

Apports des bases de données de valeurs indicatrices pour la validation et l'amélioration de groupes d'espèces indicatrices forestières

Sylvain Gaudin

CRPF de Champagne-Ardenne
Maison régionale de la forêt et du bois – Complexe agricole du Mont-Bernard – Route de Suippes
51000 Châlons-en-Champagne
sylvain.gaudin@crpf.fr

*Summary and keywords
at the end of this article.*

Depuis plusieurs décennies, les botanistes et les écologues tentent par différentes méthodes de mettre en évidence, de formaliser et de valoriser les relations entre les plantes et les milieux sur lesquels elles poussent. Cet article a pour finalité de décrire et comparer quelques approches mises en œuvre dans le cas de plantes forestières. Les résultats obtenus sont-ils cohérents ? Comment les bases de données de valeurs indicatrices peuvent-elles aider à la construction de groupes écologiques, utiles aux écologues et aux gestionnaires forestiers ?

La flore est indicatrice des conditions de milieu

Un constat ancien

Tout botaniste qui réalise une série de relevés remarque rapidement que certaines plantes sont souvent rencontrées ensemble. Ces affinités entre plantes résultent d'exigences

Résumé. La flore apporte de nombreuses indications sur les conditions écologiques (richesse chimique et humidité du sol, climat, etc.) des milieux où elle pousse. Plusieurs méthodes existent pour formaliser les relations entre plantes et biotope. Les groupes écologiques rassemblent des plantes ayant les mêmes affinités. Les valeurs indicatrices attribuées à chaque plante positionnent celle-ci par rapport à différents descripteurs du milieu. Cet article teste la compatibilité entre une approche par groupes écologiques et une par valeurs indicatrices, sur un jeu de plantes forestières d'Argonne et démontre qu'elles sont largement convergentes. Ainsi, il est possible de les mettre en relation, notamment pour valider et améliorer la constitution de groupes d'espèces indicatrices forestières.

Mots-clés : Phytoécologie, forêt, catalogue des stations forestières, station forestière, flore, valeur indicatrice, EcoPlant, Coefficients d'Ellenberg, groupe écologique, Argonne.

Quelques approches pour visualiser les relations entre les plantes et leur biotope

Les plantes ayant le plus souvent des exigences spécifiques par rapport aux conditions de milieu, plusieurs approches ont été développées pour transcrire leur comportement par rapport à un ou plusieurs facteurs écologiques. Cela a par exemple été fait pour les plantes forestières avec la définition

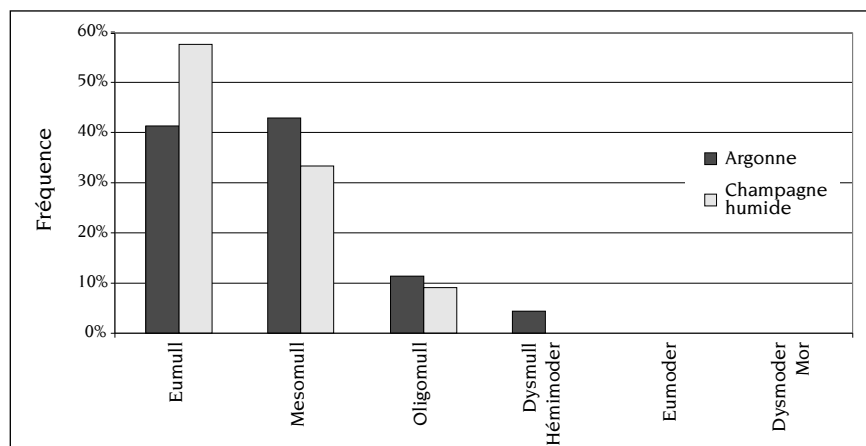


Figure 1. Profil écologique (fréquence par forme d'humus) de l'Épiaire des bois (Stachys sylvatica L.) en Argonne et en Champagne humide, d'après Gaudin (2008).

de profils écologiques (Le Tacon et Timbal, 1973). Un profil écologique se construit en représentant la fréquence d'apparition de la plante en fonction d'un facteur écologique (pluviométrie, texture, humus, etc.), (Gounot, 1958 in Guinochet, 1973). Un exemple de profil écologique est présenté en figure 1.

La fréquence d'une plante n'étant jamais dépendante d'un seul facteur, d'autres approches ont été développées, notamment dans la flore forestière française (Rameau *et al.*, 1989). L'**écogramme** (dont un exemple est donné en figure 2) schématise le domaine de présence de la plante en fonction de deux gradients fondamentaux pour une majorité des plantes forestières : le degré d'acidité et le niveau trophique, d'une part et l'économie en eau (niveau hydrique), d'autre part.

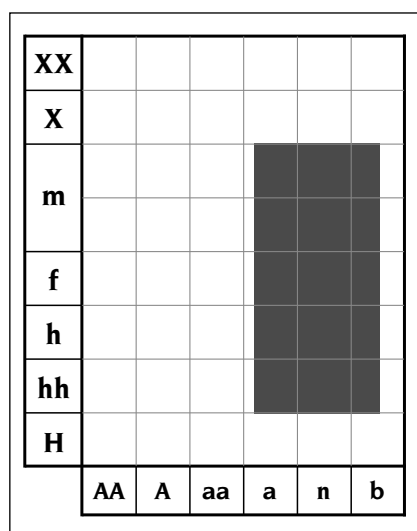


Figure 2. Écogramme de l'épiaire des bois (*Stachys sylvatica* L.), d'après Rameau *et al.*, (1989). Axe vertical allant de sol très sec (XX) à sol très engorgé (H) et axe horizontal allant de sol très acide (AA) à sol calcaire (b).

Cette approche par écogramme permet de traiter des relevés. En effet, un logiciel nommé Écoflore (Bartoli *et al.*, 2000) s'appuie sur la notion de groupe écologique et celle d'écogramme pour obtenir une position sur l'écogramme correspondant à un relevé de végétation. Cette approche a été validée sur de nombreuses données (Bruno et Bartoli, 2001).

Aux deux axes définis par l'écogramme, la classification écologique des stations anglaises en ajou-

te un troisième fondé sur le climat (Wilson *et al.*, 2001). Ainsi, la représentation graphique n'est plus un carré, mais un cube. Bien entendu, de nombreux autres axes pourraient être définis pour chaque plante (lumière, humidité atmosphérique, etc.), mais il devient alors difficile de donner une représentation graphique simple, tenant compte des interactions entre facteurs.

Dans le cadre de la connaissance de l'écologie des forêts et de leur gestion, deux approches dominant pour prendre en compte et utiliser le rôle indicateur de la flore : une par la création de groupes écologiques, l'autre par l'utilisation de valeurs indicatrices. Ces deux méthodes vont être détaillées dans cet article. À l'aide d'un cas concret, leur cohérence va être analysée. L'utilisation des valeurs indicatrices pour affiner et améliorer des groupes écologiques sera également étudiée.

Les groupes écologiques

La notion de groupe écologique remonte à Duvigneaud, en 1946 (Duchauffour, 1960; Guinochet, 1973). Un groupe écologique est un *ensemble d'espèces, végétales ou animales ayant approximativement la même amplitude par rapport à un ou plusieurs facteurs ou descripteurs écologiques* (Bastien et Gauberville, 2011). Dans le cadre de la construction ou de l'utilisation de catalogues et guides de stations, ce sont des groupes d'**espèces indicatrices** ou **groupes écologiques statistiques** qui sont utilisés. Un tel groupe est défini comme un *ensemble d'espèces corrélé avec certains facteurs écologiques, construit sur une approche statistique, basé sur la définition de seuils écologiques pour chaque espèce, la construction de profils écologiques et la mise en œuvre de tests d'homogénéité des fréquences des espèces* (Bastien et Gauberville, 2011). Dans ce qui suit, groupe écologique sera pris au sens de groupes d'espèces indicatrices.

Si la notion de groupe écologique est beaucoup utilisée en écologie forestière, elle concerne aussi d'autres milieux. Par exem-

ple, des groupes écologiques ont été construits pour des plantes de mardelles, par Thoen et Hérault (2006).

Les groupes de plantes indicatrices sont utilisés pour déterminer et décrire les stations forestières

Depuis de nombreuses années, les groupes d'espèces indicatrices sont utilisés pour qualifier et différencier les stations forestières (Becker, 1973; Brêthes, 1989). Leur usage est désormais habituel chez les praticiens forestiers à travers des catalogues de stations forestières (Pinel, 1990; Bailly, 1992; Thévenin, 1992) ou de guides simplifiés pour la détermination des stations et le choix des essences (Perrier *et al.*, 2007; Carnot-Milard et Gaudin, 2010).

Concrètement, les groupes d'espèces sont utilisés dans les clefs de détermination, par exemple, dans la clef du guide des stations de l'Argonne (Perrier *et al.*, 2007) : *Humus de type mésomull à hémimoder, présence d'au moins une plante du groupe des acidiphiles et absence des plantes du groupe des hygrouneutritrophiles*. La présence ou la fréquence des groupes écologiques aide à valider le diagnostic stationnel de terrain et à qualifier le potentiel de la station (figure 3).

