols modérément acides, liés à la moraine glaciaire, le *Cardamino-Fagetum* avec des conditions moyennes optimales sur des sols profonds et le *Carici-Fagetum* sur des sols plus superficiels, un peu secs (figure 1). Quatre stades d'évolution forestière y sont représentés (figure 2): le recru (plantes < 1,5 m), le fourré (jeunes arbres de 1,5 à 5 m), le perchis (jeunes arbres > 5 m, diamètre < 20 cm) et la futaie, constituée d'arbres adultes. La gestion antérieure ainsi que différentes perturbations climatiques ont laissé une mosaïque de peuplements, composés de 19 espèces d'arbres (6 résineux et 13 feuillus) recensées lors du dernier inventaire complet (automne 1997, tiges de diamètre > 17,5 cm). Ce dénombrement fait état d'un volume sur pied moyen de 320 sv/ha et d'un mélange comprenant, en volume, 53% de résineux et 47 % de feuillus.

Comme l'attestent les anciens plans de gestion forestiers, notre secteur d'étude fut longtemps exploité en taillis, par coupes rases. Dès 1884, date du premier aménagement des forêts communales de Bevaix (SERVICE DES FORÊTS 1886), on chercha à restaurer les parcelles appauvries en y plantant du pin noir et en favorisant les résineux. A partir de 1916, la construction du chemin de la Vizza (qui partage la zone d'étude à mi-hauteur, figure 1) permit un traitement cultural plus soigneux; les coupes et les éclaircies furent orientées vers l'amélioration et l'augmentation du volume sur pied de ces peuplements, décrits en 1926 comme très clairs par endroits et coupés d'assez nombreuses clairières (SERVICE DES FORÊTS 1926). Face au hêtre qui se propage avec vigueur et au sapin qui souffre de stress hydrique, la sylviculture vise, depuis l'existence d'une carte phytosociologique dans les années 1950, à garantir sa place au chêne ainsi qu'aux autres feuillus et aux essences minoritaires (pin sylvestre, pin noir et if) adaptés à la station (SERVICE DES FORÊTS 1959). De nos jours, la pratique sylvicole cherche aussi à favoriser le développement d'un milieu complexe, multifonctionnel, riche en diverses structures permettant la coexistence de nombreuses espèces, garantes de la durabilité du patrimoine forestier. L'abandon prévu de toute intervention sylviculturale sur une partie de la surface analysée rentre dans le cadre de cet objectif global.

Mise en place du dispositif de terrain

Afin de donner à cette campagne de terrain une base précise et adaptée à un suivi à plus long terme, un quadrillage de la division à préalablement été mené en collaboration avec le service des mensurations cadastrales du canton de Neuchâtel. Des mailles de 50 m de côté, précisément géoréférencées à l'aide d'un GPS (Global positioning system) différentiel, ont été matérialisées à l'aide de tubes en aluminium plantés dans le sol. Ce sont ainsi 50 placettes qui ont fait l'objet de mesures et d'observations (figure 1).

¹ Lignes directrices pour une «Politique suisse en matière de réserves forestières», http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/buwal_pdf/31.pdf, 2 mars 2005.

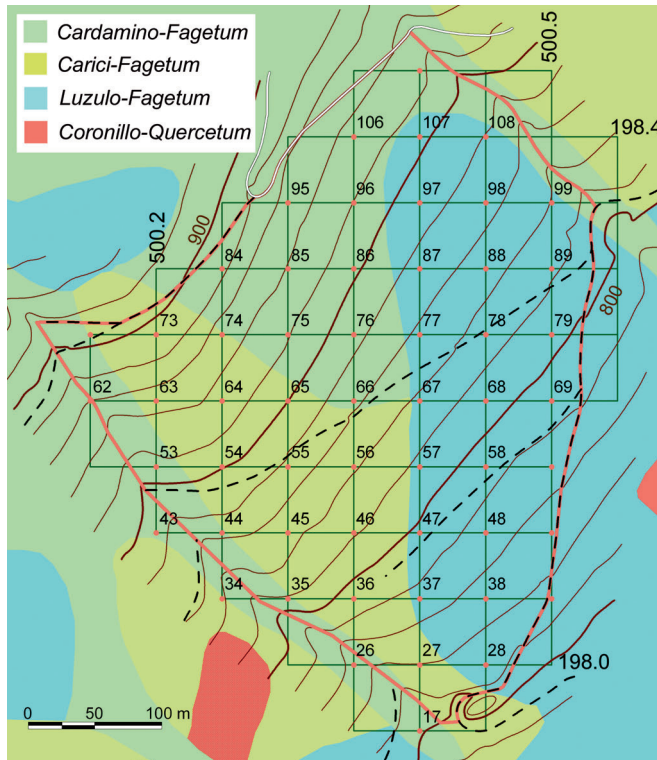


Figure 1: Carte de la végétation selon RICHARD (1965) pour la division 25, commune de Bevaix, canton de Neuchâtel.

Le quadrillage et les numéros des mailles correspondent au dispositif mis en place pour l'étude et le suivi de la division.

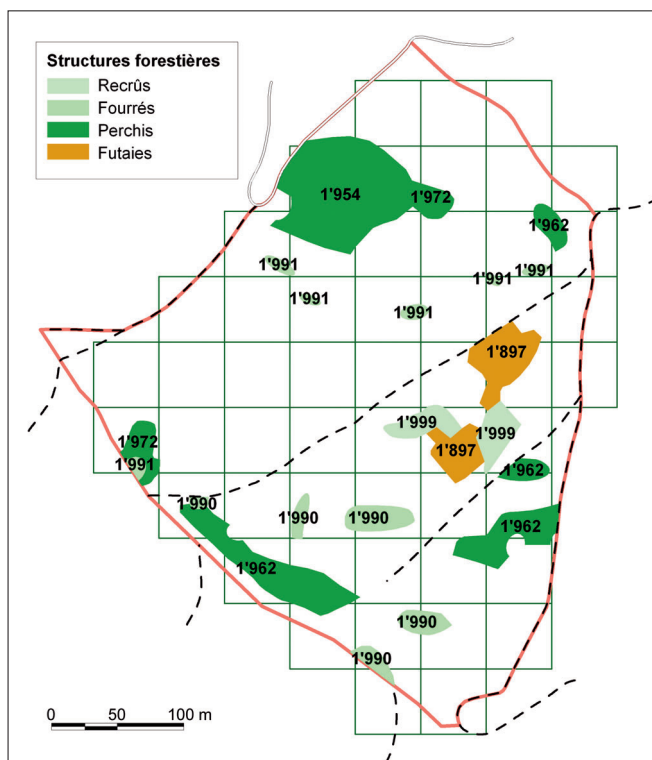


Figure 2: Carte des stades d'évolution forestière (situation au 1.5.2003) de la division 25 avec l'année d'intervention (exploitation sylvicole ou perturbation naturelle).

Pour les futaies, seules les plantations de pin noir d'Autriche (*Pinus nigra* Arnold) effectuées en 1897 sont indiquées.

Relevés phytosociologiques

Des relevés de végétation de 400 m² (20 x 20 m) ont été effectués dans l'angle sud-ouest de chaque maille, en utilisant la méthode classique de BRAUN-BLANQUET (1964), qui attribue

un code d'abondance-dominance à chaque espèce. Les strates arborescente (> 6 m), arbustive (0,5 à 6 m) et herbacée, y compris les jeunes ligneux (< 0,5 m), ont été relevées séparément. Le recouvrement total (%) de chaque strate, ainsi que sa hauteur optimale, ont également été notés. Lorsque la surface à échantillonner traversait une piste, le relevé a été décalé vers l'est ou vers le nord, sans pour autant sortir de la maille.

Des informations complémentaires sur la station ont été recueillies pour chaque relevé: l'altitude selon la carte topographique, la pente mesurée avec un clinomètre, l'exposition selon la rose des vents, l'influence humaine, le microrelief (versant, replat, convexe et concave), l'ombrage au sol sur une échelle de 0 (pleine lumière) à 4 (forêt fermée), la nature de la surface du sol (pourcentage de recouvrement de rochers, de la litière ou du sol nu). L'emplacement a de plus été documenté par un croquis de terrain et une photographie numérique prise depuis l'angle sud-ouest, en direction du centre de la maille.

