

Biodiversité et sylviculture : les leçons des placettes d'études *Sylvipaca*

par Anne WOLFF et Louis AMANDIER

Depuis les années 90, où le terme de biodiversité fait son apparition sur les différentes scènes politique et environnementale, le sujet a mobilisé de nombreux chercheurs.

L'étude présentée ici a le mérite de développer une analyse critique et rigoureuse concernant spécifiquement les forêts méditerranéennes. La méthodologie opératoire développée pourrait ainsi conduire à trouver des applications pratiques et aboutir à des recommandations sylvicoles plus respectueuses des processus naturels et de la biodiversité.

Au début des années 90, la biodiversité a fait irruption sur la scène politique. Les activités humaines sont de plus en plus évaluées à l'aune de leur impact sur l'environnement et le secteur forestier n'échappe pas à cette règle. La préservation de la biodiversité est ainsi officiellement affichée par la convention d'Helsinki (1995) comme l'un des critères de gestion durable des forêts. Les acteurs de la gestion forestière sont alors confrontés à un double défi : préserver la biodiversité et communiquer sur ce sujet auprès du reste de la société. En région Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA), cette communication est particulièrement importante du fait de l'importance des enjeux naturalistes, ainsi que de la grande fréquentation des forêts par le public.

Le sujet n'est pas des plus connus ni des plus faciles, ce qui justifie pleinement l'acquisition des connaissances scientifiques appropriées. Le Centre régional de la propriété forestière (CRPF) a donc décidé d'étudier l'impact de la sylviculture sur la biodiversité floristique et structurale à partir de son réseau de placettes, en faisant appel à Anne Wolff stagiaire FIF (Formation des ingénieurs forestiers) et à Michel Godron, professeur honoraire en phyto-écologie pour l'encadrement méthodologique.

Le réseau Sylvipaca revisité

Les placettes d'étude relèvent du programme Sylvipaca initié par le Serfob (Service régional de la forêt et du bois) en 1993, après constatation des carences de références sur la sylviculture des essences régionales. Il a été financé, plus ou moins régulièrement, sur contrat de plan Etat-Région. Aujourd'hui, le Centre régional de la propriété forestière (CRPF) de PACA en est le principal acteur (AMANDIER L. 2001).

Les mesures qui ont été effectuées jusqu'à présent sont donc essentiellement dendrométriques et l'étude de l'évolution de la biodiversité n'était pas inscrite dans les objectifs initiaux du programme ; ce n'est que récemment qu'elle est apparue comme un nouveau thème possible — et souhaitable — du réseau.

Le réseau progressivement mis en place par le CRPF entre 1993 et 2006 est aujourd'hui constitué de 33 sites. Sur chaque site est installée une placette sur une surface homogène du point de vue de son peuplement et de ses caractéristiques écologiques stationnelles, afin d'isoler l'effet du seul paramètre "sylviculture". Chaque placette comporte ainsi plusieurs placeaux, dont au moins un placeau témoin et un placeau sylvicole. Les placeaux sont de taille variable : de 740 à 4100 m², adaptée aux contraintes locales et à la densité des peuplements.

Le programme distingue deux niveaux d'investissement technique. Vingt-deux sites "Sylvipaca 1" comprennent seulement un placeau géré de la façon habituellement préconisée par les techniciens du CRPF et un placeau témoin ; douze sites "Sylvipaca 2" offrent plusieurs modalités de sylviculture (par exemple, plusieurs intensités d'éclaircie) en plus du témoin ; l'expérience est alors parfois répétée (sur le même site donc dans des conditions supposées homogènes pour tous les placeaux).

Toutes les données écologiques et dendrométriques relatives à ces placettes sont classées et conservées dans une base de données relationnelle qui fonctionne au CRPF avec le logiciel « 4^e dimension ». Les relevés floristiques effectués lors de cette étude y sont intégrés.

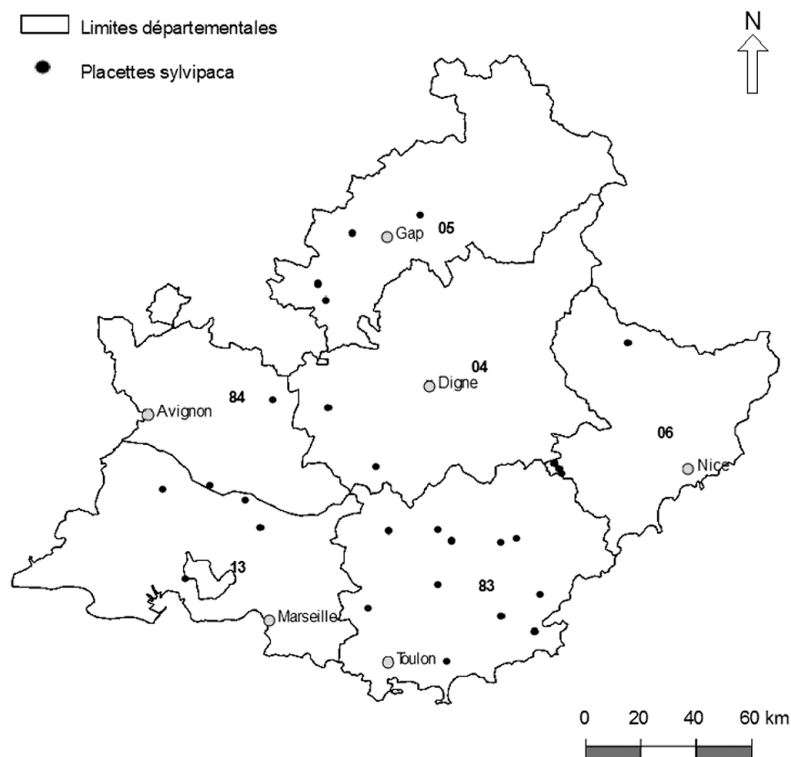
Un échantillonnage limité et contraignant

La carte de la Figure 1 montre la répartition géographique régionale des placettes. Les graphes en "camembert" (Cf. Fig. 2 et 3) donnent leur répartition au sein des étages de végétation et des grands types de peuplements.