La pratique montre que dans des régions naturelles voisines, la liste des espèces présentes et leur classement en groupes d'espèces indicatrices sont très proches. Cela a donc conduit à la publication de guides d'espèces indicatrices à valeur régionale (Bailly, 2001; Coulmier, 2004), sans rattachement à un catalogue ou un guide de stations.

Comment construire des groupes d'espèces indicatrices?

Choix des plantes

Les groupes d'espèces indicatrices doivent être opérationnels et efficaces. Pour cela, les espèces retenues doivent être fréquentes dans les milieux qu'elles caractérisent et faciles à identifier une grande

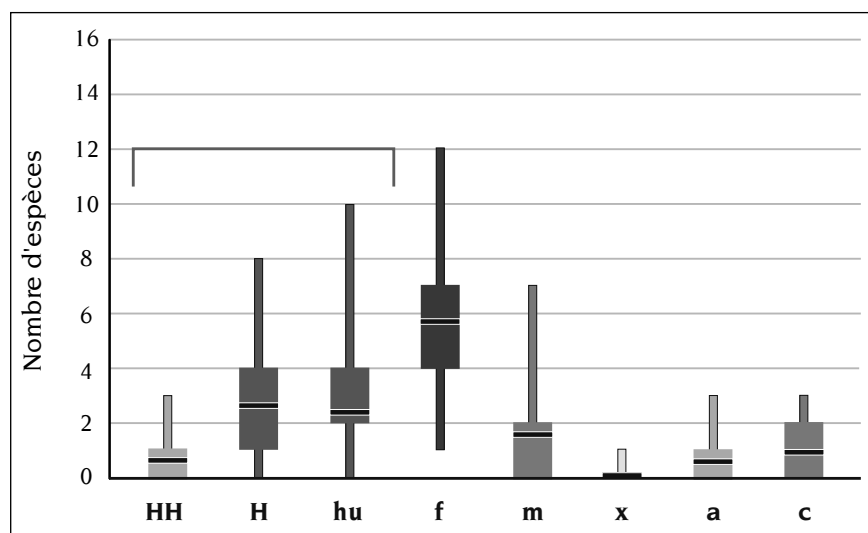


Figure 3. Distribution du nombre d'espèces par groupe d'espèces indicatrices sur la station A (station marécageuse) du guide des milieux alluviaux (Carnnot-Milard et Gaudin, 2010). La barre sombre horizontale correspond à la moyenne, la boîte à l'écart interquartile et les extrémités au minimum et au maximum. Ainsi, il y a par exemple pour le groupe H, en moyenne 2,6 espèces, au minimum 0 et au maximum 8 espèces et dans 50 % des cas, leur nombre est compris entre 1 et 4.

Les groupes d'espèces indicatrices sont : HH : plantes des milieux très engorgés, H : plantes des milieux engorgés, hu : plantes des milieux humides, f : plantes des milieux frais, m : plantes des milieux mésophiles (dont a : plantes des milieux acides, n : plantes des milieux neutres et c : plantes des milieux calcaires) et x : plantes des milieux secs. Les trois premiers groupes (HH, H et hu) sont discriminants pour la détermination de ce type de station.

partie de l'année (Forêt et Dumé, 2006). Les groupes d'espèces à amplitude écologique étroite sont préférés dans la mesure où ils donnent des informations précises et un fort pouvoir de diagnostic.

Même s'il n'est pas possible d'emblée de vérifier que toutes les plantes répondent aux conditions énoncées ci-dessus, elles doivent être vérifiées au cours des analyses accompagnant la construction des groupes. Il est ainsi possible d'éliminer des plantes au fur et à mesure de l'établissement des groupes en fonction de critères objectifs (trop faible fréquence, nombreuses autres plantes dans le même groupe répondant mieux à tous les critères, amplitude écologique trop grande, difficultés de détermination botanique ou confusion avec d'autres taxons proches...).

Méthodes utilisables

* Par la création de profil écologique

Initialement, il a été proposé de créer des groupes écologiques statistiques par la création d'un profil écologique pour chaque espèce et chaque facteur écologique (Gounot, 1969 in Guinochet, 1973). Les

groupes écologiques étaient ensuite définis par agrégation de plantes ayant des profils écologiques semblables. Cette méthode semble désormais tombée en désuétude, vraisemblablement en raison du temps nécessaire pour établir tous les profils et de l'avènement des analyses multivariées.

* Par la réalisation d'analyses multivariées

La création de groupes de plantes indicatrices peut également se faire par la définition de groupes écosociologiques. Il s'agit dans ce cas de regrouper ensemble des espèces ayant des affinités sociologiques puis d'expliquer ensuite les facteurs écologiques présidant à leur regroupement.

Les analyses multivariées que sont l'analyse factorielle des correspondances (AFC) et la classification ascendante hiérarchique (CAH) sont couramment utilisées pour obtenir des groupes fiables (Brêthes, 1989). L'AFC permet de visualiser le positionnement écologique des plantes et de déterminer les principaux gradients stationnels de la zone d'étude. Cependant, ce type d'analyse peut aussi faire apparaître des axes qui ne sont pas

stationnels, mais sylvoicoles (opposition entre des relevés effectués en futaie et en taillis sous futaie; Becker, 1979). La CAH aide à définir les groupes de manière à les rendre les plus homogènes possibles. Même si elle est moins connue et utilisée, l'analyse factorielle discriminante (AFD) est un bon outil pour juger de la solidité des groupes établis et pour tester des changements d'affectations.

Il est parfois facile de définir les facteurs écologiques conduisant à la construction d'un groupe. Cela peut être réalisé en cherchant des corrélations entre la présence des groupes et des facteurs du milieu (pH, engorgement des sols, exposition, etc.) ou en réalisant des profils écologiques (Brêthes, 1989). Il est d'autres fois plus compliqué de nommer un groupe, par exemple pour les plantes poussant sur les versants sud de sols calcaires. Dans ce cas, l'appartenance au groupe peut résulter d'une affinité pour la sécheresse, de la tolérance à la carbonatation du sol ou d'un besoin de chaleur, ces trois facteurs étant imbriqués (Le Tacon et Timbal, 1973). Le comportement écologique des espèces assez peu représentées, ou ayant un comportement particulier (par exemple les espèces hygroscoaphiles, qui sont dans nos contrées de plaine rares et peu nombreuses, *Actaea spicata*, *Polysticum aculeatum*, *Phyllitis scolopendrium* et encore plus rarement *Lunaria rediviva*) est parfois délicat à percevoir ou à interpréter dans les analyses multivariées. C'est une des limites de la méthode.

* Par synthèse de groupes écologiques existants

Les deux méthodes précédentes nécessitent de disposer d'une base de données conséquente de relevés réalisés dans la zone d'étude. Comme les études stationnelles sont conduites de longue date et que le caractère indicateur des plantes forestières est assez bien cerné (Rameau *et al.*, 1989), il est tentant de se passer de relevés et de construire des groupes écologiques en synthétisant les acquis d'études précé-

dentes (Forêt et Dumé, 2006). C'est par exemple ce qui a été fait pour le guide des stations de la Champagne humide (Milard, 2002). Ce sont principalement les catalogues de stations couvrant la zone d'étude (Rameau, 1987 et Pinel, 1990) qui ont été mis à contribution. Les données de niveau national comme celles de la flore forestière française (Rameau *et al.*, 1989) ou le logiciel Écoflore peuvent également être utilisés, mais avec discernement. En effet, les informations autécologiques qui y sont présentes ont une valeur nationale et elles négligent des comportements locaux qui peuvent avoir leur importance et donner une information plus précise (Le Tacon et Timbal, 1972; Bartoli *et al.*, 2000; Forêt et Dumé, 2006).

La qualité de ce travail de synthèse dépend notamment de la pertinence des données initiales et du savoir-faire et des compétences de l'opérateur. Il est donc important de les valider et de les tester pour vérifier leur efficacité et leur cohérence.

Exemple de la méthode utilisée pour construire les groupes de plantes indicatrices en Argonne

La figure 4 présente le cheminement suivi pour la construction des groupes de plantes indicatrices en Argonne (Perrier *et al.*, 2007). La construction des groupes s'est faite principalement à l'aide d'analyses multivariées en partant d'un tableau initial de 95 plantes et 237 relevés en présence-absence. Tout au long de l'élaboration des groupes, il se fait des retours en arrière en fonction des résultats obtenus. Ainsi, l'AFC peut conduire à revoir le tableau initial et à supprimer des plantes de très faible fréquence au positionnement très excentré sur un plan factorielⁱ. Les groupes suggérés par la CAH sont matérialisés sur le plan factoriel de l'AFC pour vérifier leur homogénéité et connaître leur positionnement écologique.

ⁱ – Cependant, le retrait de plantes de l'analyse doit être mûrement réfléchi afin d'éviter par exemple d'ôter des plantes rares, mais fortement indicatrices.