A partir des relevés phytosociologiques enregistrés dans une base de données relationnelles, les données de biodiversité végétale, en particulier la richesse spécifique, ont pu être extraites. Nous avons également calculé les valeurs écologiques moyennes (LANDOLT 1977, pondération par l'abondance des espèces) de chaque relevé. Les indices d'humidité (F), de lumière (L), du pH du sol (R), de la richesse trophique (N), d'humus (H), de dispersité (D), de température (T) et de continentalité (K) ont été pris en considération. De même, des informations sur la dynamique de régénération des arbres dans les différentes placettes ont pu être inférées en utilisant les relevés phytosociologiques stratifiés. Les contributions de chaque espèce ligneuse dans chaque strate ont été calculées à partir des indices d'abondance-dominance, recodés en pourcentage selon la médiane de la classe.

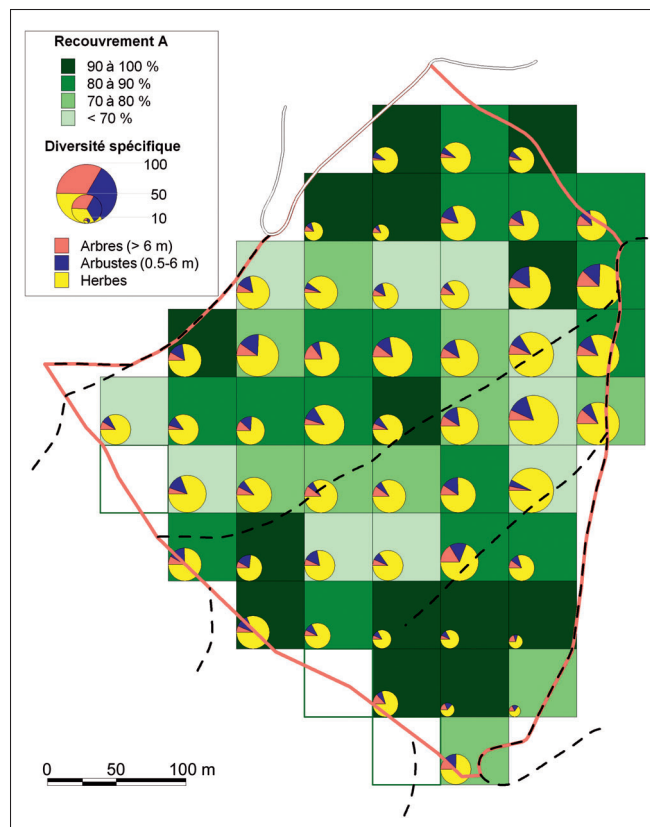


Figure 3: Recouvrement de la strate arborescente et diversité spécifique (richesse en espèces) dans la surface d'étude.

La taille du cercle est proportionnelle à la diversité totale de la maille et le cercle est découpé en fonction du nombre d'espèces se trouvant dans les différentes strates.

Dendrométrie

L'inventaire des arbres et leur caractérisation ont été effectués par un échantillonnage selon la méthode de Wisconsin (COTTAM & CURTIS 1956). A l'angle sud-ouest de chaque maille, un repère à 10 m au nord et un autre à 10 m au sud ont été fixés. A partir de chaque repère, l'arbre le plus proche dans chacun des 4 cadrans (NE, SE, SO, NO) a été identifié et mesuré (espèce, diamètre à hauteur de poitrine (dhp, ou DBH en anglais), distance au repère). Seuls les arbres au-dessus d'un diamètre de 17,5 cm ont été considérés afin de se calquer sur la méthode des inventaires forestiers du canton de Neuchâtel. En utilisant ces données, on peut calculer la distance moyenne E des arbres (en mètres) par rapport aux repères respectifs, puis convertir cette mesure en densité absolue D (nombre d'individus pour une surface unitaire de 100 m²) avec $D = 100/E^2$. Connaissant la densité et le rayon moyen r des arbres considérés (déduit des mesures dhp), il est possible de calculer la surface terrière T (en m² par hectare) selon la formule: $T = r^2 \times \pi \times D \times 100$.

Comme les gros arbres sont particulièrement importants dans l'écosystème forestier, les individus remarquables ayant un diamètre supérieur à 60 cm ont été repérés avec le nom de l'espèce. Cette prospection a été faite selon un itinéraire comparable dans chaque placette, en cherchant à localiser les arbres à distance et en ne procédant à des mesures qu'en cas de doute.

Inventaire du bois mort

Le bois mort joue un rôle important pour de nombreux insectes xylophages, pour les champignons décomposeurs et pour certaines espèces d'oiseaux et de mammifères. Quatre types de bois mort ont été considérés: tronc debout ou couché, souche et tas de branches. Les relevés ont été effectués le long des diagonales de chaque maille, en considérant uniquement les éléments sur une largeur de 2 m de chaque côté de l'itinéraire d'échantillonnage. L'inventaire a porté sur leur nombre, le diamètre pour les arbres morts debout (attribution à trois classes: 1 = 17,5–40 cm, 2 = 41–60 cm et 3 > 60 cm) et le stade de décomposition selon MASER *et al.* (1979) pour les arbres debout (uniquement stades 3 à 9) et couchés (stades 1 à 5). Les arbres morts n'ont été comptés qu'au-dessus de 17,5 cm de diamètre et les tas de branches à partir d'une surface de 3 m² (méthode de l'IFN, STIERLIN *et al.* 1994). La taille minimale des souches à considérer n'ayant pas été fixée, les résultats sont peu précis.

Analyses statistiques

Les relevés de végétation ont été traités par une analyse numérique multivariée avec le logiciel Mulva-5 (WILDI & ORLÓCI 1996) dans le but de produire une typologie. La procédure a consisté en l'utilisation successive des ordinations et des groupements selon différentes options, pour produire plusieurs typologies qui ont ensuite été évaluées et comparées. Une analyse de discrimination a permis de dégager les meilleures espèces différentielles de la typologie finalement retenue.

Pour évaluer les affinités des groupes obtenus avec les associations connues de la littérature, des similarités entre chaque relevé et quelques relevés de référence ont été calculées à l'aide du coefficient de Jaccard (valeur entre 0 et 1), sur la base d'une matrice de présence-absence des espèces. Ces indices ont été établis en utilisant les relevés synthétiques (fréquences des espèces) repris dans les tableaux publiés par RICHARD (1961) pour le *Carici-Fagetum*, le *Luzulo-Fagetum* et le *Melampyro-Fagetum*, et par MOOR (1952) pour le *Carici-Fage-*

tum, le *Cardamino-Fagetum* (= *Fagetum sylvaticae typicum*) et l'*Abieti-Fagetum festucetosum*.

Des tests non paramétriques de Wilcoxon ont été utilisés pour comparer le recouvrement des arbres en fonction de la présence de certaines espèces, ainsi que de la biodiversité végétale dans les différentes strates de végétation en fonction de la présence ou de l'absence de gros arbres. Des corrélations de Pearson ont été calculées et testées entre les valeurs écologiques indicatrices moyennes de LANDOLT (1977) et entre celles-ci et la richesse spécifique.

Le choix final de la surface à mettre en réserve a été fait sur la base de points (entre 0 et 2) attribués aux mailles en fonction de l'intérêt qu'elles présentaient et selon des critères pertinents élaborés sur la base des résultats de chaque approche (phytosociologie, biodiversité, indices écologiques, espèces ligneuses/bois mort). Les points obtenus ont été additionnés et la surface de la réserve a été sélectionnée de manière à former une entité cohérente contenant un maximum de mailles bien cotées et couvrant approximativement la moitié du secteur étudié.

Résultats et discussion

Relevés de végétation

Au total, 140 espèces ont été répertoriées dans les 50 relevés phytosociologiques. La surface étudiée ne montrant pas de grande variation au niveau de la géomorphologie, les relevés sont dans l'ensemble peu contrastés. Parmi les différentes solutions possibles pour une typologie, celle qui avait la plus grande cohérence du point de vue spatial a été retenue, c'est-à-dire celle dont les relevés d'un même groupe étaient proches les uns des autres ou répartis de manière cohérente en fonction du relief (*figure 4*).

La comparaison des relevés entre eux a permis de mettre en évidence quelques espèces différentielles pour les trois premiers groupes et de les comparer avec les associations forestières décrites dans le Jura (*tableau 1*). Cependant, seules des tendances ont pu être dégagées car les groupes sont très similaires et peu d'espèces ressortent en tant que bonnes différentielles.

Composition floristique des groupes

Le premier groupe se situe dans la partie centrale de la division. Il se démarque bien avec plusieurs espèces différentielles, dont certaines indiquant des conditions plutôt sèches (*tableau 1*). Il montre aussi les plus grands indices de similarité avec l'ensemble des relevés de référence, ce qui s'explique par la plus grande richesse en espèces de ce groupe. L'indice le plus élevé est obtenu avec le *Melampyro-Fagetum*, mais la composition spécifique montre plutôt une appartenance au *Carici-Fagetum*. Ce groupe est également caractérisé par une strate arborescente relativement peu couvrante.