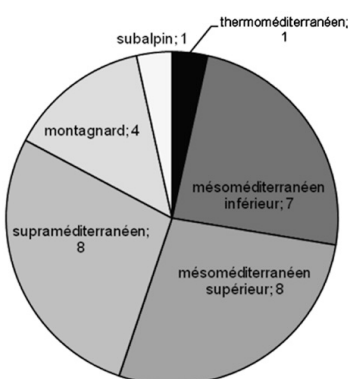
Les placettes sont choisies et localisées dans des contextes très différents en termes de peuplements, de gestions passées, d'événements récents et/ou de conditions écologiques. De même, les thèmes sylviculturaux abordés sont très divers (réponse des peuplements à différentes intensités d'éclaircie, régénération après incendie...). Cet échantillonnage n'est donc pas aléatoire ni systématique ; il dépend des opportunités, de l'accord des propriétaires et de l'adéquation de la placette à la thématique d'étude choisie par le CRPF. Enfin, l'installation et le suivi de ces placettes étant coûteux, leur nombre est limité par les moyens financiers et techniques. Le CRPF dispose donc d'un échantillonnage de placettes restreint et non probabiliste, n'autorisant pas, selon les postulats de base des statistiques, l'inférence depuis l'échantillon jusqu'à l'ensemble de la population.

Chaque placette peut être considérée comme une expérience unique pour laquelle on ne dispose pas de répétition. Dans un souci de rigueur scientifique, nous avons alors choisi de recourir à des méthodes

Fig. 1 :
Carte de répartition
régionale des placettes
Sylvipaca du CRPF



Distribution des sites étudiés dans les étages de végétation



Distribution des sites étudiés suivant l'essence dominante du peuplement

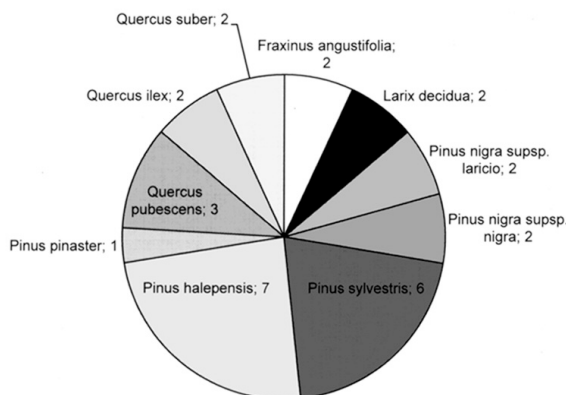


Fig. 2 (à gauche) : Distribution des sites étudiés dans les étages de végétation

Fig. 3 (à droite) : Distribution des sites étudiés suivant l'essence dominante du peuplement

d'analyse non inférentielles et non paramétriques peu connues et peu utilisées, mais très appropriées à notre problématique : comment évaluer la biodiversité floristique et comment la sylviculture l'influence-t-elle ? A défaut d'inférence globalisante, les placeaux témoin et sylvicole peuvent être comparés deux à deux sans concession à l'exigence scientifique.

Une technique de relevé adaptée à la précision requise

Cette comparaison, entre placeaux globalement assez "semblables", impose de disposer de données quantitatives, beaucoup plus précises que les coefficients d'abondance-dominance estimés pour les relevés phytosociologiques classiques. Nous avons ainsi testé plusieurs dispositifs de mesure des fréquences : transects de segments de droite et transects de carrés.

Ces transects sont alignés le long d'un axe rectiligne matérialisé par un ruban de chantier gradué tendu sur le sol, borné par des piquets permanents en fer à béton, bien enfoncés qui devraient permettre de réaliser les prochaines mesures exactement au même emplacement.

La méthode des segments et celle des carrés ont été comparées avec le relevé phytosociologique classique par régression linéaire entre les abondances-dominances et les fréquences calculées des espèces notées dans le relevé, interceptées par les segments ou par l'aire des carrés.

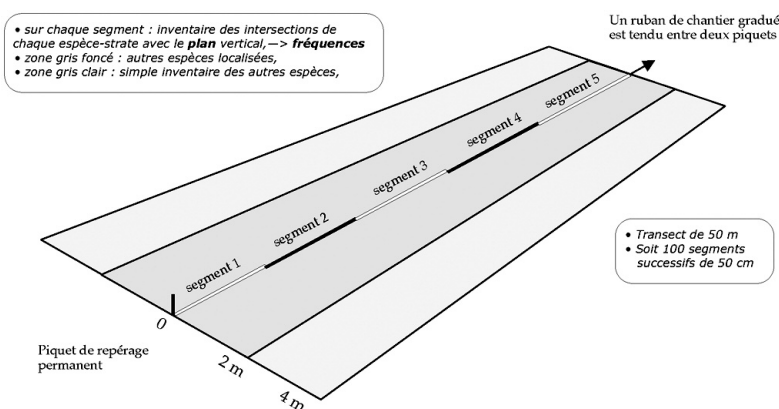
Pour les deux méthodes linéaires, les résultats sont très convergents lorsque la taille des segments ou des carrés correspond

bien au "grain" de la végétation (GODRON M. 1971). En effet, si les unités de base sont trop grandes, les fréquences de beaucoup d'espèces sont surestimées. Les carrés captent davantage d'espèces que les segments, mais les espèces supplémentaires font partie, en général, des moins fréquentes. Le temps de réalisation du relevé est en revanche, beaucoup plus important, ce qui nous a fait retenir, au terme de cette phase de mise au point de l'outil, la méthode des segments : en standard, des transects de 50 m comportant 100 segments successifs de 50 cm (Cf. Fig. 4).