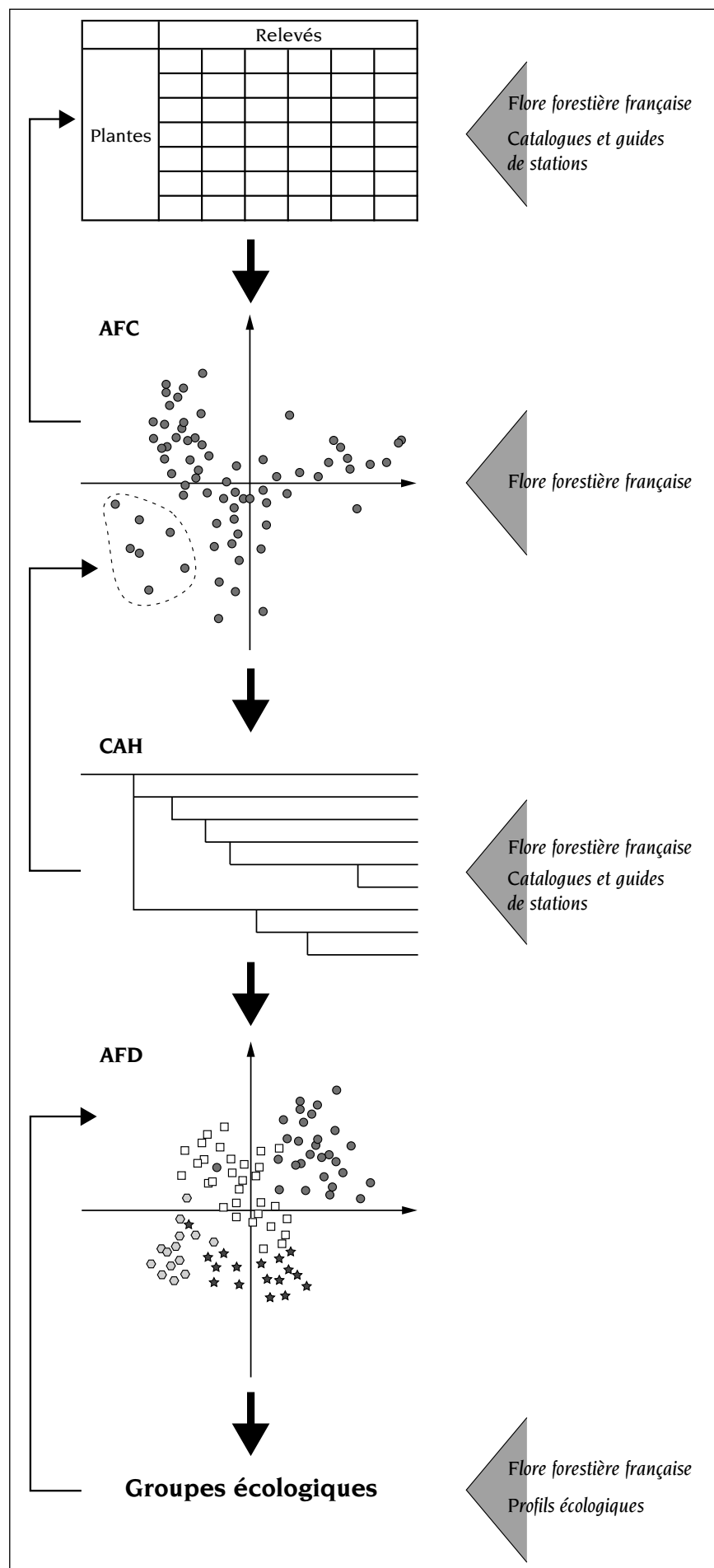


Figure 4. Schéma présentant la méthode de création de groupes d'espèces indicatrices en Argonne (Perrier *et al.*, 2007) à partir d'un tableau relevé x plantes en présence-absence. Les flèches épaisses traduisent le cheminement principal, les flèches fines, les rétroactions. Les triangles grisés figurent les apports complémentaires par rapport à la méthode principale reposant sur des analyses multivariées.

L'AFD propose le plus souvent le reclassement de quelques plantes. Ces propositions ont ainsi parfois été testées pour vérifier si ces propositions étaient pertinentes. Plusieurs boucles de rétroaction (nouveau classement puis AFD) ont été réalisées jusqu'à obtenir des groupes suffisamment stables ou à trancher en cas de bascule perpétuelle d'une plante d'un groupe à l'autre.

Au-delà de la stricte utilisation d'analyses multivariées, plusieurs documents ou outils ont été mis à contribution pour obtenir les meilleurs groupes écologiques possibles. La flore forestière française (Rameau *et al.*, 1989) intervient à chaque étape :

- lors de la sélection des espèces intégrées dans le tableau initial (en éliminant d'emblée les espèces à trop large amplitude, en différenciant des écotypes à écologie très contrastée...);
- lors de l'interprétation des axes de l'AFC (le caractère indicateur général des plantes fourni par cette flore permet d'interpréter les axes factoriels);
- pour valider ou corriger les groupes proposés par la CAH ou apporter une dernière validation après l'AFD.

Les catalogues des régions naturelles voisines ont également été utilisés lors des travaux sur l'Argonne. Cela permet au chargé de mission de vérifier la cohérence de ses résultats. Par ailleurs, comme des décalages entre flore et humus ont été constatés en Argonne (Gaudin, 2008), des profils écologiques ont été établis pour certaines plantes afin de valider leur caractère indicateur et de décider de l'opportunité de leur conservation au sein de groupes.

Ces travaux réalisés sur l'Argonne montrent que les chargés de missions ne s'en tiennent pas la plupart du temps à une méthode unique, mais cherchent de manière pragmatique à valoriser tous les éléments en leur possession.

Problèmes à résoudre, améliorations possibles

Bien qu'arrivée à une certaine maturité, la construction de groupes d'espèces indicatrices pose encore un certain nombre de problèmes. Si les grandes lignes de l'écologie des espèces forestières sont assez bien connues, les nuances de comportement (notamment locales) restent encore le plus souvent à approfondir. Certaines espèces ont un comportement bien marqué et stable géographiquement (par exemple, la Reine des prés, *Filipendula ulmaria* est toujours classée comme espèce mésohygrophile, quel que soit le document utilisé). D'autres ont en revanche un classement plus fluctuant. Par exemple, le Millet diffus (*Milium effusum*) est classé comme espèce acidophile de mull mésotrophe dans la flore forestière française (Rameau *et al.*, 1989) et comme acidophile en Champagne humide (Milard, 2002), mais comme neutrocline en Argonne (Perrier *et al.*, 2007) et dans la châtaigneraie limousine (Righi, 2011). Au delà de la flore du sous-bois, certaines essences forestières retenues dans les groupes écologiques ont également un comportement qui peut changer. C'est le cas du chêne pubescent, *Quercus pubescens*, qui est strictement xérophile calcicole et thermophile en Champagne-Ardenne alors qu'il est xérophile à mésoxérophile et présent tant sur substrats siliceux que calcaires en région méditerranéenne. Souvent en limite de leur aire de distribution les espèces ont une autécologie plus stricte (Thévenin, comm. pers.).

Cette différence de classement est intéressante si elle traduit une réelle divergence de comportement d'une région naturelle à l'autre. En revanche, elle pose problème si l'écologie de la plante est incertaine, si le classement en groupes résulte d'un échantillonnage biaisé ou insuffisant, ou surtout si elle correspond à un effet opérateur lié au chargé d'étude qui a construit les groupes. Fort heureusement, la plupart du temps, les divergences

de classement ne concernent que des groupes qui sont proches écologiquement.

La réaction des plantes aux conditions de milieu (pH, réserve en eau du sol, concentration en nutriments...) n'est pas binaire, mais progressive. Il est donc parfois difficile de trancher pour réunir les espèces en groupes. Certaines espèces se situent à la frontière entre groupes.

Il existe pour finir des problèmes de nomenclature des groupes écologiques (Forêt et Dumé, 2006). Même s'il existe une certaine convergence dans les appellations, des ensembles de plantes similaires peuvent avoir des noms différents tout comme des noms identiques peuvent étiqueter des groupes différents.

Les valeurs indicatrices

Les valeurs indicatrices d'Ellenberg

Origine et définition

Ces valeurs indicatrices ont été définies par Ellenberg (Ellenberg *et al.*, 1992). À chaque plante, une note est attribuée sur une échelle de 1 à 9 (sauf de 1 à 12 pour l'humidité du sol, afin de tenir compte des espèces aquatiques) pour chacun des paramètres suivants : la lumière (L), la température (T), la continentalité (K), l'humidité édaphique (F), la réaction du sol, i.e. le pH ou la présence de calcaire (R), les nutriments azotés du sol (N) et la salinité (S). Ainsi, R=1 correspond à une espèce hyperacidophile et R=9 à une espèce hyperbasophile.