Le deuxième groupe est un peu moins riche et caractérisé par une espèce acidophile (*tableau 1*). Les indices de similarité avec les relevés de référence montrent une ressemblance avec le *Melampyro-Fagetum* et le *Luzulo-Fagetum*, deux associations sur sols acides séparées essentiellement par l'altitude. L'écologie générale et la présence de *Festuca altissima* All. et du sapin (*Abies alba* Miller) font opter pour une appartenance à la seconde.

Le troisième groupe est pauvre, avec des espèces mésophiles indiquant un sous-bois plutôt sombre, correspondant ici à une strate arborescente très fermée. Situé dans la partie supérieure de la zone d'étude, trois des quatre relevés se trouvent sur une surface endommagée par une tempête en 1954

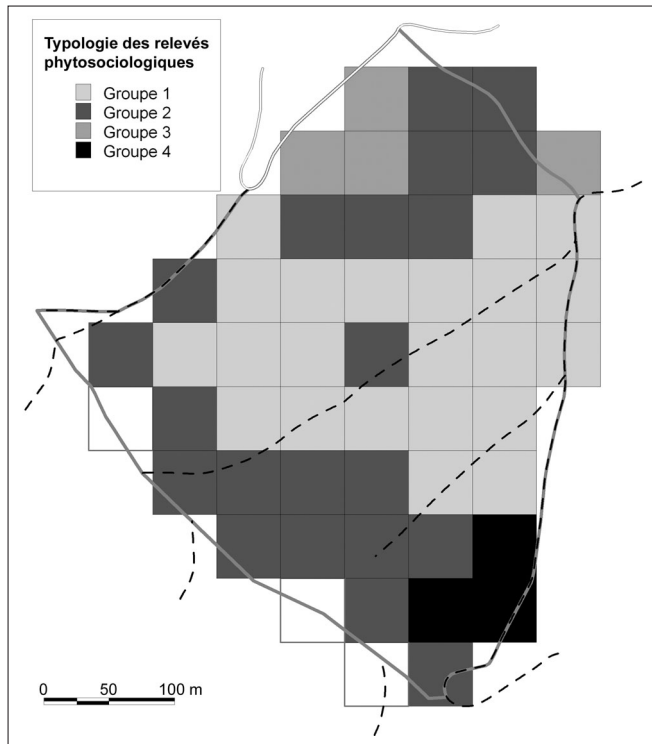


Figure 4: Carte de la végétation obtenue après l'analyse typologique des relevés phytosociologiques.

Le groupe 1 correspond au *Carici-Fagetum*, le groupe 2 au *Luzulo-Fagetum*, le groupe 3 tend vers le *Cardamino-Fagetum* et le groupe 4 est inclassable.

et maintenant couverte d'un perchis dense (figure 2). A cette altitude, ces conditions moyennes sont celles du *Cardamino-Fagetum*, ce qui est confirmé par un indice de similarité assez élevé. Mais il manque à ce groupe beaucoup d'espèces caractéristiques de cette association et il possède aussi des affinités avec les deux associations de sols acides.

Le dernier groupe est très pauvre en espèces. Il est caractérisé par l'absence de toutes les espèces différentielles des autres groupes et n'en possède aucune propre. Il reste de ce fait inclassable par rapport aux unités connues de la littérature.

Les résultats obtenus concordent mal avec la carte de la végétation des forêts neuchâteloises établie par RICHARD (1965) (figure 1). Non seulement les surfaces obtenues montrent des

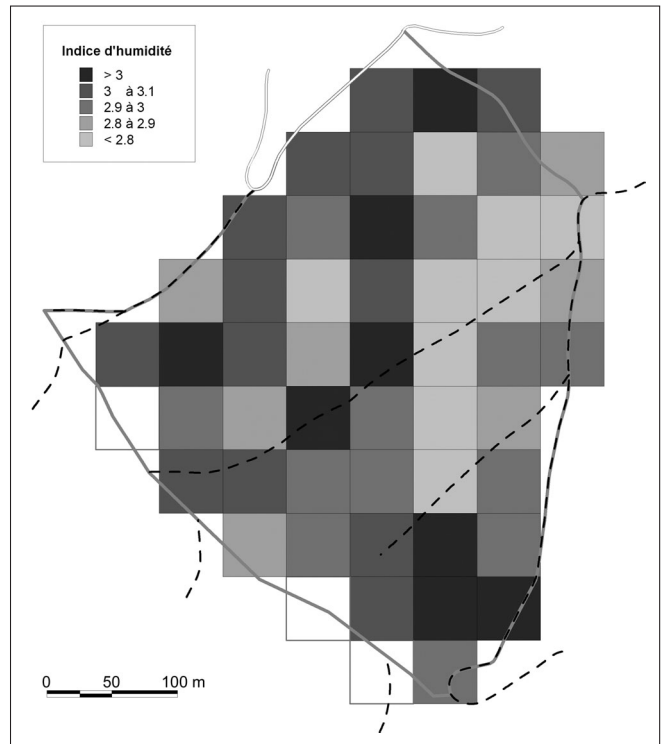


Figure 5: Indice d'humidité moyen selon LANDOLT (1977) calculé pour chaque placette sur la base des relevés phytosociologiques.

limites différentes, mais les associations attribuées sont inversées, exceptés les relevés attribués au *Cardamino-Fagetum* et quelques mailles du *Carici-Fagetum*. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer ces différences: la méthode de travail (relevés sporadiques selon un échantillonnage préférentiel dans des surfaces homogènes et représentatives pour RICHARD (1961) et échantillonnage systématique pour nous), le domaine total considéré pour l'échantillonnage (canton contre division), ou une évolution de la forêt depuis l'époque de la cartographie par RICHARD (1965). Il est par exemple intéressant de constater que le *Carici-Fagetum*, formation de forêts chaudes et claires, comprend ici la majorité des surfaces récemment ouvertes par l'exploitation forestière.

Tableau 1: Résultats du groupement typologique des relevés phytosociologiques et principales espèces différentielles.

La richesse spécifique indique la moyenne du nombre d'espèces dans les relevés du groupe (avec l'écart-type) et la similarité est la moyenne des coefficients de Jaccard des relevés du groupe avec le relevé de référence. Parmi les 4 groupes formés par l'analyse statistique, seuls 3 présentent des affinités avec des unités décrites dans la littérature.

Typologie statistique	1	2	3	4
Nombre de relevés	22	21	4	3
Richesse spécifique	47,9 ± 8,6	37,0 ± 6,2	29,5 ± 6,5	14,0 ± 2,6
Recouvrement arborescent moyen [%]	70,9 ± 18,5	75,7 ± 18,7	90 ± 7,1	86,7 ± 10,4
Espèces différentielles des groupes	<i>Acer campestre</i> L., <i>Acer opalus</i> Mill., <i>Cephalanthera damasonium</i> (Mill.) Druce, <i>Cephalanthera longifolia</i> (L.) Fritsch, <i>Convallaria majalis</i> L., <i>Crataegus monogyna</i> Jacq., <i>Helleborus foetidus</i> L., <i>Ligustrum vulgare</i> L., <i>Lilium martagon</i> L., <i>Lonicera xylosteum</i> L., <i>Taxus baccata</i> L., <i>Teucrium scorodonia</i> L.		<i>Cardamine</i> <i>heptaphylla</i> (Vill.) O.E. Schulz, <i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott, <i>Oxalis</i> <i>acetosella</i> L., <i>Paris</i> <i>quadrifolia</i> L.	
Similarité moyenne avec les relevés de référence				
<i>Carici-Fagetum</i> (RICHARD 1961)	0,222	0,183	0,163	0,073
<i>Carici-Fagetum</i> (MOOR 1952)	0,240	0,192	0,161	0,086
<i>Luzulo-Fagetum</i> (RICHARD 1961)	0,242	0,270	0,221	0,133
<i>Melampyro-Fagetum</i> (RICHARD 1961)	0,281	0,271	0,213	0,138
<i>Cardamino-Fagetum</i> (MOOR 1952)	0,234	0,208	0,185	0,086
<i>Abieti-Fagetum festucetosum</i> (MOOR 1952)	0,228	0,202	0,177	0,086