Ce relevé est complété, comme le recommande M. GODRON (2008 com. verb.) par l'observation des espèces voisines de l'axe, en mesurant leur distance orthogonale à celui-ci, en regard du segment concerné. En pratique, ces espèces "voisines" ont été notées jusqu'à environ deux mètres de part et d'autre de l'axe, ce qui est aisément réalisable lors de l'exécution du relevé.

Les autres espèces, situées plus loin, ont également été inventoriées dans un espace

Fig. 4 : Dispositif d'échantillonnage de la biodiversité par transect de segments linéaires



Strates de hauteur	Code strate (vademecum du CNRS)	Codification utilisée ici
0 à 5 cm	I	1
5 à 25 cm	II	1
25 à 50 cm	III	2
50 cm à 1 m	IV	3
1 à 2 m	V	4
2 à 4 m	VI	5
4 à 8 m	VII	6
8 à 16 m	VIII	7
16 à 32 m	IX	8
plus de 32 m	X	8

Tab. I :
Codification des strates
de hauteur

correspondant, très grossièrement, à l'aire minimale de 400 m² communément admise par les phytosociologues régionaux pour les relevés forestiers.

Pour bien appréhender la structure verticale de la végétation, sur chacun des segments et pour chaque espèce, il a été noté la (ou les) strate(s) de hauteur dans laquelle elle était majoritairement présente selon la codification présentée dans le tableau I.

Le relevé fréquentiel se présente donc comme un tableau rempli de 0 et de 1 dans lequel chaque segment du transect est une colonne et chaque espèce-strate une ligne.

Une fois les relevés effectués sur le terrain, leur homogénéité est testée par un examen systématique de la courbe aire-espèces (nombre d'espèces en fonction de la surface prospectée) qui ne doit pas comporter de paliers, et aussi du diagramme de Raunkiaer (nombre d'espèces du relevé en fonction des

classes de fréquences) ; cet histogramme doit présenter une forme de J, de L ou de U. Si tel est le cas, on a essentiellement des espèces très fréquentes ou très rares qui n'entraînent pas d'hétérogénéisation de la végétation.

D'autres tests, non développés ici, sont également utilisés lorsque les deux premières observations induisent un doute quant à l'homogénéité du relevé.

Vue d'ensemble sur les données récoltées

Compte tenu du temps disponible pour les observations, 29 placettes ont été échantillonnées au moyen de 80 relevés durant le printemps et l'été 2008. 570 espèces végétales ont été identifiées au moyen de flores classiques, du site internet Tela Botanica et aussi de la *Flore Forestière Française*, tome III, Région méditerranéenne, fraîchement sortie de l'imprimerie.

Une AFC (analyse factorielle des correspondances) des relevés phytosociologiques a été réalisée dans un premier temps sur les placeaux. Elle permet de visionner les placeaux floristiquement proches et de les classer selon des gradients écologiques. Sans surprise, les placeaux apparaissent groupés par placettes, ce qui signifie que deux placeaux d'une même placette se trouvent très proches dans les projections de l'AFC. L'interprétation des premiers axes de l'AFC

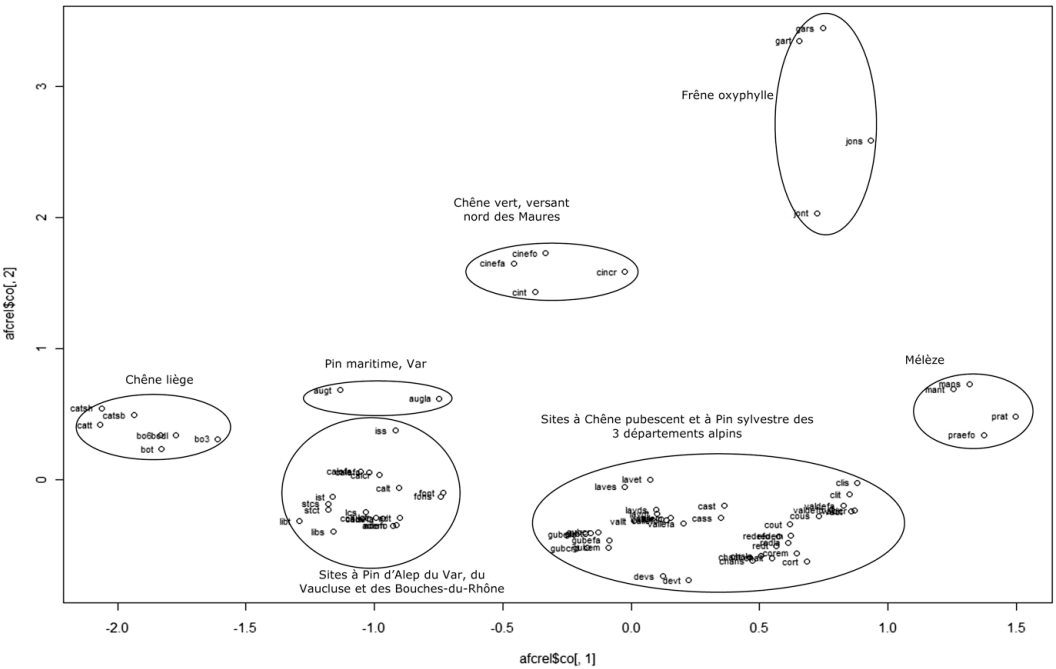


Fig. 5 :
Graphique de projection
de l'AFC selon les deux
premiers axes.