Validation et utilisation

Il est possible à partir d'un relevé de végétation de calculer une moyenne, voire une moyenne pondérée (par l'abondance des espèces ou par leur fréquence relative) pour chaque valeur indicatrice. Ainsi, des informations sur le milieu sont obtenues. Ces valeurs indicatrices, bien que définies empiriquement ont été testées et validées à

de nombreuses reprises. Il a ainsi été démontré (Hawkes *et al.*, 1997 ; Schaffers et Sýkora, 2000 ; Wilson *et al.*, 2001) que les valeurs moyennes de R, N et F caractérisaient correctement les principales caractéristiques du sol quand elles étaient comparées avec des analyses de sol effectuées en laboratoire. La combinaison des valeurs R et N traduit bien les potentialités d'alimentation minérale des plantes, la valeur F résume les paramètres d'humidité du sol (Hawkes *et al.*, 1997). Schaffers et Sýkora (2000) ont montré dans le cadre de leurs analyses que la valeur moyenne de R semblait assez peu corrélée au pH du sol, mais semblait plus liée à la quantité totale de calcium. Il a été démontré que la valeur moyenne de N était un bon indice pour quantifier des rendements fourragés en prairie (Hill et Carey, 1997). Schaffers et Sýkora (2000) abondent dans ce sens en proposant de définir N comme un indice de production en biomasse et non comme un indice de nutrition azotée. Cependant, Bergès *et al.* (2006) signalent que cela ne fonctionne pas pour prédire la production du chêne sessile.

Les valeurs indicatrices d'Ellenberg servent aussi parfois à tester la stabilité de conditions expérimentales. Par exemple, Chevalier *et al.*, (2010) vérifient qu'il n'y a pas de différences significatives sur la valeur moyenne de F pour confirmer qu'il n'y a pas de biais expérimental sur l'humidité du sol. Par ailleurs, ces valeurs ont également permis de montrer l'évolution de milieux vers une plus grande oligotrophie et une plus grande humidité (Zhang, 1983 *in* Van Der Maarel, 1993).

Ces valeurs indicatrices d'Ellenberg ont été initialement définies pour l'Europe centrale, mais ont été utilisées bien au-delà. Des ajustements locaux ont été proposés (Julve, 1998 ; Hill *et al.*, 2007) pour tenir compte des variations géographiques des comportements de la flore. Ils sont notamment importants pour les valeurs de T (température) et de K (continentalité), (Julve, comm. pers.).

La base de données EcoPlant

Origine et construction

Régulièrement, des relevés complets décrivant non seulement la flore, mais aussi des variables de milieu (topographie, sol, climat) sont réalisés. La base de données EcoPlant consigne plusieurs milliers de ces relevés (Gégout, 2001 ; Gégout *et al.*, 2005).

Comme la présence d'une espèce peut être mise en relation avec des variables traduisant les capacités de nutrition du milieu (Gégout *et al.*, 2003), il est possible d'utiliser cette grande base de données pour définir des courbes de réponse pour chaque espèce. Cependant, une cinquantaine d'occurrences semble nécessaire pour obtenir des résultats fiables (Coudun et Gégout, 2006).

Ainsi, l'optimum écologique des principales espèces forestières pour un certain nombre de variables peut être défini. Il s'agit de variables décrivant le sol (pH, S/T, C/N, indice d'engorgement permanent, indice d'engorgement temporaire) ou de variables climatiques (bilan hydrique du mois de juillet, température minimale de janvier, température moyenne annuelle). La valeur indicatrice pour chaque variable est définie par le maximum de probabilité de présence pour la variable considérée (Gégout, 2001). Contrairement aux valeurs indicatrices produites par Ellenberg, celles-ci sont directement reliées à des variables mesurables et issues d'un traitement de données, et non d'une expertise.

Exemples d'utilisation

Grâce aux valeurs indicatrices de la base de données EcoPlant, il est possible à partir d'un relevé d'obtenir des valeurs bio-indiquées concernant le sol ou le climat. Pour cela, la moyenne des valeurs indicatrices des plantes présentes est calculée. L'expérience montre que même un cortège assez réduit (une dizaine de plantes) permet d'obtenir des estimations correctes. Il est ainsi possible d'approcher des va-

riables édaphiques à un coût très inférieur à celui d'analyses de sols. Grâce à des relevés de végétation nombreux issus des bases de données de l'IGN, une carte du pH de surface des sols forestiers français a été établie (AgroParisTech-ENGREF et IFN, 2008).

Outre la déduction d'informations édaphiques ou climatiques à partir de relevés, il est possible d'interpréter les axes d'une analyse factorielle des correspondances grâce aux valeurs indicatrices issues d'Ecoplant (Gaudin, 2008). Cela se fait en mettant en évidence des corrélations entre coordonnées factorielles et valeurs indicatrices. Les valeurs bio-indiquées sont également utilisées dans des études autécologiques, pour connaître la production d'essences forestières en fonction des paramètres du milieu.

Au-delà du calcul de la moyenne pour obtenir la valeur bio-indiquée, il est intéressant de calculer l'écart-type. Il donne une information sur la diversité du comportement écologique des plantes sur un relevé (Gaudin, 2008).

Comment intégrer les valeurs indicatrices dans la validation de groupes écologiques ?

Groupes de plantes indicatrices et valeurs indicatrices sont deux approches qui reposent sur les liens qui existent entre la végétation et son biotope. Est-ce que les informations apportées par les deux approches sont concordantes ? Si c'est le cas, comment utiliser concrètement les valeurs indicatrices pour mieux définir les groupes écologiques ?

Les groupes de plantes indicatrices définis en Argonne

Afin de s'appuyer sur un exemple concret, les groupes d'espèces indicatrices établis pour le guide des stations de l'Argonne ont été retenus. Ce choix résulte notamment de la diversité des comportements écologiques des plantes dans cet-

te région naturelle. En effet, tout le gradient d'acidité des sols est couvert et sont présentes dans cette

région des stations sèches et des stations humides. Il manque cependant par rapport à d'autres ré-

gions de plaine, des stations chaudes sur calcaires secs et les plantes traduisant un mésoclimat marqué

Identifiant du groupe	Groupe écologique	Espèce	pH	S/T	C/N	EP	ET	F	R	N	AFD
A	Hyperacidiphile	<i>Frangula alnus</i>	3,0	8	29	0,09	0,13	8	5	3	A
		<i>Calluna vulgaris</i>	3,3	10	33	-0,02	0,03	5	3	3	A
		<i>Deschampsia flexuosa</i>	3,0	0	28	-0,08	-0,02	5	2	3	A
		<i>Carex pilulifera</i>	4,2	0	24	-0,03	0,06	5	3	3	A
		<i>Molinia caerulea</i>	3,0	0	31	0,06	0,17	7	5	2	A
		<i>Leucobryum glaucum</i>	3,0	0	31	0,01	0,06	6	2	2	A
		<i>Dicranum scoparium</i>	3,0	0	32	-0,03	0,01	5	3	2	A
		<i>Melampyrum pratense</i>	3,0	0	29	-0,04	0,03	5	3	2	A
		<i>Vaccinium myrtillus</i>	3,0	0	31	-0,04	-0,07	5	2	3	A
B	Acidiphile	<i>Pteridium aquilinum</i>	3,0	24	32	-0,06	0,01	5	3	5	B
		<i>Teucrium scorodonia</i>	4,8	45	23	-0,05	0,03	5	4	4	B
		<i>Ilex aquifolium</i>	4,3			-0,06	-0,01	5	3	4	B
		<i>Luzula sylvatica</i>	3,0	24	22	-0,02	-0,01	5	4	4	B
		<i>Luzula luzuloides</i>	3,0	3	20	-0,04	-0,05	5	3	3	A
		<i>Lonicera periclymenum</i>	4,6	50	23	-0,01	0,16	5	4	4	B
		<i>Hypericum pulchrum</i>	4,8	50	19	0,01	0,04	5	3	4	B
		<i>Mespilus germanica</i>	5,0		22	-0,02	0,02	5	3	4	B
		<i>Polytrichum formosum</i>	3,0	0	25	-0,04	0,13	6	3	3	B
C	Acidicline	<i>Atrichum undulatum</i>	5,2	51	11	-0,02	0,06	6	5	5	C
		<i>Deschampsia cespitosa</i>	5,9	84	10	0,09	0,14	7	5	6	C
		<i>Dryopteris dilatata</i>	3,0	0	22	0,06	-0,04	5	4	5	C
		<i>Athyrium filix-femina</i>	5,2	40	10	0,11	0,01	7	5	6	C
		<i>Dryopteris carthusiana</i>	3,0	0	12	0,11	0,08	5	4	4	C
		<i>Dryopteris filix-mas</i>	5,7	67	10	-0,01	-0,01	5	5	6	C
		<i>Galeopsis tetrahit</i>	5,0	59	10	-0,01	-0,02	5	5	7	C
		<i>Luzula pilosa</i>	5,4	64	13	-0,03	0,07	5	4	4	B
		<i>Oxalis acetosella</i>	3,6		13	0,01	-0,04	6	4	6	C
		<i>Scrophularia nodosa</i>	6,0	82	10	0,02	0,05	5	6	6	C
		<i>Veronica officinalis</i>	5,6			-0,03	-0,04	5	3	3	B
D	Neutrocline	<i>Galium odoratum</i>	6,4	93	10	-0,05	-0,06	5	5	5	D
		<i>Brachypodium sylvaticum</i>	6,9	100	10	-0,00	-0,01	5	6	6	E
		<i>Circaea lutetiana</i>	6,4	100	10	0,12	0,09	7	6	7	D
		<i>Euphorbia amygdaloides</i>	6,6	100	10	-0,03	-0,04	5	5	5	D
		<i>Festuca heterophylla</i>	6,1	79	18	-0,04	-0,01	4	5	4	D
		<i>Fissidens taxifolius</i>	6,2	100	10	0,01	0,03	5	7	5	D
		<i>Fragaria vesca</i>	6,6	100	10	-0,04	-0,03	5	7	5	D
		<i>Milium effusum</i>	5,7	67	10	-0,04	0,01	5	5	5	D
		<i>Lamium galeobdolon</i>	6,3	100	10	-0,00	-0,01	5	6	5	D
		<i>Melica uniflora</i>	6,2	86	11	-0,03	-0,05	5	5	5	D
		<i>Potentilla sterilis</i>	6,2	90	11	-0,00	0,01	5	6	5	D
		<i>Carex sylvatica</i>	6,4	100	10	0,01	0,04	5	5	5	D
		<i>Polygonatum multiflorum</i>	6,6	84	10	-0,02	0,04	5	5	5	D
		<i>Sambucus racemosa</i>			17	-0,02	-0,04	5	4	5	
		<i>Stellaria holostea</i>	5,6	73	10	0,00	0,01	5	4	5	D