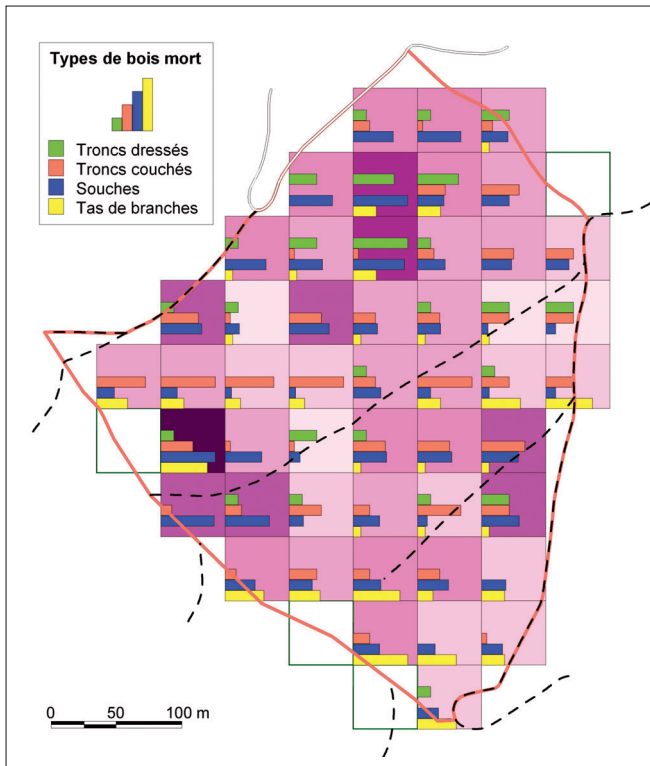


Figure 13: Quantité de bois mort total (nombre d'éléments observés le long des diagonales) variant de 10 (violet clair) à 46 (violet foncé) et nombre d'observations des différents types.

Chaque type est représenté par une échelle différente (troncs dressés: 0-4; troncs couchés: 0-10; souches: 4-33; tas de branches: 0-7).

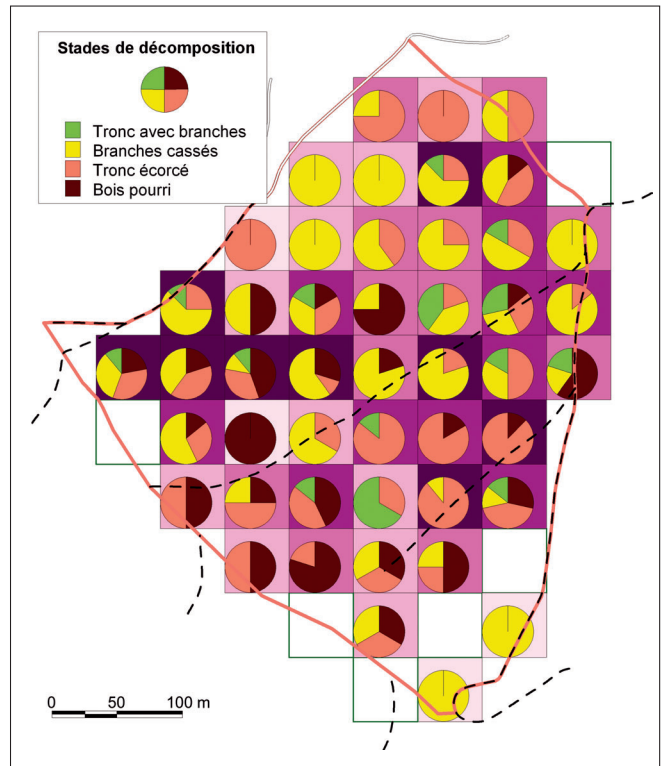


Figure 14: Quantité de troncs morts dressés ou couchés (nombre d'éléments observés le long des diagonales) variant de 0 (violet clair) à 10 (violet foncé) et stades de décomposition, simplifiés d'après MASER et al. (1979): troncs avec branches (stades 2 et 3 pour les troncs dressés, stade 1 pour les troncs couchés), branches cassées (stade 4, respectivement stade 2), tronc écorcé (stade 5, stade 3), bois pourri (stades 6 et 7, stades 4 et 5).

Critères phytosociologiques pour le choix d'une réserve totale

La carte de la végétation (figure 4) apporte peu de critères objectifs et pertinents pour le choix d'une réserve forestière. Du point de vue régional, le *Carici-Fagetum* est, parmi les associations qui nous concernent, le type de végétation qui est le moins représenté sur la Montagne de Boudry. De plus, cette association comporte plusieurs espèces peu fréquentes et attractives comme les *Cephalanthera*. Il peut donc paraître judicieux d'en mettre une partie au moins en réserve. Le *Luzulo-Fagetum*, plus fréquent, est également riche en espèces et correspond au pied du Jura à des conditions écologiques particulières (présence de moraines glaciaires). Nous proposons donc de mettre une priorité au *Carici-Fagetum*, en attribuant deux points aux mailles classées dans cette association et un point au *Luzulo-Fagetum*.

Biodiversité végétale

Répartition de la diversité

Les relevés phytosociologiques ont été utilisés pour étudier la répartition de la biodiversité végétale (richesse spécifique des végétaux supérieurs) et en faire une interprétation explicative. Le nombre d'espèces par relevé varie entre 11 et 64, avec une moyenne de $39,8 \pm 11,5$ espèces. Il ressort nettement une zone à plus forte diversité en espèces dans la partie centrale, surtout à l'est de la zone d'étude (figure 3).

Parmi les différentes variables testées pour expliquer la diversité végétale (nombre d'années depuis la dernière exploitation, hauteur optimale des arbres, recouvrement de la strate arborescente, altitude, nombre de gros arbres de plus de 60 cm de diamètre), le recouvrement des arbres et la présence de

gros arbres influencent la répartition de certaines espèces et expliquent une partie de cette diversité. Ainsi, par exemple les orchidées, *Convallaria majalis* L. ou *Helleborus foetidus* L. sont présentes préférentiellement dans des mailles avec un faible recouvrement arborescent (tableau 2a). Cette influence se

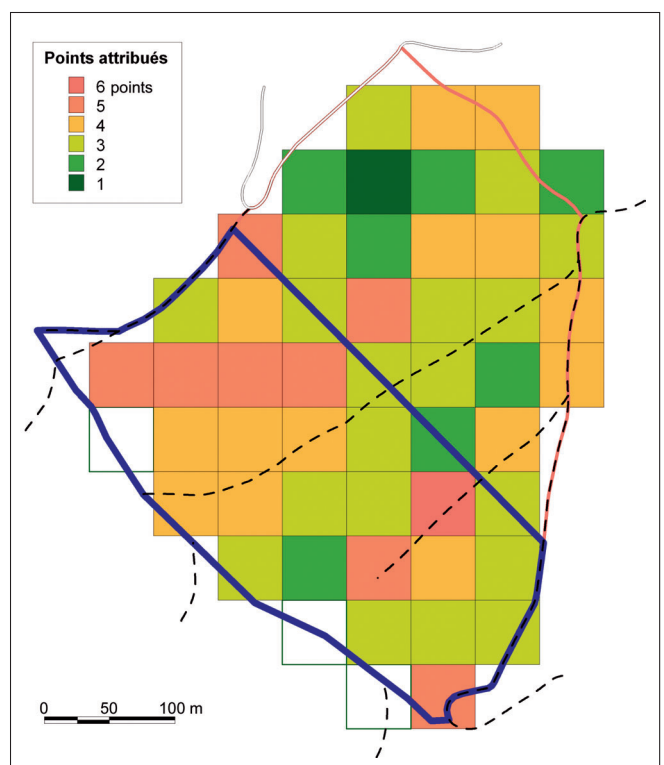


Figure 15: Total des points attribués à chaque maille en fonction de leur intérêt pour en faire une réserve forestière totale. Le périmètre proposé pour cette réserve est indiqué en bleu.

Tableau 2: Influence du recouvrement de la strate arborescente (en %) sur la présence de quelques espèces protégées, attractives ou peu abondantes dans le Jura (a), et richesse spécifique (nombre moyen d'espèces) des différentes strates en fonction de la présence ou de l'absence de gros arbres (diamètre > 60 cm) (b).