(Cf. Fig. 5) ne fait que refléter les caractéristiques de l'échantillonnage et les différences écologiques qui existent entre les placettes. Elle ne donne, en revanche, pas d'indication sur le potentiel impact de la sylviculture. En effet, le premier axe de l'AFC semble assez nettement lié aux étages de végétation, alors que le second axe, pourrait correspondre à un gradient de réserve en eau des sols. Ces observations sont cohérentes avec les deux principales contraintes écologiques régionales que sont la température et la disponibilité en eau, identifiées par Guy AUBERT dans le Schéma régional de gestion sylvicole (SRGS) proposé par le CRPF PACA. Les autres axes de l'AFC apparaissent très difficiles à interpréter car les placettes y sont beaucoup moins dispersées.

En revanche, l'étude des distances du Khi² entre les placeaux s'est révélée intéressante. Par régression linéaire, on a pu mettre en évidence que plus le traitement de la placette est ancien, plus les placeaux témoin et sylvicole sont floristiquement proches. On a également mis en évidence que plus le témoin est riche, plus la différence entre placeau témoin et placeau sylvicole est ténue.

Analyse site par site

La biodiversité est un concept complexe. On y distingue plusieurs composantes. Voir l'excellente analyse bibliographique réalisée par GOSSELIN & LAROUSSINIE en 2004.

La biodiversité "alpha"

La biodiversité dite "alpha" est celle que l'on étudie à l'échelle d'un groupement, d'un peuplement donné, d'un relevé. C'est une combinaison entre la richesse en espèces et la répartition plus ou moins équitable de ces espèces au sein de la biomasse, du biovolume ou encore du total des fréquences observées.

Trois indices de biodiversité "alpha" sont ici calculés par la formule de Brillouin (Cf. encadré ci-contre).

- Le premier est la **diversité verticale (Divvert)**. Il exprime la diversité de la répartition du biovolume dans les strates de la végétation et se calcule de la façon suivante :

$$\text{Biodiversité verticale (Divvert)} = \log_2(N! / \prod_{i=1}^S n_i!)$$

avec $N = \sum_{i=1}^S n_i$ et n_i = somme des fréquences spécifiques absolues dans la strate i .

L'indice de Brillouin-Margalef (in GODRON & KADIK, 2003)

$$B = (1/N) * \log_2(N! / \prod_{i=1}^S n_i!)$$

S = richesse spécifique = nombre d'espèces identifiées sur le relevé

N = effectif total du relevé (somme des fréquences absolues de toutes les espèces) = $\sum_{i=1}^S n_i$

n_i = abondance (nombre d'occurrence ou fréquence absolue) de l'espèce i

$n_i!$ = factorielle de $n_i = 1 * 2 * 3 * \dots * n_i$

p = probabilité de présence de l'espèce i estimée par la fréquence relative $p = n_i / N$.

Cet indice augmente lorsque le nombre d'espèces augmente. Mais, à nombres d'espèces égaux, il prend des valeurs maximales lorsque toutes les probabilités sont égales, c'est-à-dire lorsque toutes les espèces ont la même abondance (FRONTIER et PICHOD-VIALE, 1998). Il synthétise donc richesse spécifique et équitabilité.

Cet indice est une mesure exacte qui ne souffre pas du biais de la formule de Shannon (GODRON & KADIK, 2003). Il est utilisé à la suite, sous une forme un peu modifiée, en supprimant le coefficient $1/N$ car l'abondance totale N est aussi une composante de la biodiversité facile à intégrer de cette manière.

Cet indice augmente donc lorsque le nombre de strates augmente et lorsque les fréquences sont plus équitablement réparties entre les strates.

- La **diversité horizontale (Divhori)** se calcule de la même façon, mais ne considère pas cette fois que la répartition globale des espèces dans les strates, mais aussi leurs présences dans tous les segments du relevé.

$$\text{Biodiversité horizontale (Divhori)} = \log_2(N! / \prod_{i=1}^L n_i!)$$

avec $N = \sum_{i=1}^L n_i$ et n_i = fréquence absolue de "l'espèce-strate" i dans le transect.

L = nombre de lignes du tableau du relevé (une ligne correspond à une espèce et à une strate).

En effet, cet indice ne considère pas seulement les espèces, mais également les strates dans lesquelles elles se trouvent. En ce sens, l'indice "divhori" prend aussi en compte, dans une certaine mesure, la diversité verticale puisqu'à nombre d'espèces et à équitabilité égale, il sera plus fort dans un relevé contenant plus de strates, donc plus de lignes.

- La **diversité horizontale réduite** fait le même calcul mais sans considérer les strates.

$$\text{Biodiversité horizontale réduite (Divhorired)} = \log_2(N! / \prod_{i=1}^S n_i!)$$

avec $N = \sum_{i=1}^S n_i$ et n_i = fréquences absolues de l'espèce i dans le transect.

L'indice de Gini-Lorentz

La courbe de Gini-Lorentz est un diagramme rangs-fréquences.

Elle se construit de la façon suivante (GODRON et KADIK, 2003, GOSSELIN et LAROUSSINIE 2004) :

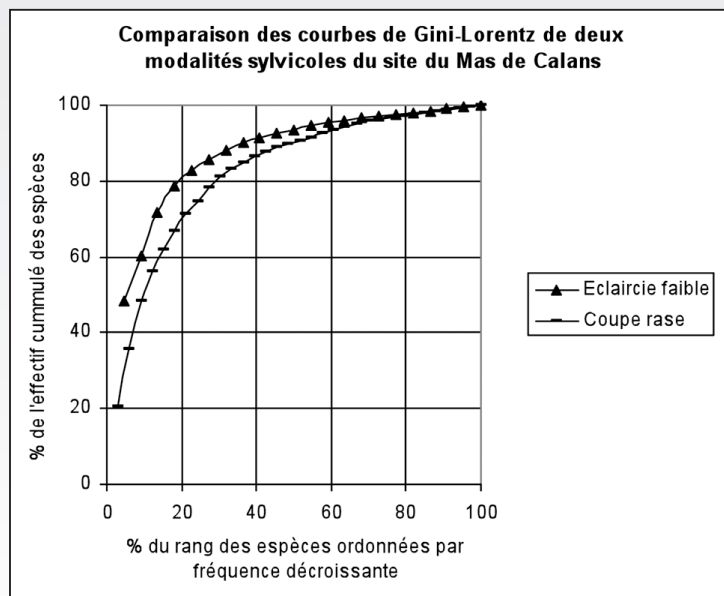
- les espèces sont ordonnées par ordre d'abondance croissante ou décroissante sur l'axe des abscisses et sont ramenées à 100 % ;
- l'axe des ordonnées représente les abondances relatives cumulées des espèces (donc également ramenées à 100 %).