Tableau 1. Liste des plantes classées en groupe d'espèces indicatrices en Argonne. Pour chaque espèce, les valeurs indicatrices issues d'EcoPlant (pH, S/T, C/N, Engorgement permanent [EP], Engorgement temporaire [ET]) et issues d'Ellenberg (F, R et N) ont été reportées.

Identifiant du groupe	Groupe écologique	Espèce	pH	S/T	C/N	EP	ET	F	R	N	AFD
E	Neutronitrocline	<i>Geum urbanum</i>	6,7	100	10	0,04	-0,02	5	6	7	E
		<i>Ajuga reptans</i>	6,1	98	10	0,05	0,02	5	5	6	E
		<i>Stachys sylvatica</i>	6,9	100	10	0,07	0,04	7	7	7	E
		<i>Arum maculatum</i>	6,9	100	10	0,00	0,03	5	7	8	E
		<i>Hypericum hirsutum</i>	6,7	100	12	-0,02	-0,02	5	8	6	E
		<i>Ornithogalum pyrenaicum</i>	6,8	100	12	-0,02	0,00	5	7	5	D
		<i>Paris quadrifolia</i>	6,9	100	10	0,01	0,00	6	7	7	E
		<i>Ranunculus auricomus</i>	6,6	100	10	0,04	-0,02	5	7	7	E
		<i>Veronica chamaedrys</i>	6,2	77	10	0,00	-0,01	5	5	5	D
		<i>Primula elatior</i>	6,3	100	10	0,02	0,06	7	7	7	E
F	Hygroneutro-nitrophile	<i>Allium ursinum</i>	7,6	100	10	0,05	-0,00	7	8	7	F
		<i>Alliaria petiolata</i>	6,7	100	10	0,01	-0,03	5	7	8	F
		<i>Cardamine pratensis</i>	6,2	100	10	0,11	0,01	6	7	5	F
		<i>Ranunculus ficaria</i>	6,5	100	10	0,07	0,01	6	6	6	F
		<i>Galium aparine</i>	6,7	96	10	0,10	-0,02	5	5	8	F
		<i>Glechoma hederacea</i>	6,6	100	10	0,07	0,02	5	6	7	E
		<i>Listera ovata</i>	8,5	100		0,01	-0,00	6	7	7	F
		<i>Ribes rubrum</i>	6,8	84	10	0,10	0,04	7	6	6	H
		<i>Geranium robertianum</i>	6,5	84	10	0,01	-0,05	5	7	7	F
		<i>Plagiomnium undulatum</i>	6,3	100	10	0,09	0,01	6	6	5	F
		<i>Adoxa moschatellina</i>	6,6	100	10	-0,01	0,01	7	7	6	F
		<i>Urtica dioica</i>	6,7	100	10	0,11	-0,03	5	6	9	F
		<i>Sambucus nigra</i>	8,3	100	10	0,01	-0,04	5	7	8	F
G	Neutrocalcicole	<i>Lonicera xylosteum</i>	7,4	100	10	-0,05	-0,09	5	7	5	G
		<i>Clematis vitalba</i>	8,5	100	10	-0,02	-0,05	5	7	7	G
		<i>Cornus sanguinea</i>	7,6	100	10	0,04	-0,02	5	7	5	G
		<i>Evonymus europaeus</i>	7,4	100	10	0,03	-0,01	5	7	5	G
		<i>Prunus spinosa</i>	7,0	100	10	0,03	0,02	5	5	5	G
		<i>Mercurialis perennis</i>	7,6	100	10	-0,04	-0,06	5	6	7	G
		<i>Ligustrum vulgare</i>	7,3	100	10	-0,00	-0,04	4	8	5	G
H	Mésohygrophile	<i>Viburnum lantana</i>	8,5	100	10	-0,05	-0,07	4	8	4	G
		<i>Angelica sylvestris</i>	6,6	100	10	0,17	0,02	7	5	5	H
		<i>Cirsium oleraceum</i>	7,3	100	10	0,08	0,03	7	7	6	F
		<i>Eupatorium cannabinum</i>	7,6	100	10	0,12	-0,01	7	7	7	H
		<i>Galium palustre</i>	5,9	100	10	0,31	0,01	8	5	5	H
		<i>Carex acutiformis</i>	8,5	100	10	0,30	0,02	9	5	5	H
		<i>Carex remota</i>	5,8	100	10	0,13	0,08	8	4	3	H
		<i>Carex pendula</i>	6,3	100	10	0,08	0,06	8	6	6	H
		<i>Rumex sanguineus</i>	7,3	100		0,05	0,01	7	7	7	H
		<i>Filipendula ulmaria</i>	6,6	100	10	0,25	0,02	7	5	6	H
I	Hygrophile	<i>Ranunculus repens</i>	6,3	100	12	0,13	0,01	7	5	7	H
		<i>Valeriana officinalis subsp. repens</i>	6,1	72	10	0,12	0,01	7	6	6	H
		<i>Cardamine amara</i>				0,11	0,00	8	6	5	
		<i>Iris pseudacorus</i>	6,6	96	10	0,30	0,00	9	7	7	I
		<i>Carex riparia</i>	8,3	100	10	0,19	0,01	9	7	6	I
		<i>Lysimachia vulgaris</i>	6,1	89	10	0,32	0,02	9	7	6	I
		<i>Caltha palustris</i>	6,2	100	10	0,26	-0,01	8	5	6	I

Tableau 1, suite et fin. Liste des plantes classées en groupe d'espèces indicatrices en Argonne. Pour chaque espèce, les valeurs indicatrices issues d'EcoPlant (pH, S/T, C/N, Engorgement permanent [EP], Engorgement temporaire [ET]) et issues d'Ellenberg (F, R et N) ont été reportées.

(versants chauds et versants froids) sont assez rares.

La construction de ces groupes a été présentée en figure 4. Leur composition est détaillée dans le tableau 1.

Les valeurs indicatrices correspondant à chaque plante ont été reportées dans le tableau 1. Il ne s'agit que de valeurs indicatrices en relation avec le sol, celles relatives au climat ne présentant pas d'intérêt par rapport aux groupes écologiques d'Argonne. Dans la mesure où il est préférable d'utiliser des valeurs indicatrices adaptées aux conditions locales (Hawkes *et al.*, 1997 ; Wilson *et al.*, 2001), les valeurs pour les plantes vasculaires proviennent de Julve (1998) et celle pour les bryophytes de Hill *et al.*, (2007). Les valeurs manquantes pour les valeurs en provenance d'EcoPlant correspondent à des données qui n'ont pas pu être calculées (pas de réponse claire de la plante à la variable, manque de relevés, etc.).

Approche monofactorielle

Quelle cohérence entre groupes et valeurs indicatrices ?

Dans un premier temps, la composition des groupes d'espèces indicatrices d'Argonne a été analysée facteur par facteur (figure 5). Pour chaque facteur et chaque groupe, la moyenne et l'écart-type ont été calculés (tableau 2).

Pour chaque valeur indicatrice, un test de Kruskal-Wallis a été réalisé, les hypothèses de normalité et d'homoscédasticité nécessaires pour effectuer une analyse de variance n'étant pas toujours vérifiées. Des tests analogues ont été réalisés sur des groupes socio-écologiques par Thoen et Hérault (2006). Les tests effectués en Argonne sont presque tous hautement significatifs. Cela signifie qu'au moins un groupe présente une différence par rapport aux autres, pour le facteur considéré. Cela indique une cohérence entre les groupes d'espèces indicatrices et les valeurs indicatrices. Des tests de comparaisons multiples ont ensuite été réalisés.