Les moyennes sont comparées avec des tests non paramétriques de Wilcoxon (z et p-value) et les résultats sont donnés comme hautement significatifs (**), significatifs (*), non significatifs mais avec une tendance marquée (Tendance) ou non significatifs (NS).

a Espèces	Recouvrement arborescent moyen		z	p-value	Significativité
	avec l'espèce	sans l'espèce			
<i>Helleborus foetidus</i> L.	66,5	80,0	-2,407	0,016	*
<i>Taxus baccata</i> L.	68,3	79,4	-1,874	0,061	Tendance
<i>Galium odoratum</i> (L.) Scop.	75,2	75,8	-0,451	0,652	NS
<i>Convallaria majalis</i> L.	69,6	81,2	-2,811	0,005	**
<i>Lilium martagon</i> L.	72,2	78,6	-1,818	0,069	Tendance
Orchidaceae (sans <i>Neottia nidus-avis</i>)	68,3	79,4	-2,010	0,045	*
<i>Neottia nidus-avis</i> (L.) Rich.	72,6	78,2	-1,430	0,154	NS

b Strates	Richesse spéc. moyenne des mailles		z	p-value	Significativité
	avec gros arbres	sans gros arbres			
Strate arborescente	3,8	4,7	2,191	0,028	**
Strate arbustive	4,8	7,0	1,973	0,049	*
Strate herbacée	35,1	43,7	1,958	0,057	Tendance
Total	36,7	47,0	2,161	0,036	*

voit également dans la *figure 3* montrant une diversité plus faible lorsque le recouvrement arborescent (estimé) est élevé.

De même, on remarque une diversité (strates arborescente et arbustive et toutes strates confondues) significativement plus élevée dans les mailles dépourvues de gros arbres (*tableau 2b*). Leur présence étant logiquement un indice du vieillissement du peuplement, il est possible de conclure à une baisse de la diversité végétale lorsque le degré de maturité augmente.

Critères de biodiversité pour le choix d'une réserve totale

Le hêtre (*Fagus sylvatica* L.) est connu pour la densité de son feuillage et la pauvreté du sous-bois qu'il génère (DELARZE *et al.* 1998). Les hêtraies n'abritent en général que peu d'espèces rares et aucune espèce menacée au niveau suisse (MOSER *et al.*

2002) n'a été observée dans notre étude. La présence de telles espèces ne peut donc être utilisée dans notre cas comme critère de mise sous protection. Il y a certes des surfaces plus riches que d'autres, mais ceci semble lié à une strate arborescente plus ouverte ou éventuellement à une lisière interne. Sans intervention humaine, la forte dynamique du hêtre va rapidement refermer ces ouvertures et une mise sous protection intégrale aurait pour conséquence leur disparition. Le maintien d'une diversité élevée en sous-bois est donc tributaire d'interventions sylvicoles régulières ou de la mort naturelle de grands arbres.

Par conséquent, il est suggéré de mettre en réserve préférentiellement des surfaces âgées, plus proches du climax, qui ne pourront qu'augmenter leur diversité au cours du temps. Nous avons donc attribué deux points aux mailles qui n'ont pas eu d'ouverture après 1890 (*figure 2*) et un point aux mailles qui ont été ouvertes sur moins du tiers de leur surface.

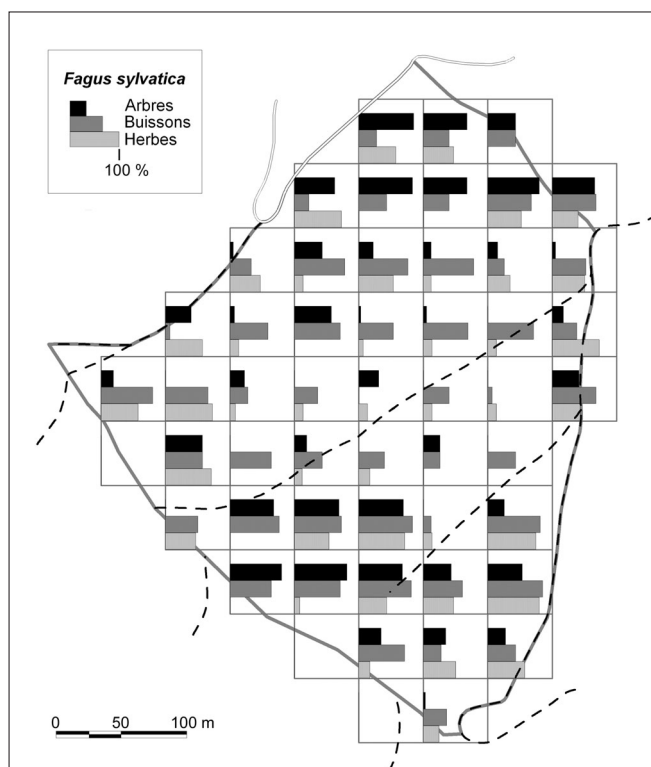


Figure 6: Contribution du hêtre (en % de recouvrement total des espèces ligneuses) dans les strates arborescente, arbustive et herbacée.



Figure 7: Contribution du sapin (en % de recouvrement total des espèces ligneuses) dans les strates arborescente, arbustive et herbacée.

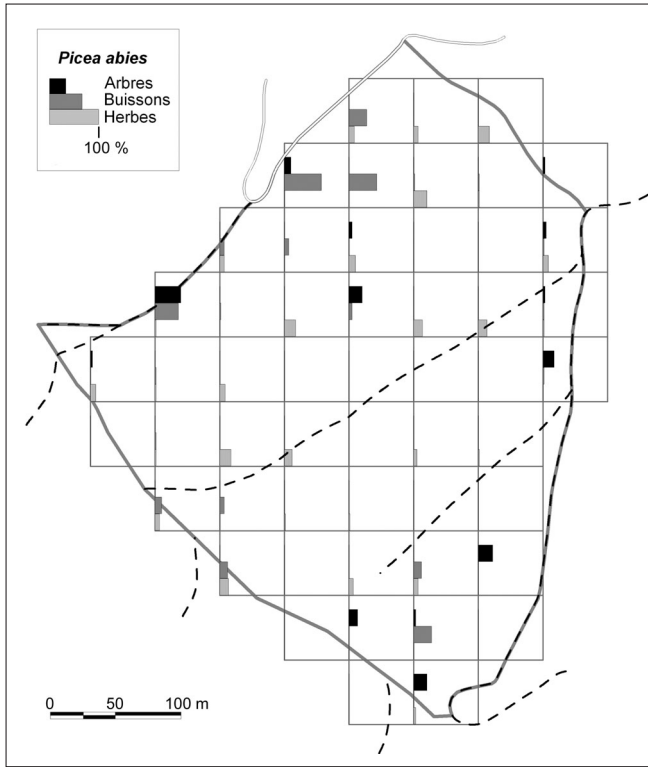


Figure 8: Contribution de l'épicéa (en % de recouvrement total des espèces ligneuses) dans les strates arborescente, arbustive et herbacée.

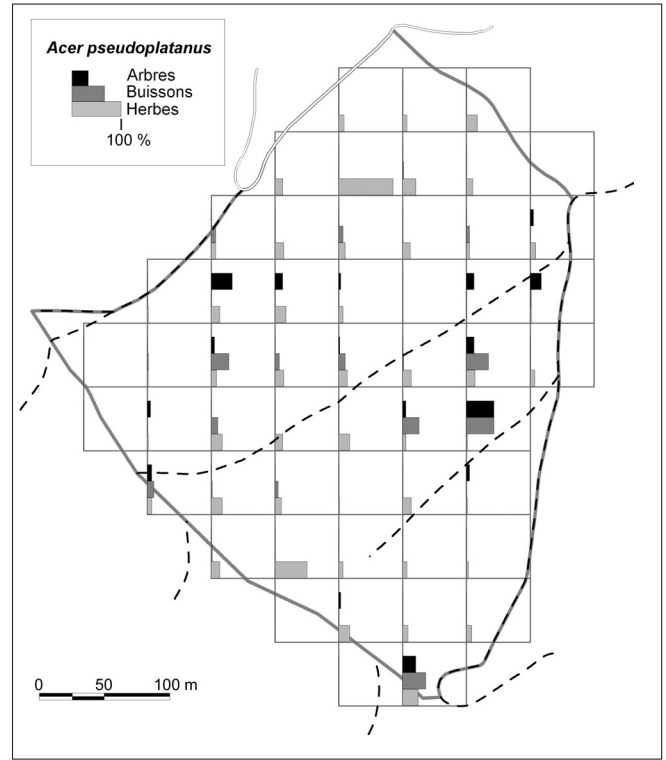


Figure 9: Contribution de l'érable sycomore (en % de recouvrement total des espèces ligneuses) dans les strates arborescente, arbustive et herbacée.

Valeurs écologiques indicatrices

La petitesse du territoire d'étude et sa faible variabilité géomorphologique se traduisent par des valeurs écologiques moyennes (LANDOLT 1977) peu variables. L'indice d'azote (N) a la plus faible amplitude (2,53–3,09, légèrement oligotrophe à mésotrophe) et l'indice de lumière (L) la plus forte (2,43–4,32, un peu ombragé à ensoleillé). L'étude des corrélations entre ces indices (résultats non présentés) montre que l'indice d'humidité (F) a la plus forte corrélation avec les autres indices. Cet indice, qui varie entre 2,56 et 3,37 (un peu sec à frais), indique que la partie la plus sèche de la division se trouve du côté est (figure 5).