Les coordonnées du point de rencontre entre la courbe et la deuxième diagonale (droite d'équation $y = 100 - x$) constituent l'indice de Gini-Lorentz. Cet indice est souvent proche de 20-80 (ce qui signifie que 20% des espèces occupent 80% de l'abondance totale), dans les relevés phytosociologiques tout comme dans les statistiques économiques lorsque les entreprises sont dans un contexte de concurrence équilibrée (GODRON et KADIK, 2003). La première diagonale (droite d'équation $y = x$) correspond à une communauté parfaitement équilibrée : le point de rencontre entre cette droite et la deuxième diagonale donne un indice de Gini-Lorentz de 50-50, ce qui signifie que 50% des espèces couvrent 50% de la surface ou encore que toutes les espèces ont la même abondance. En revanche, plus la courbe s'éloigne de la première diagonale, moins la communauté est équitable, plus la concurrence est forte entre les espèces et plus la végétation est dominée par un petit nombre d'espèces. Dans le cas où les espèces ont été ordonnées par abondance décroissante, on considère qu'une communauté est plus équitable qu'une autre si sa courbe de Gini-Lorentz est toujours au dessous de la courbe de l'autre, soit plus proche de la première diagonale (GOSSELIN et LAROUSSINIE, 2002).

Figure 6 :

Exemple du site du Mas de Calans (taillis de Chêne vert) : courbe de Gini-Lorentz des modalités "coupe rase" et "éclaircie faible".

La coupe rase présente une meilleure équité. Son indice de Gini, proche de 24-76 est plus équitable que celui de l'éclaircie faible qui est proche de 19-81. De plus, sa courbe est située au dessous de celle de l'éclaircie faible.



1 - L'équité exprime la répartition plus ou moins inégale des fréquences des différentes espèces dans le relevé.

Le nombre n_i est alors la fréquence de chacune des espèces, sans tenir compte de la répartition dans les strates. Cet indice revient à l'indice de Brillouin donné dans l'encadré page 203. C'est donc un indice de diversité qui augmente lorsque le nombre d'espèces augmente et lorsque l'équité¹ entre les espèces est plus grande.

- La **richesse en espèces-strates** interceptées par le transect (Riesstr), soit le nombre de lignes de notre relevé (L).

- La **richesse spécifique** du transect (Riesred), soit le nombre d'espèces interceptées par le transect (S).

- La **richesse spécifique totale** du relevé = S + espèces voisines du transect.

La biodiversité "bêta"

La biodiversité dite "bêta" est générée par les différences entre relevés. Elle est approchée par divers indices exprimant les ressemblances et différences tels que l'indice de similitude de Jacquart, la distance de Hamming, etc.

Nous avons utilisé ici une fonction très performante de la base ECHO, mise à notre disposition par Michel GODRON, qui renvoie, pour chaque placette, la liste des espèces dont la distribution des fréquences est significativement différente d'un plateau à l'autre. Cette fonction indique aussi le sens de la variation, si ces espèces sont plus ou moins présentes ou abondantes dans le plateau sylvicole que dans le témoin. Enfin, la dernière colonne indique la quantité d'information liée à la probabilité de la distribution des fréquences entre les deux plateaux (témoin et sylvicole) par la formule suivante : $I = \log_2(1/P)$ in FRONTIER et PICHOD-VIALE, 1998.

I étant la quantité d'information en sha (shannons) et P la probabilité du tableau de contingence construit avec les fréquences observées au sein des deux relevés comparés. P est calculé sur la base du "test exact" de Fisher. Ainsi, une quantité d'information supérieure à 7 sha équivaut à une probabilité inférieure à 1 %, ce qui signifie que l'événement est significatif au seuil de 1 % (> 4,6 sha pour 5%).

Ainsi les fréquences observées des espèces listées dans l'exemple du tableau II (site à Pin sylvestre du Clious) sont significativement différentes d'un relevé à l'autre.

Dans cet exemple, le calcul nous indique que *Bromus erectus*, *Daucus carota*, *Rubus*

idaeus, *Arrhenatherum elatius* et *Galium mollugo* sont significativement plus fréquents dans le plateau sylvicole que dans le plateau témoin. Au contraire, *Festuca ovina* et *Centaurea scabiosa* y sont significativement plus rares.

Quelques clés d’interprétation

Nous avons essayé de mettre en parallèle les résultats des différents sites, de composition floristique différente, en utilisant les traits de vie des espèces. Pour cela, nous avons utilisé les données de BASECO (GACHET *et al.*, 2005) et de la *Flore Forestière Française* (RAMEAU *et al.*, 2008).

Avant de mentionner quelques observations faites sur les placettes traitées, il convient de rappeler que les méthodes statistiques utilisées sont non inférentielles et ne permettent pas de généraliser les résultats obtenus à l’ensemble des peuplements forestiers de la région PACA.

Un exemple : le site de Laval

Sur ce site de l’étage supraméditerranéen du Bas-Verdon, une éclaircie a été réalisée au début de l’année 2000 dans une futaie adulte de Pin sylvestre.