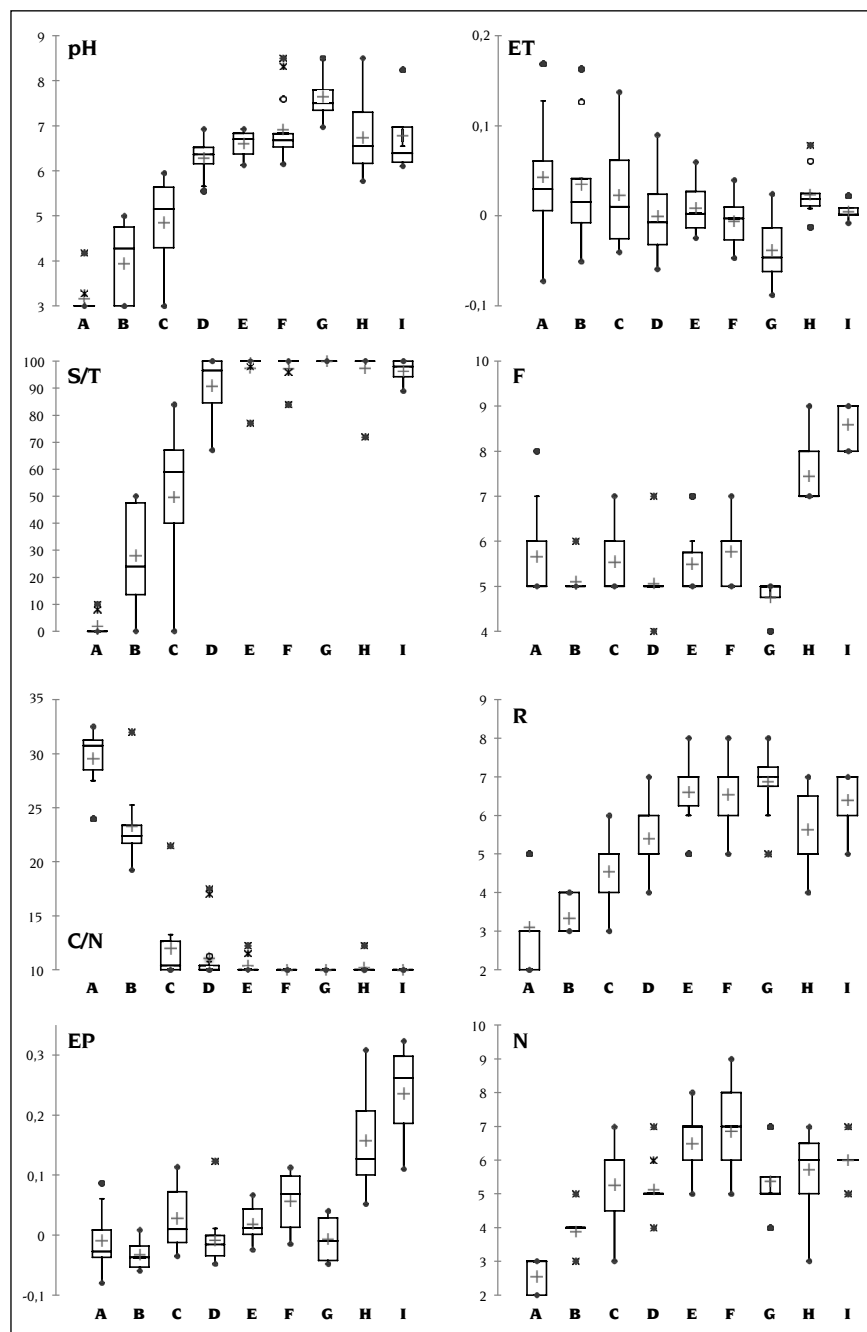


Figure 5. Distribution des valeurs indicatrices par groupe écologique.

Ils indiquent quels sont les groupes qui s'individualisent par rapport à la valeur indicatrice considérée.

Pour le pH, les trois groupes liés à l'acidité (A, B et C) s'individualisent nettement des autres. Cela se retrouve de manière moins marquée pour le R d'Ellenberg. Le taux de saturation (S/T) donne des résultats identiques à ceux obtenus pour le pH : les trois groupes A, B et C se distinguent nettement des autres. En revanche, pour le rapport C/N, seuls les deux groupes A (hyperacidiphiles) et B (acidiphiles) se détachent (les espèces acidiclinales ne se distinguant pas des espèces des milieux neutres). Il semble (Thévenin, comm. pers.) que les espèces

végétales indiquent plus finement le comportement global d'une station que les analyses de sol. En effet la notion de station acidocline est une réalité écologique alors qu'elle n'apparaît parfois pas dans les analyses de sol. Les plantes intègrent de très nombreux facteurs de l'environnement comme également la nature des matériaux. C'est sur les limons par exemple, que l'on a bien ces niveaux trophiques différenciés (acidiphile, acidocline et neutrophile).

La valeur N d'Ellenberg donne un résultat analogue à celui obtenu pour le rapport C/N. Les tests permettent même de différencier significativement les hyperacidiphiles et

Valeur indicatrice	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Test KW
mpH	3,2 (a)	3,9 (a)	4,9 (a)	6,3 (b)	6,6 (b)	6,9 (b)	7,7 (b)	6,7 (bc)	6,8 (c)	***
mS/T	2,0 (a)	28,0 (a)	49,7 (a)	90,9 (b)	97,5 (b)	97,2 (b)	100,0 (b)	97,5 (b)	96,3 (b)	***
mC/N	32,5 (a)	32,0 (a)	21,5 (b)	17,5 (b)	12,3 (b)	10,0 (b)	10,0 (b)	12,3 (b)	10,0 (b)	***
mEP	-0,01 (a)	-0,03 (a)	0,03 (ab)	-0,01 (a)	0,02 (ab)	0,06 (b)	-0,01 (ab)	0,16 (c)	0,24 (c)	***
mET	0,39 (a)	0,31 (a)	0,26 (a)	-0,00 (a)	0,09 (a)	-0,08 (a)	-0,30 (a)	0,26 (a)	0,03 (a)	*
mF	5,7 (a)	5,1 (a)	5,5 (a)	5,1 (a)	5,5 (a)	5,8 (a)	4,8 (a)	7,5 (b)	8,6 (b)	***
mR	3,1 (a)	3,3 (a)	4,5 (ab)	5,4 (bc)	6,6 (c)	6,5 (c)	6,9 (c)	5,6 (bc)	6,4 (bc)	***
mN	2,6 (a)	3,9 (b)	5,3 (cd)	5,1 (c)	6,5 (d)	6,8 (d)	5,4 (cd)	5,7 (cd)	6,0 (cd)	***
spH	0,4	0,9	1,1	0,3	0,3	0,7	0,5	0,8	0,9	
sC/N	3	4	3	2	1	0	0	1	0	
sS/T	3,8	19,6	29,5	11,0	6,9	5,7	0,0	8,0	4,5	
sEP	0,05	0,02	0,05	0,04	0,03	0,04	0,03	0,09	0,08	
sET	0,07	0,06	0,06	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	
sF	1,1	0,3	0,8	0,6	0,8	0,8	0,4	0,7	0,5	
sR	1,1	0,5	0,8	0,9	0,9	0,7	0,9	1,0	0,8	
sN	0,5	0,6	1,1	0,6	0,9	1,2	1,0	1,1	0,6	

Tableau 2. Moyenne (mX) et écart-type (sX) par valeur indicatrice et groupe écologique. KW : résultat d'un test de Kruskal-Wallis : * significatif ($p < 0,05$), ** très significatif ($p < 0,01$), *** hautement significatif ($p < 0,001$). Les valeurs moyennes ayant des lettres différentes entre parenthèses sont significativement différentes au seuil de 5 % selon un test de comparaisons multiples par paires de Steel-Dwass-Critchlow-Fligner.

les acidiphiles à l'aide de cette valeur indicatrice N.

En ce qui concerne l'eau du sol, les valeurs indicatrices F et EP donnent un résultat identique : elles distinguent nettement les espèces mésohygrophiles (H) et hygrophiles (I) de toutes les autres. En revanche, la valeur ET semble moins bien fonctionner. Le test de Kruskal-Wallis est tout juste significatif et cette valeur indicatrice ne permet de différencier aucun groupe. Cependant, il apparaît que cette variable donne des résultats nettement moins hétérogènes (cf. figure 5 et tableau 2) dans les groupes H et I que dans les autres.