Quatre indices donnent une corrélation très significative ($p < 0,001$) entre leur moyenne pour les relevés et la richesse spécifique: la continentalité (corrélation de 0,570), l'humidité (–0,542), le pH (0,497) et la température (0,479). La corrélation avec l'humidité est cohérente avec l'observation précédente d'une diversité maximale dans la partie est de la division, plus ouverte, et plus faible dans les secteurs fermés par la couverture arborescente (figure 3).

Les valeurs écologiques indicatrices de LANDOLT (1977) n'ont pas apporté d'éléments déterminants pour définir une réserve forestière totale et nous n'en avons pas tenu compte.

Vie des arbres: de la naissance à la décomposition

Régénération des essences forestières

Les relevés phytosociologiques permettent de comparer la contribution des différentes essences forestières dans la régénération. On observe ainsi de grandes disparités entre espèces. Le hêtre est l'essence qui se régénère le mieux (figure 6). Présent presque partout dans la strate arborescente, il domine largement au nord et au sud de la division. Mais surtout, il est omniprésent dans les strates arbustive et herbacée et donne l'impression d'envahir tout le sous-bois. Le sapin semble assurer son avenir également (figure 7); il domine là

où le hêtre est moins présent et sa régénération n'est pas rare, bien qu'absente en tant qu'arbuste dans de nombreux relevés. Néanmoins, nous n'avons pas quantifié les traces d'abrouissement sur cette espèce particulièrement appréciée du chevreuil.

L'épicéa (*Picea abies* (L.) Karsten) donne déjà une image moins favorable (figure 8). Très localisé dans la strate arborescente, il est plus dispersé dans la strate herbacée mais semble avoir de la peine à survivre comme buisson. Cependant, cette essence n'est pas pleinement en station et sa survie dans des conditions de réserve forestière totale sera certainement limitée à quelques pieds isolés. Par contre, l'érable sycomore (*Acer pseudoplatanus* L., figure 9), l'érable à feuilles d'obier (*Acer opalus* Miller) et l'alisier blanc (*Sorbus aria* (L.) Crantz) sont en station dans la zone d'étude mais présentent également une régénération faible et localisée. Ces espèces, bien dispersées par le vent ou les oiseaux, germent facilement et sont observables dans la majorité des relevés à l'état de plantules. Elles deviennent ensuite rares au stade d'arbuste, essentiellement victimes du gibier.

Finalement, le chêne rouvre (*Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl., figure 10) et l'if (*Taxus baccata* L.) semblent n'avoir plus aucun avenir dans cette forêt sans l'aide appuyée du sylviculteur. Bien que réguliers dans la strate arborescente, et souvent rencontrés dans la strate herbacée, ils sont totalement absents de la strate arbustive (l'if s'observe tout de même dans trois relevés, mais étant donné sa croissance très lente, ces buissons peuvent correspondre à des conditions anciennes). Ces deux espèces sont connues pour leur sensibilité à la dent du chevreuil, comme en témoignent les jeunes chênes végétant au ras du sol dans les clairières.

À l'avenir, la forêt laissée à elle-même sera donc vraisemblablement dominée par le hêtre, avec le sapin bien présent et des érables, épicéas et alisiers blancs isolés. La longévité importante de l'if et du chêne rouvre leur assure encore quelques belles décennies, mais il est à craindre qu'ils ne laisseront aucun descendant.

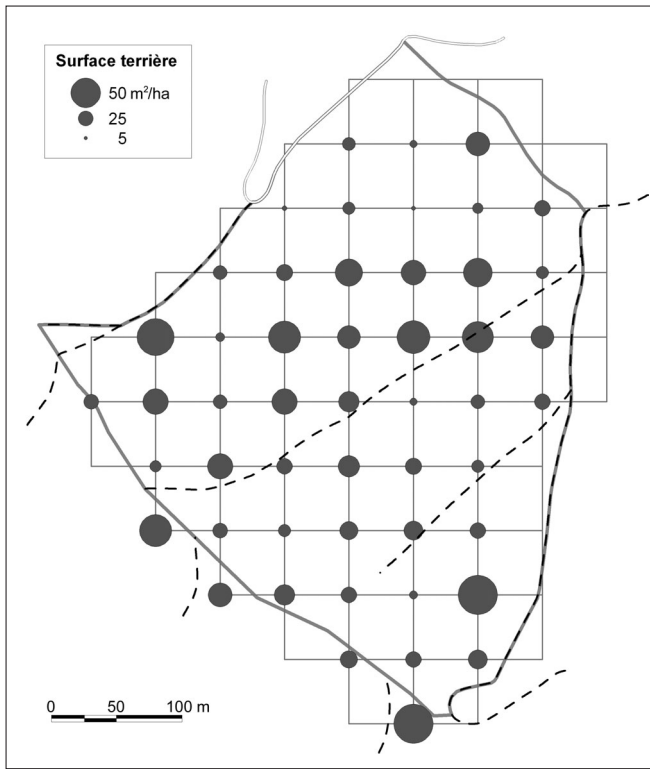


Figure 11: Surface terrière mesurée par échantillonnage aux angles de chaque maille.

Surface terrière

La surface terrière est irrégulière dans cette division, avec des zones de faible surface, comme la partie nord-ouest qui correspond à un perchis développé après une tempête en 1954, et d'autres avec une surface plutôt élevée, comme la partie centrale, au sud ou à l'ouest (figure 11). On peut s'attendre à trouver des peuplements plus âgés dans ces secteurs, mais il ne faut pas oublier que cette surface terrière n'a été calculée que

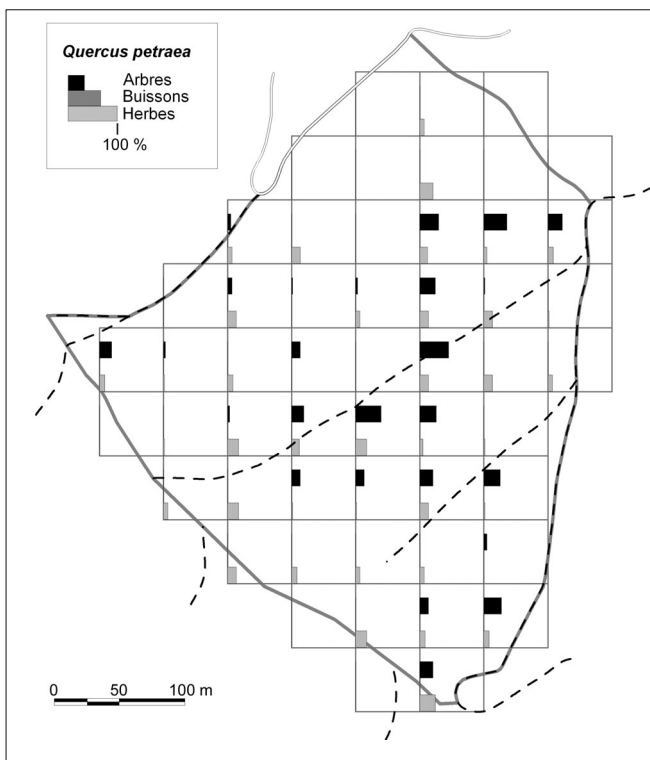


Figure 10: Contribution du chêne rouvre (en % de recouvrement total des espèces ligneuses) dans les strates arborescente, arbustive et herbacée.