Rappel : Les chiffres indiqués dans le tableau IV sont des indices exacts qui ne souffrent d’aucun biais car ils ne font pas appel à l’inférence statistique. En revanche, on ne peut pas affirmer que la différence observée entre ces valeurs exactes est statistiquement significative.

Par contre, les calculs de la biodiversité bêta permettent de pointer les différences floristiques significatives qui existent entre les deux plateaux (Cf. Tab III).

L’étude des différences floristiques, par la technique développée montre que *Pinus sylvestris* est significativement plus présent dans le plateau sylvicole que dans le témoin au seuil de 1 ‰ avec une information de 46 sha, qui est relativement élevée et qui

Espèces “différentielles”	Sens de la variation dans le plateau sylvicole par rapport au plateau témoin	Quantité d’information (en sha)
<i>Bromus erectus</i>	+	21
<i>Festuca ovina</i>	-	16
<i>Centaurea scabiosa</i>	-	11
<i>Daucus carota</i>	+	9
<i>Rubus idaeus</i>	+	9
<i>Arrhenatherum elatius</i>	+	9
<i>Galium mollugo</i>	+	8

traduit le fait que l’éclaircie pratiquée était assez forte.

La diversité verticale est plus élevée dans le plateau sylvicole. Cela pourrait être dû à la présence significativement plus importante d’arbustes tels que *Crataegus monogyna*, *Cornus sanguinea*, *Quercus pubescens*... qui ont vraisemblablement diversifié les strates moyennes suite à l’éclaircie.

Tab. II (ci-dessus) :
Fréquence des espèces dans le site à Pin sylvestre du Clious

Espèces “différentielles”	Sens de la variation dans le plateau sylvicole par rapport au plateau témoin	Quantité d’information (en sha)
<i>Pinus sylvestris</i>	-	46
<i>Rubus fruticosus</i>	-	19
<i>Rubus canescens</i>	+	17
<i>Carex halleriana</i>	-	16
<i>Carex flacca</i>	+	14
<i>Quercus pubescens</i>	+	13
<i>Aphyllanthes monspeliensis</i>	-	10
<i>Festuca heterophylla</i>	-	10
<i>Cornus sanguinea</i>	+	7
<i>Hippocrepis comosa</i>	+	6
<i>Crataegus monogyna</i>	+	5
Litière	-	5
<i>Prunus avium</i>	+	5
Bloc ou rocher	+	4
<i>Brachypodium pinnatum</i>	-	4
<i>Ligustrum vulgare</i>	-	4
<i>Phillyrea angustifolia</i>	+	4
<i>Quercus ilex</i>	+	4
<i>Rubia peregrina</i>	-	4
Sol nu	+	4

Tab. III (ci-dessus) :
Fréquence des espèces dans le site de Laval

Tab. IV (ci-contre) :
Indices de biodiversité alpha pour le site de Laval

Indices de biodiversité	Richesse spécifique (Riessred)	Richesse en espèces-strates (Riesstr)	Diversité horizontale réduite (Divhorired)	Diversité horizontale (Divhori)	Diversité verticale (Divvert)	Indice de Gini	Richesse spécifique totale
Témoin	34	52	1160	1396	1305	22 - 78	52
Plateau éclairci	41	64	1383	1896	1598	24 - 76	65

Voir illustration par le diagramme de la structure de la végétation (Cf. Fig. 7) qui exprime la répartition du biovolume selon les transects observés.

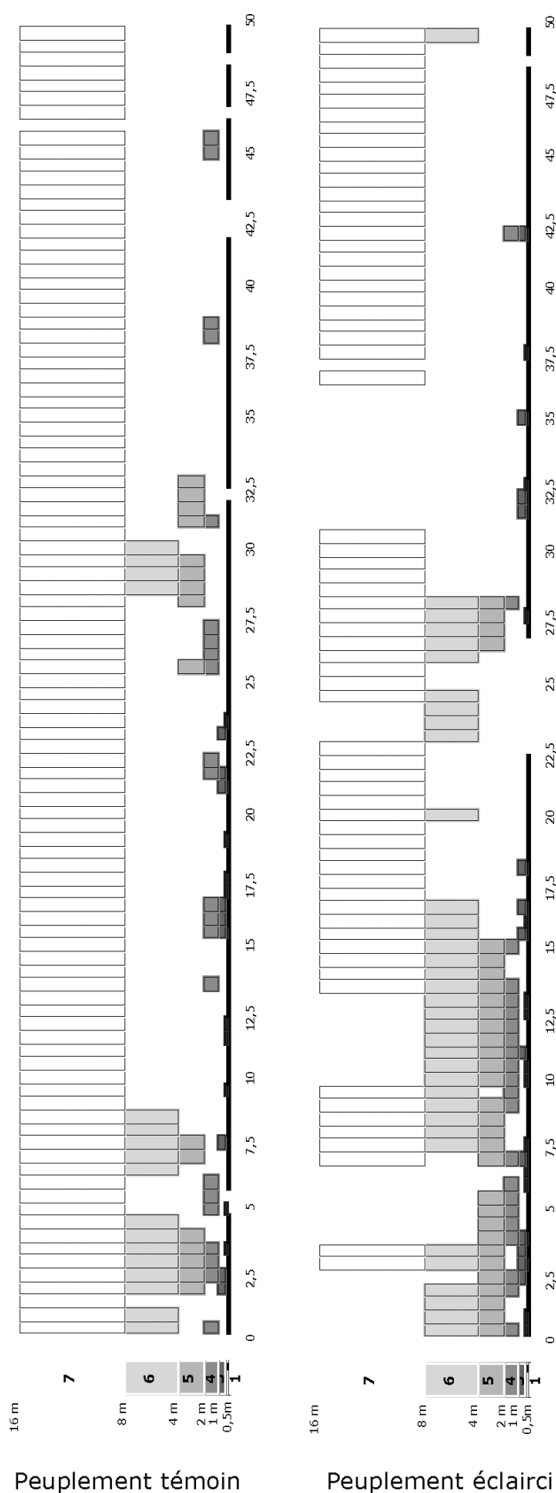
On remarque que les espèces significativement moins présentes dans le plateau éclairci sont bien souvent des espèces tolérantes à l'ombre (*Rubus fruticosus*, *Carex halleriana*, *Festuca heterophylla*, *Rubia perigrina*...). Il est possible que les espèces plus

héliophiles aient été en mesure de les concurrencer dans le plateau éclairci, ce qui expliquerait que l'indice de Gini indique une plus grande équitabilité dans ce plateau.