Une autre façon de juger de la validité des groupes est de calculer l'écart-type pour chaque valeur indicatrice et chaque groupe écologique (tableau 2). Plus l'écart-type est faible, plus le groupe est homogène selon le facteur considéré. Cette approche a été mise en œuvre par Van der Maarel (1993) sur les valeurs indicatrices d'Ellenberg. Il considère qu'un groupe est homogène quand l'écart-type est inférieur à 1, ce qui signifie que 90 % des valeurs sont comprises dans trois notes contiguës de

la valeur indicatrice. Le tableau 2 montre que dans la plupart des cas, l'écart-type sur les valeurs indicatrices d'Ellenberg est inférieur à 1. Le dépassement de ce seuil ne se produit que dans de rares cas, notamment pour des valeurs indicatrices qui ne caractérisent pas le groupe (par exemple, pour la valeur N chez les mésohygrophiles ou la valeur de F pour les hyperacidiphiles). Ainsi, cette seconde analyse confirme que les groupes d'espèces indicatrices de l'Argonne sont en cohérence avec les valeurs indicatrices d'Ellenberg.

Comment utiliser les valeurs indicatrices pour valider et améliorer les groupes ?

S'il existe clairement une convergence de résultats entre groupes d'espèces indicatrices et valeurs indicatrices, il n'y a pas néanmoins de cohérence parfaite. Cela conduit donc à chercher à savoir si les quelques incohérences résultent d'une erreur lors de la construction des groupes.

Ceci dit, une incohérence peut provenir non seulement d'une erreur de classement d'une plante dans un groupe, mais aussi d'une

valeur indicatrice mal définie (Van der Maarel, 1993), voire des deux.

Sur la figure 5, deux paramètres doivent être surveillés : une forte amplitude prise par les valeurs indicatrices (largeur de la boîte ou des moustaches) et la présence de points isolés à des valeurs extrêmes (nommés «outliers» en anglais). Une amplitude forte des valeurs indicatrices montre une hétérogénéité dans le groupe. Des outliers mettent en évidence des plantes ayant un comportement atypique par rapport au reste du groupe. Le tableau 2 indique quelles sont les plantes qui provoquent ces disparités.

Carex pilulifera a des valeurs indicatrices meilleures pour le pH et le rapport C/N que le reste de son groupe. En revanche, il est dans la norme selon R et N. Cette plante pose problème dans les classements en groupes écologiques. Elle se situe entre le A et le B. Lors des AFD ayant servi à construire les groupes (figure 4), son classement dans le groupe A conduisait à une proposition de classement en B, mais la réciproque était vraie (proposition de passer en A quand elle était initialement en B). Les va-

leurs indicatrices confirment cette difficulté de classement. Afin de résoudre ce problème, il est proposé dans le guide de Champagne humide (Milard, 2002) de ne pas prendre en compte le groupe A dans un diagnostic quand il n'est représenté que par cette plante.

L'amplitude des valeurs prises sur le groupe C semble particulièrement étendue en ce qui concerne le pH et le rapport S/T. Il existe également un outlier pour le rapport C/N. La dispersion des valeurs est essentiellement due à trois espèces : *Dryopteris dilatata*, *D. carthusiana* et *Oxalis acetosella*. La connaissance de l'autécologie locale de ces espèces et leur profil écologique en fonction des formes d'humus n'encouragent pas à les reclasser dans des groupes plus acidiphiles. De même, leurs valeurs indicatrices pour R et N sont plutôt cohérentes avec celles des autres plantes acidiclinales.

Pour comprendre l'origine de cette incohérence, il faut déjà savoir que l'optimum écologique peut varier en fonction de la géographie (Le Tacon et Timbal, 1972; Coudun et Gégout, 2005). Cela a été démontré notamment pour le pH sur le millet diffus (Gégout et Pierrat, 1998). Pour deux des plantes qui nous intéressent, la définition d'une valeur indicatrice de pH en ne conservant que les relevés effectués sous l'altitude de 600 m donne 3,4 (nord-est) et 5,1 (nord-ouest) pour *Dryopteris carthusiana* et 4,5 (nord-est) et 5 (nord-ouest) pour *Oxalis acetosella* (Coudun et Gégout, 2005). La publication d'où sont issues ces données montre qu'il existe une différence de comportement entre le nord-ouest et le nord-est de la France pour ces plantes. La comparaison avec les valeurs globales issues de la base EcoPlant (tableau 2) montre aussi que l'altitude intervient. Ainsi, en ne considérant que les valeurs moyennes de plaine (l'Argonne est située à la frontière entre le climat atlantique et le climat semi-continental), le pH indiqué par EcoPlant devient parfaitement compatible avec le groupe C. Il faut donc rester

prudent lors de l'utilisation de données nationales voire internationales pour contrôler des groupes écologiques locaux. Certaines plantes peuvent présenter des variations géographiques de leurs valeurs indicatrices.

Par ailleurs, *Dryopteris carthusiana* est rencontrée non seulement en forêt, mais également dans des marais tourbeux où elle se développe dans des conditions de pH plus basiques qu'en forêt (Thévenin, comm. pers.). Le comportement de cette plante par rapport à l'acidité semble donc évoluer en fonction de l'habitat (sol, lumière arrivant au sol).

Frangula alnus et *Molinia caerulea* présentent une valeur de R supérieure à celle des autres plantes du groupe A. Cette information n'est pas confirmée par des valeurs indicatrices de pH, de S/T ou de C/N qui iraient dans le même sens. Il s'agit là sans doute d'un mauvais paramétrage, d'autant plus que les valeurs originelles d'Ellenberg donnent une disparité moins forte que celles proposées par Julve pour ces deux plantes. Par ailleurs, ces deux plantes se retrouvent également dans d'autres conditions oligotrophes, notamment dans les marais alcalins ou même dans des fruticées calcicoles pour *Frangula alnus* (Thévenin et Royer, 2001) à des pH beaucoup plus élevés. Ainsi, la valeur de R intègre peut-être également ces comportements hors du milieu forestier.

Circaea lutetiana se détache des autres plantes du groupe D pour la valeur EP et pour l'humidité édaphique, F. Cette plante a été placée dans ce groupe pour son tempérament neutrophile, mais elle est aussi connue pour traduire une certaine fraîcheur du sol. Elle est en effet qualifiée d'hygrocline et signalée comme fréquente en *Alno-Padion*, *Alnion-glutinosae* et en lisières fraîches (*Alliarion*) par Rameau *et al.* (1989). Les valeurs indicatrices traduisent bien ce comportement.

Prunus spinosa a une valeur de R plus faible que les autres plantes de son groupe et le pH le plus faible des neutrocalcicoles. Cette espèce

peut se développer sur sols calcaires, mais elle est classée comme neutrocline par la flore forestière française (Rameau *et al.*, 1989). Son classement dans le groupe G résulte soit d'un comportement particulier en Argonne, soit d'une erreur d'appréciation ou d'interprétation des analyses multivariées.

Au travers de ces quelques exemples, il est possible de constater que l'analyse des valeurs indicatrices apporte de solides compléments pour valider ou améliorer les groupes écologiques. Il faut cependant avoir à l'esprit que les bases de données utilisées ont un vaste domaine géographique de définition et ne peuvent donc pas refléter certains comportements locaux. L'usage de plusieurs sources de valeurs indicatrices (comme ici, Ellenberg et EcoPlant) permet de vérifier leur cohérence en cas de doute et ainsi de mieux interpréter d'éventuels désaccords avec les groupes écologiques.

Approche multifactorielle

Un groupe d'espèces indicatrices est rarement construit sur un seul facteur écologique (Le Tacon et Timbal, 1973). Par exemple en Argonne, comme le montre la figure 5, les espèces hyperacidiphiles, acidiphiles et acidiclinales ne sont pas classées uniquement en fonction du pH, mais également selon la nutrition minérale, notamment azotée. De même, le groupe F comprend des plantes qui sont non seulement neutrophiles, mais également nitratophiles et hygroclinales.

Il est ainsi intéressant d'avoir une approche multifactorielle et d'analyser l'effet conjoint de l'ensemble des variables sur les groupes. Pour cela, une AFD a été réalisée. En raison du nombre de données manquantes, les valeurs indicatrices C/N et S/T n'ont pas été retenues. De même, en raison de l'absence de valeur pour la variable pH, *Samolus racemosa* et *Cardamine amara* n'ont pas été intégrés dans l'analyse. L'AFD a donc été réalisée sur 89 espèces (réparties en 9 groupes écologiques) et 6 variables : pH, EP, ET, F, R et N.