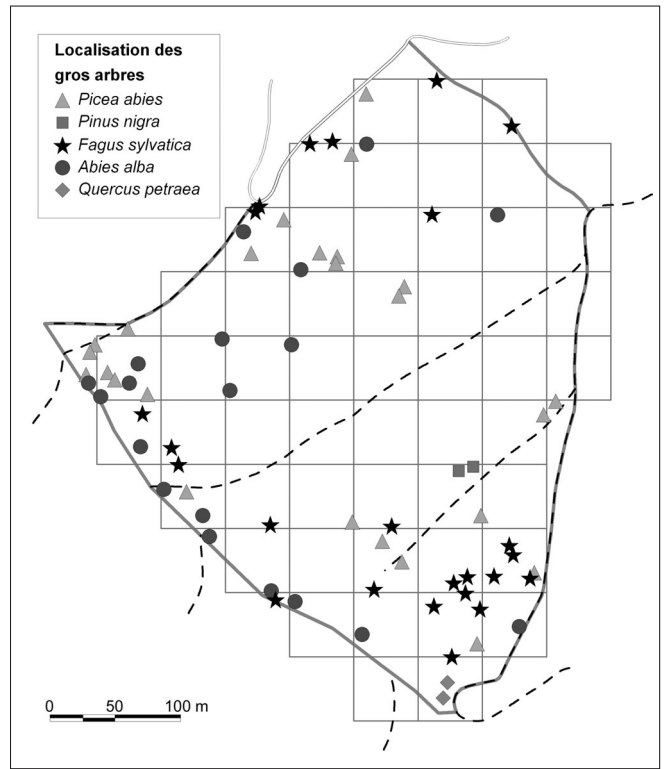


Figure 12: Répartition des arbres d'un diamètre supérieur à 60 cm.

sur la base de huit arbres par point et n'est pas forcément représentative de l'ensemble de la maille. La carte des densités (non représentée) donne une image assez semblable à la carte des surfaces terrières.

Une autre manière d'estimer la répartition du volume sur pied a été d'inventorier et de localiser sur l'ensemble de la division les arbres d'un diamètre supérieur à 60 cm (figure 12). Septante-deux arbres ont été trouvés, le plus gros étant un sapin de 85 cm de diamètre. La correspondance entre la répartition de ces arbres et la surface terrière calculée est mauvaise (raison évoquée au paragraphe précédent), excepté pour le groupe de hêtres situé au sud de la division. Cette région est également caractérisée par la présence de deux gros chênes, alors que sapins et épicéas dominent dans le reste de la division. La zone ouest, le long d'un ravin, est également plus riche en individus de grand diamètre.

Bois mort

Le bois mort est réparti de manière assez homogène sur l'ensemble de la surface, avec la grande majorité des placettes montrant entre 15 et 30 éléments (figure 13). Trois régions semblent cependant un peu plus riches, mais les valeurs quantitatives doivent être relativisées et considérées avec précaution vu que ces comptages n'ont pas été exhaustifs. Les souches sont nettement les plus nombreuses (jusqu'à 33 observations), réparties de manière assez homogène, alors que les troncs, dressés ou couchés, sont les plus rares (maximum respectivement de 4 et 10 observations).

Bien que peu fréquents, les gros troncs sur pied sont les éléments les plus importants du point de vue de la faune (SCHIEGG PASINELLI & SUTER 2000, BÜTLER & SCHLAEFFER 2004). Ils offrent de nombreux trous aux cavernicoles et permettent la reproduction de coléoptères particulièrement exigeants. Pour ces raisons, il est intéressant de considérer plus en détail leur répartition et leur état de décomposition (figure 14). Dans l'ensemble, on constate un état de décomposition plus avancé dans la partie sud de la division, correspondant aussi à

une plus grande abondance de troncs couchés, alors que dans la partie nord, où les troncs dressés sont plus nombreux, l'état de décomposition semble moins avancé. Mais de nouveau, ces mesures n'ont été effectuées que le long des diagonales, et l'estimation de l'état de décomposition porte une part de subjectivité susceptible d'influencer les résultats.

Critères pour le choix d'une réserve totale

Trois aspects ont été étudiés ici, chacun apportant une réponse quelque peu différente. La régénération des arbres a montré que, sans intervention sylvicole déterminée, le hêtre deviendra dominant sur l'ensemble de la division. La réserve intégrale, qui présuppose l'absence d'intervention sylvicole, n'est donc pas une bonne solution pour favoriser durablement les espèces à valeur particulière ou peu fréquentes comme le chêne, l'alisier blanc, l'alisier torminal (*Sorbus torminalis* (L.) Crantz) ou l'if. Dans la mesure où la régénération de ces essences est souhaitable, il est donc préférable de reporter la priorité sur d'autres critères.

Le bois mort est réparti de manière assez homogène sur l'ensemble de la division, bien que sa qualité soit variable du point de vue des organismes qui en dépendent. Mais les zones actuellement favorables par l'abondance de troncs morts ne le seront peut-être plus dans le futur, une fois ces troncs complètement décomposés. Le choix d'une réserve en fonction de sa richesse initiale en bois mort ne semble donc pas une bonne option à long terme. Il paraît plus judicieux de tenir compte de ce qui constituera à l'avenir le bois mort, c'est-à-dire les vieux arbres actuels. En effet, ceux-ci présentent le plus grand potentiel de richesse faunique et floristique. De leur vivant, les gros arbres offrent de nombreux habitats et constituent des richesses paysagères, voire patrimoniales; en phase de sénescence puis de décrépitude, ils restent longtemps attractifs pour toute la cohorte d'organismes qui leur sont inféodés.

Pour cette raison, nous avons décidé d'attribuer deux points aux mailles comportant deux gros arbres ou plus, et un point aux mailles avec un seul individu (*figure 12*).

Synthèse des résultats et choix des limites de la réserve forestière

La zone à mettre en réserve doit être d'un seul tenant et de forme logique et pratique pour la gestion forestière. Idéalement, elle doit se trouver sur un bord de la division, notamment pour ne pas entraver l'accès des surfaces avoisinantes, et avoir une frontière rectiligne ou facile à repérer et à matérialiser sur le terrain.

Le total des points attribués précédemment à chaque maille (maximum de 6) est illustré dans la *figure 15*. Cette carte montre deux pôles particulièrement bien adaptés à la mise en réserve totale (à l'ouest et au sud) et quelques zones plus diffuses au nord-est. Comme il se dessine quand même une préférence pour la partie sud-ouest, qui regroupe une plus grande proportion de mailles intéressantes, nous proposons de mettre en réserve forestière totale cette portion de la division 25, telle que représentée sur la *figure 15*.

Cette surface de 7 ha concorde avec les choix précédents. Elle évite les mailles qui, actuellement, ont la plus forte diversité végétale, due aux interventions sylvicoles et/ou à l'ouverture du milieu (*figure 3*). Elle couvre une part importante des deux principales associations végétales observées dans la division (*Carici-Fagetum* et *Luzulo-Fagetum*, *figure 4*). La composition de la strate arborescente est diversifiée, avec dominance du hêtre en aval et du sapin en amont, le chêne rouvre étant localement présent (*figures 6, 7 et 10*). Les plus grandes surfaces terrières mesurées (*figure 11*) se trouvent comprises

dans cette surface, dont deux zones riches en gros arbres (*figure 12*): des épicéas et des sapins le long du ravin à l'ouest, et de nombreux hêtres au sud. Ces arbres assureront dans le futur un apport régulier de bois mort, d'autant plus que sapins et épicéas, favorisés antérieurement par l'homme (1880–1950), auront certainement une durée de vie limitée par des conditions écologiques qui ne leur sont pas optimales (sapins anémiés par le gui et souffrant des années sèches, épicéas sensibles aux attaques du bostryche typographe). Nous pouvons donc espérer la mise en place assez rapide d'une mosaïque des différents stades d'évolution qui caractérisent les écosystèmes forestiers naturels.

Conclusions

L'étude n'a porté que sur les plantes et la végétation, étant donné qu'elle a été réalisée dans le cadre d'un cours de botanique. Aussi sommes nous conscients que ce n'est pas la seule approche pertinente pour choisir la surface d'une réserve forestière totale. D'autres groupes d'organismes, ainsi que certains critères complémentaires (valeur économique des bois, accessibilité, etc.) devraient être pris en considération pour apporter une réponse complète.

La principale contrainte des plantes herbacées forestières est souvent le manque de lumière au sol et les forêts les plus riches et précieuses sur ces versants du pied du Jura correspondent souvent à des conditions écologiques limitantes (des sols superficiels par exemple), montrant en même temps une strate arborescente clairsemée. Dans la division étudiée, la diversité végétale est surtout liée au degré et à la régularité des interventions sylvicoles. Dès lors, le choix de la réserve totale ne doit pas reposer sur la biodiversité végétale observée mais se faire avec une perspective dynamique. Ainsi, les enjeux sont dans la prise en compte de l'évolution future des peuplements dans les sites qui ne sont pas nécessairement les plus intéressants dans leur état actuel.

Bien que ce travail ait été réalisé en l'espace de quatre jours de terrain avec neuf étudiants, certes peu expérimentés mais encadrés, il a permis de poser un premier jalon important qui permettra de contractualiser le périmètre de la réserve dans le cadre de la révision 2005 du plan de gestion des forêts communales de Bevaix. Le dispositif mis en place mériterait que d'autres personnes s'y intéressent en vue d'un suivi à long terme et d'un élargissement des thèmes abordés. Des groupes d'organismes tels que les insectes, champignons, mousses ou lichens par exemple seraient des plus intéressants à étudier dans ce secteur.