La diversité horizontale réduite est plus importante dans le plateau sylvicole du fait du plus grand nombre d'espèces et de la meilleure équitabilité.

Enfin, la diversité horizontale augmente logiquement puisque qu'elle reflète à la fois la diversité horizontale réduite et la diversité verticale.

Fig. 7 :
Diagramme
de la structure
de la végétation
du site de Laval



Biodiversité et sylviculture

D'une manière générale, les indices de diversité calculés ont montré que, les plateaux sylvicoles ayant subi des éclaircies sont plus riches en espèces, du fait d'un plus grand nombre d'espèces héliophiles. Les indices de Gini-Lorentz calculés montrent aussi que les fréquences des espèces sont plus égales (situation plus équitable) dans les plateaux sylvicoles. Cela pourrait s'expliquer par l'augmentation des fréquences d'espèces héliophiles parfois présentes mais dominées dans les témoins. Il en résulte assez logiquement que les indices de "diversité horizontale réduite" calculés sont plus élevés dans les plateaux sylvicoles, dans la plupart des cas. Notons toutefois que les éclaircies les plus fortes génèrent souvent les indices les plus forts. En effet, la diversité apportée par l'intervention semble d'autant plus importante que la lumière est abondante.

Les différences observées sont d'autant plus spectaculaires que le milieu est sombre et pauvre en espèces au départ. Ainsi, dans les peuplements denses de Chêne vert étudiés, la biodiversité s'accroît fortement dans les plateaux sylvicoles.

Au contraire, dans les peuplements de Chêne pubescent (naturellement plus clairs), les différences observées entre plateaux témoins et plateaux sylvicoles sont moins importantes.

Ainsi l'effet des éclaircies sur la biodiversité serait fonction, dans les cas étudiés, de l'intensité du traitement et de la situation initiale.

Les indices de diversité verticale ne présentent pas de tendance aussi nette. Leur valeur pourrait être liée au temps écoulé depuis l'intervention. En effet, les plateaux

sylvicoles, pour lesquels l'éclaircie est récente, montrent souvent une diversité verticale relativement faible, ce qui pourrait s'expliquer par le prélèvement dans les hautes strates entraînant un déséquilibre avec les strates basses qui ne font l'objet d'aucun prélèvement. Au contraire, dans le cas d'éclaircies assez fortes, et lorsque cette éclaircie est relativement ancienne, les strates moyennes et hautes ont pu être recolonisées par les espèces du sous-étage, entraînant une hausse de la diversité verticale (voir exemple en figure 7).

Le cas particulier des coupes rases

Les coupes rases présentent une diversité verticale très réduite, mais une richesse spécifique considérable du fait de la présence d'un grand nombre d'espèces héliophiles. On observe une grande différence de composition floristique entre, d'une part la coupe rase et, d'autre part, le témoin et les placeaux éclaircis, même fortement. Cet "effet de seuil" pourrait s'expliquer par la concurrence des arbres conservés qui s'exerce pour l'eau et qui reste très prégnante, même aux faibles densités, tandis qu'elle disparaît momentanément du fait de la coupe rase — en attendant l'émergence des rejets (ou des semis). Cette période de "non concurrence" est mise à profit par quantité d'espèces héliophiles de la séquence de végétation ou encore par des rudérales plus banales qui envahissent temporairement le plateau dénudé.

La modification assez sensible du milieu induite par la coupe rase, se manifeste ainsi par une augmentation simultanée de la biodiversité alpha et de la biodiversité bêta. Rappelons toutefois que, pour ces calculs, les espèces sont traitées de manière égalitaire, sans tenir compte de critères qualitatifs tels que leur valeur patrimoniale.

La flore : un indicateur unique ?

Le problème posé : comparaison de placeaux témoins et de placeaux traités par la sylviculture, conduit, assez logiquement à utiliser l'indicateur floristique. En effet, l'aire minimale des groupements végétaux forestiers, voisine de 4 ares, autorise cet usage au sein de petites superficies homogènes de 10 à 15 ares correspondant aux dimensions des sites.

Il est vrai que d'autres groupes taxonomiques : champignons, insectes saproxylophages (Coléoptères, Syrphidés...) sont de meilleurs indicateurs de la biodiversité globale des écosystèmes (LARRIEU L. 2007), mais les placettes Sylvipaca sont bien trop petites pour leur échantillonnage. Si des spécialistes sont capables de proposer des indicateurs biologiques susceptibles d'être sensibles aux interventions sylvicoles, à l'échelle dimensionnelle des placeaux, ils seront les bienvenus sur le réseau du CRPF.

Conclusion et perspectives

Les relevés ont été réalisés sur une courte période du printemps 2008. Les méthodes de calcul de biodiversité et de comparaison synchrone ici proposées pourront s'appliquer encore plus efficacement à des suivis diachroniques, en comparant les relevés réalisés en 2008 avec ceux qui pourront l'être dans quelques années. L'interprétation serait alors effectuée en relation avec la cinétique des évolutions des peuplements, mais aussi en intégrant des indices du changement climatique...