Résumé

La loi fédérale sur les forêts encourage la création de réserves forestières totales. Dans le cadre d'un stage de terrain en botanique avec des étudiants de 3^e cycle, différents inventaires ont été entrepris dans une division forestière (commune de Bevaix, canton de Neuchâtel) afin de définir la surface la plus appropriée à une telle réserve. Dans chacune des 50 mailles subdivisant la surface, un relevé phytosociologique a été effectué, ainsi que des mesures dendrométriques et un inventaire du bois mort. La biodiversité végétale et la régénération des arbres ont été étudiées à partir des relevés phytosociologiques. Sur la base de critères choisis, des points ont été attribués à chaque maille en fonction de l'intérêt qu'elle présentait pour une réserve forestière totale. Finalement, une étendue de 7 ha a été suggérée pour une telle réserve. Le maillage est marqué de manière permanente dans le terrain, ce qui permettra d'autres inventaires et un suivi des surfaces dans le futur.

Zusammenfassung

Abgrenzung eines Totalwaldreservates mit Hilfe einer Vegetationsstudie

Das Schweizer Waldgesetz erlaubt es den Kantonen Waldreservate von mindestens fünf Hektaren abzugrenzen. Im Rahmen eines Botanik-Feldlehrgangs haben Nachdiplomstudenten in einer Waldabteilung der Gemeinde Bevaix (Kanton Neuchâtel) die Vegetation mit dem Ziel inventarisiert, die geeignetste Fläche für ein Totalreservat zu bestimmen. Auf jeder der 50 Rasterflächen wurde eine Totholzinventur gemacht, sowie pflanzensoziologische und dendrometrische Erhebungen durchgeführt. Die Artenvielfalt und die Verjüngung wurden anhand von Pflanzenaufnahmen untersucht. Aufgrund der gewählten Kriterien für ein Waldreservat wurde jeder Rasterfläche eine entsprechende Punktezahl zugeordnet. Schliesslich wurde eine insgesamt sieben Hektar umfassende Fläche ausgewählt. Die Rasterflächen sind im Gelände dauerhaft markiert, was ein «Follow-up» sowie spätere und ergänzende Inventuren ermöglichen.

Übersetzung: BRIGITTE CORBOZ

Summary

Vegetation study to determine the optimal surface area of an unmanaged forest reserve

Forestry law in Switzerland allows cantonal authorities to define forest reserve areas of at least 5 ha. During a university field-training course in botany, postgraduate students carried out vegetation studies to determine the most appropriate size for an area of completely unmanaged forest reserve within a forest division near Bevaix (canton of Neuchâtel). On the 50 plots of an experimental grid a phytosociological survey and forest mensurations were carried out and the amount of dead wood was determined. Plant biodiversity and tree regeneration were studied by means of a plant survey. Each plot was assigned a score depending on its specific value to a forest reserve. Results suggest that a surface area of 7 ha is most likely to achieve the goal. The grid points of the chosen plots are permanently marked in the field, in order to facilitate further inventories and follow-up studies.

Translation: BRIGITTE CORBOZ

Bibliographie

- BÜTLER, R.; SCHLAEFFER, R. 2004: Wie viel Totholz braucht der Wald? Schweiz. Z. Forst. 155, 2: 31–37.
- BRAUN-BLANQUET, J. 1964: Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde, 3. neubearbeitete Auflage, Springer, Wien, New York, 865 S.
- COTTAM, G.; CURTIS, J.T. 1956. The use of distance measures in phytosociological sampling. Ecology 37, 3: 451–460.
- DELARZE, R.; GONSETH, Y.; GALLAND, P. 1998: Guide des milieux naturels de Suisse. Ecologie, menaces, espèces caractéristiques. Delachaux et Niestlé, Lausanne, 415 p.
- LANDOLT, E. 1977: Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes ETH, Stiftung Rübél, Zürich, 64: 1–208.
- MASER, C.; ANDERSON, R.G.; CROMACK, K.; WILLIAMS, J.T.; MARTIN, R.E. 1979: Dead and down woody material. In: Thomas, J.W. (Ed.): Wildlife habitats in managed forests, the Blue Mountains of Oregon and Washington. Agric. Handb. No 556. US Department of Agriculture, Washington DC: 78–95.
- MOSER, D.; GYGAX, A.; BÄUMLER, B.; WYLER, N.; PALESE, R. 2002. Liste rouge des fougères et plantes à fleurs menacées de Suisse. Série OFEFP «L'Environnement pratique». Office fédéral de

- l'environnement, des forêts et du paysage, Berne; Centre du Réseau suisse de floristique, Chambésy; Conservatoire et Jardin botanique de la Ville de Genève, Chambésy, 118 p.
- MOOR, M. 1952: Die Fagion-Gesellschaften (Buchen, Tannen-Buchen und Ahornwälder) im Schweizer Jura. Beiträge zur geobotanischen Landesaufnahme der Schweiz 31: 1–200.
- RÉPUBLIQUE ET CANTON DE NEUCHÂTEL, DÉPARTEMENT DE LA GESTION DU TERRITOIRE, SERVICE DES FORÊTS 2003: Concept des réserves forestières. Chapitre 7 du Plan d'aménagement forestier, 27 p.
- RICHARD, J.-L. 1961: Les forêts acidophiles du Jura: étude phytosociologique et écologique. Beiträge zur geobotanischen Landesaufnahme der Schweiz 38: 1–164.
- RICHARD, J.-L. 1965: Extrait de la carte phytosociologique des forêts du canton de Neuchâtel. Beiträge zur geobotanischen Landesaufnahme der Schweiz 47: 1–43.
- SCHIEGG PASINELLI, K.; SUTER, W. 2000: Le bois mort – un habitat. Notice pour le praticien 33. Institut fédéral de recherches WSL, Birmensdorf, 6 p.
- SERVICE DES FORÊTS DU 3^E ARRONDISSEMENT 1959: Plan d'aménagement des forêts communales de Bevaix, 7ème révision, 1959. Non publié, 79 p.
- SERVICE DES FORÊTS DU 3^E ARRONDISSEMENT 1926: Plan d'aménagement des forêts communales de Bevaix et descriptions spéciales. Non publié, 56 p.
- SERVICE DES FORÊTS DU 3^E ARRONDISSEMENT 1886: Plan d'aménagement des forêts communales de Bevaix, aménagement initial, 1884. Non publié, 42 p.
- STIERLIN, H.-R.; BRÄNDLI, U.B.; HEROLD, A.; ZINGGLER, J. 1994: Inventaire forestier national suisse. Manuel d'instruction pour les relevés terrestres 1993–1995. Institut fédéral de recherche sur la forêt, la neige et le paysage, Birmensdorf, 208 S.
- WILDI, O.; ORLÓCI, L. 1996: Numerical exploration of community patterns, A guide to the use of Mulva-5, 2nd edition, SPB Academic Publishing, Amsterdam, 171 p.

Remerciements

Nous tenons à remercier Martine Gilliard, directrice des forêts de la commune de Bevaix ainsi que Pierre-Alain Gaille, forestier de cantonnement, pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail et le chaleureux accueil qu'ils nous ont réservé. Nous remercions également Eric Delachaux, du service des mensurations cadastrales, qui a pris le temps de mesurer et de matérialiser les mailles de manière permanente. Finalement, ce stage de terrain n'aurait pas été possible sans le soutien financier de la Conférence universitaire de Suisse occidentale (Cuso). Enfin, nos remerciements vont surtout aux étudiants qui ont fait de ce sujet leur campagne de terrain avec beaucoup de motivation et de bonne humeur: Nicolas Amann, Régina Camacho, Guillaume Colliac, Carla Delucchi, Alice Dubos, Eric Morard, Marc Mordasini, Isabelle Robillard et Agathe Schutzle.

Auteurs

Dr. PASCAL VITTOZ, Université de Lausanne, Département d'écologie et d'évolution (Faculté de biologie et médecine) et Faculté des géosciences et de l'environnement, Bâtiment de biologie, 1015 Lausanne, Suisse, E-mail: pascal.vittoz@unil.ch.

Prof. ALEXANDRE BUTTLER, WSL, Institut fédéral de recherches, Antenne romande, 1015 Lausanne, Suisse; EPFL, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Laboratoire des Systèmes écologiques, 1015 Lausanne, Suisse.

PASCAL JUNOD, ing. forestier EPFZ, Service des forêts du canton de Neuchâtel, Arrondissement forestier 3, 2016 Cortaillod, Suisse.