Il serait intéressant d'étudier en parallèle la biodiversité de peuplements forestiers méditerranéens naturels ou semi-naturels très peu représentés en France. Cette comparaison avec les peuplements gérés pourrait aboutir à des recommandations sylvicoles plus respectueuses des processus naturels et de la biodiversité. En effet, certaines interventions sylvicoles sont susceptibles d'accélérer la maturation des écosystèmes : grossissement plus rapide des arbres pionniers, stimulation de la croissance des dryades, création d'hétérogénéité...

La méthodologie assez opératoire ici développée pourrait aussi trouver des applications pratiques pour le suivi d'habitats particuliers : "Natura 2000" ou autres, où les opérations de conservation ou de gestion nécessitent des évaluations périodiques très précises.

A.W., L.A.

Anne WOLFF
élève ingénieur
FIF-Nancy
Stagiaire
au CRPF-PACA

Louis AMANDIER
ingénieur
du CRPF-PACA
7 Impasse Ricard-
Digne 13004 Marseille
Mél : louis.
amandier@crpf.fr

Bibliographie

- AMANDIER (L.).—Mise en place de références en sylviculture : le programme SYLVIPACA.—*Forêt Méditerranéenne*, 2001, T XXV, n°1 p. 347-356.
- AUBIN (I.), GACHET (S.), MESSIER (C.), BOUCHARD (A.).—How resilient are northern hardwood forests to human disturbance? An evaluation using plant functional group approach.—*Ecoscience*, 2007, vol. 14, p. 259–271.
- BARTHOD (C.).—Politique forestière et patrimoines naturels forestiers.—*Revue Forestière Française*, 2001, numéro spécial, p. 29–36.
- BRUCIAMACCHIE (M.), GRANDJEAN (G.), BEDEL (F.), PIERRAT (R.).—Comparaison de différents indices de mesure de la diversité dans deux massifs forestiers des Vosges du Nord.—*Annales scientifiques de la réserve de la biosphère des Vosges du Nord*, 1999, Tome 7, p.7-34.
- BRUNET (J.), FALKENGREN-GRERUP (U.), TYLER (G.).—Herb layer vegetation of south Swedish beech and oak forests-effects of management and soil acidity during one decade.—*Forest Ecology and Management*, 1995, vol.88, p.259-272.
- Centre Régional de la Propriété Forestière de Provence-Alpes-Côte d'Azur.—*Schéma Régional de Gestion Sylvicole Provence-Alpes-Côte d'Azur*.—cédérom.
- DAGNELIE (P.).—*Statistique Théorique et Appliquée, Tome 1*.—Gembloux (Belgique) : Les Presses Agronomiques de Gembloux, 1992.—492 p.
- FRONTIER (S.), PICHOD-VIALE (D.).—*Écosystèmes : structure, fonctionnement, évolution*. 2e édition.—Paris : Dunod, 1998.—447 p.
- FRONTIER (S.).—*Stratégies d'échantillonnage en écologie*.—Paris : Masson, 1983.—494 p. (Collection d'écologie N°17).
- GACHET (S.), VELA (E.), TATONI (T.).—BASECO: a floristic and ecological database of Mediterranean French flora.—*Biodiversity and Conservation*, 2005, vol. 14, p. 1023–1034.
- GODRON (M.), DAGET (P.), EMBERGER (L.).—*Vade-mecum pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu (extrait du « code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu »)*.—Paris : Centre national de la recherche scientifique, 1969.—170 p.
- GODRON (M.), KADIK (L.).—La mesure de la biodiversité spatiale. —*Symbioses*, 2003, numéro spécial, p. 67-75.
- GODRON (M.).—*Écologie et évolution du monde vivant*.—Ed. CILF, 2007, 181 p.
- GODRON (M.).—*Essai sur une approche probabiliste de l'écologie des végétaux*.—Montpellier : Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 1971.—247 p. (Thèse).
- GOSSELIN (M.), LAROUSSINIE (O.).—*Biodiversité et gestion forestière : connaître pour préserver. Synthèse bibliographique*.—Antony : CEMAGREF-éditions, 2004.—220 p. + cédérom.
- LARRIERU (L.) et al.—*Biodiversité des forêts de montagne et outils pour leur gestion durable : exemple du groupement forestier de Hèches (vallée de la Neste, Hautes-Pyrénées)*. Mémoire ingénieur INP Toulouse, 2007.—79 p. + 9 annexes.
- LEGENDRE (P.), LEGENDRE (L.).—*Numerical Ecology*.—Amsterdam : Elsevier, 2000.—53 p.
- RAMEAU (J.-C.), MANSION (D.), DUMÉ (G.), GAUBERVILLE (C.).—*Flore Forestière Française. Région méditerranéenne*.—IDF, 2008.—2426 p.

Résumé

A partir du réseau de placettes du CRPF PACA, l'impact de la sylviculture sur la biodiversité est appréhendé par une méthode de relevé par transects linéaires qui permet une analyse assez précise de la végétation.

L'échantillon de placettes ne satisfaisant pas les conditions d'application des statistiques inférentielles, des calculs non paramétriques parviennent à déceler des variations significatives de composition et de structure végétale entre les différents traitements sylvicoles.

Dans la plupart des cas, les placeaux traités présentent de plus grands indices de diversité que les témoins, mais une analyse diachronique sera utile pour préciser l'interprétation de ces résultats.

Summary

Biodiversity and silviculture: insights from the Sylvipaca study plots

Based on a network of trial plots run by the CRPF (association of private forest landholders) in the Provence-Alpes Côte-d'Azur region (S.-E. France), the impact of silviculture on biodiversity was assessed with a survey method using linear transects which permit a quite accurate analysis of the vegetation. As the plots taken together did not meet the requirements for using inferential statistics, calculations were made to highlight significant differences in the structure and composition of the plant cover in the light of silvicultural treatment.

Most units under silviculture displayed higher diversity indexes than control units but analysis over time remains essential for an exact understanding of the results.