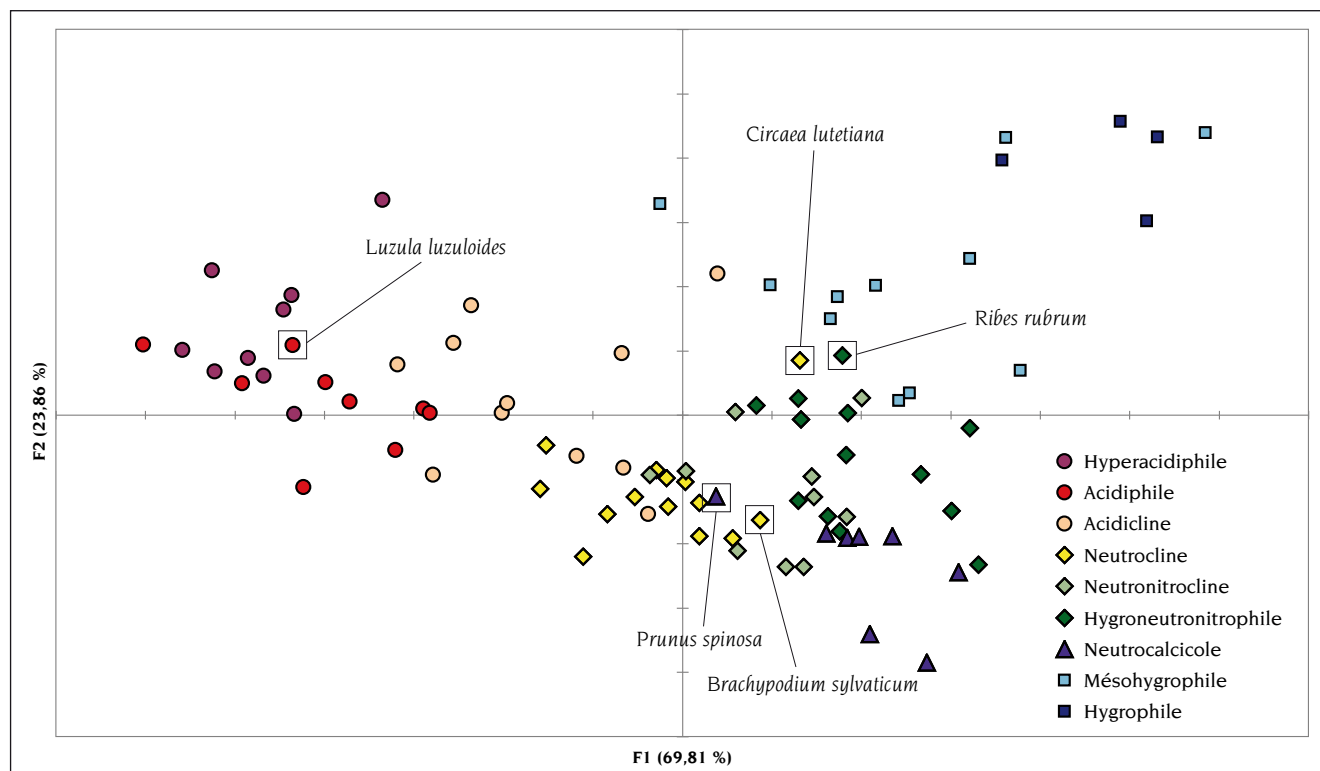


Figure 6. Le plan factoriel (axes 1 et 2) de l'AFD permet de visualiser les plantes posant problème et de revoir éventuellement leur classement. *Luzula luzuloides* : une bascule vers le groupe A est proposée par l'AFD. *Prunus spinosa* : bien que maintenue dans le groupe G, cette plante apparaît comme la moins calcicole de tout son groupe. *Circaea lutetiana* est maintenue dans le groupe D, mais son tempérament de milieu frais apparaît nettement. *Ribes rubrum* est quant à lui basculé dans le groupe H par l'AFD, tout comme *Brachypodium sylvaticum* du D vers le E.

Cette AFD confirme la légitimité des groupes constitués par rapport aux valeurs indicatrices (test du Lambda de Wilks hautement significatif). Elle indique par ailleurs une bonne corrélation entre les valeurs indicatrices pH et R ($r=0,81$) et entre EP et F ($r=0,8$). L'AFD propose pour certaines plantes un nouveau classement dans un groupe plus approprié selon les données qui lui sont fournies. Le taux de bon classement par rapport aux données initiales est un indicateur de la solidité des groupes. Il est voisin ici de 90 %. Cette valeur est élevée. À titre de comparaison, Van Der Maarel (1993) a obtenu pour une analyse analogue (test de validité de groupes socio-écologiques des plantes des Pays-Bas à l'aide des valeurs L, F, R et N d'Ellenberg) des taux allant de 70 à 87 % de bon reclassement (mais de seulement 54 % pour les groupes de plantes forestières).

Les résultats globaux de l'AFD confirment la bonne cohérence entre les groupes écologiques constitués et les valeurs indicatrices. Le plan factoriel (figure 6) permet de visualiser les groupes et de repérer

des plantes positionnées loin de leur groupe d'origine.

La dernière colonne du tableau 1 (intitulée AFD) donne les nouvelles propositions de classement à la suite de l'AFD. Ces propositions diffèrent assez fortement de celles qui viennent à l'idée en observant les facteurs un par un. Les reclassements proposés concernent la plupart du temps des groupes aux comportements écologiques proches et ont tous une certaine légitimité. Par exemple, *Ribes rubrum* est une plante des milieux neutres et riches en nitrates, mais elle a aussi une forte tendance mésohygrophile (Rameau *et al.*, 1989). La proposition de classer le groseillier dans le groupe des mésohygrophiles est donc recevable. En revanche, la proposition de basculer *Luzula pilosa* de C en B ne semble pas intéressante. Il est fort probable que les valeurs retenues pour le R et le N d'Ellenberg soient un peu sous-estimées pour cette plante.

De manière générale, le plan factoriel et le tableau doivent être examinés de près. Les changements proposés sont ensuite validés ou non, quitte à utiliser d'autres outils

(relevés initiaux, profils écologiques, etc.) en cas de doute.

Conclusion

Si les valeurs indicatrices sont souvent utilisées dans le monde de la recherche, elles le sont encore peu chez les naturalistes, les écologues et les praticiens forestiers. Elles apportent le plus souvent une information de qualité sur l'écologie des plantes et sont cohérentes avec d'autres approches comme la classification en groupes d'espèces indicatrices.

L'utilisation de valeurs chiffrées présente un avantage pour mettre en évidence certains comportements écologiques ou pour réaliser de la bioindication. En revanche, l'utilisation de groupes écologiques reste plus opérationnelle pour un diagnostic rapide de terrain. Ainsi, ces deux approches sont largement complémentaires et leur comparaison aide à mieux comprendre en détail l'écologie des plantes. Eco-Plant, base de données plus récente que les valeurs indicatrices d'Ellenberg montre dans l'exemple étudié ses qualités et sa bonne transcription de la réalité, sauf

pour l'indice d'engorgement temporaire. À terme, des valeurs indicatrices précisées par grands domaines biogéographiques (plaine, montagne, zone méditerranéenne) gagneraient peut-être en précision pour certaines plantes dont le positionnement écologique moyen varie géographiquement.

Bibliographie

- AgroParisTech-ENGREF (UMR LERFoB) et IFN, 2008 – *Guide d'utilisation de la carte des pH de surface des sols forestiers français*, version 1, mars 2008, accord n°2007-CPA-2-072, 26 p.
- Bailly G., 1992 – *Catalogue des types de stations forestières de Brie champenoise*. Laboratoire de Phytosociologie, Université de Franche-Comté, Association pour la Recherche et l'Enseignement de la Phytoécologie, 356 p.
- Bailly G., 2001 – *Guide des plantes forestières de l'étage feuillu comtois*. Besançon, Société forestière de Franche-Comté, 130 p.
- Bartoli M., Tran-Ha M., Largier G., Dumé G. et Larrieu, L., 2000 – Écoflore, un logiciel simple de diagnostic écologique. *Revue forestière française*, t. LII, n°6-2000, pp. 530-547.
- Bastien Y. et Gauberville C. (coord.), 2011 – *Vocabulaire forestier. Écologie, gestion et conservation des espaces boisés*. Institut pour le Développement Forestier, Paris, 608 p.
- Becker M., 1973 – Écophytosociologie et production ligneuse. *Annales des sciences forestières*, Vol. 30, n°3, pp. 287-306.
- Becker M. 1979 – Influence du traitement sylvicole sur la flore forestière : cas de la futaie et du taillis-sous-futaie. *Vegetatio*, Vol. 40(3), pp. 155-161.
- Bergès L., Gégout J.-C. et Franc A., 2006 – Can understory vegetation accurately predict site index? A comparative study using floristic and abiotic indices in sessile oak (*Quercus petraea* Liebl.) stands in northern France. *Annals of forest science*, n°63(1), pp. 31-42.
- Brêthes, A., 1989 – La typologie des stations forestières. Recommandations méthodologiques. *Revue forestière française*, vol. XLI, n°1, pp. 7-27.
- Bruno É. et Bartoli M., 2001 – Premiers enseignements de l'utilisation du logiciel écoflore pour traiter les relevés botaniques de l'IFN. *Revue forestière française*, vol. LIII, n°3-4, pp. 391-396.
- Carnnot-Milard L. et Gaudin S., 2010 – *Les milieux alluviaux. Guide pour l'identification des stations et le choix des essences*. CRPF de Champagne-Ardenne, Châlons-en-Champagne, 172 p.
- Chevalier R., Berthelot A. et Gaudin S., 2010 – Biodiversité floristique des peupleraies dans les vallées de Champagne : comparaison avec les prairies et les forêts suivant une approche de la patrimonialité et de la banalité. *Bulletin de la Société d'étude des Sciences naturelles de Reims*, n°24, pp. 19-34.
- Coudun C. et Gégout, J.-C., 2005 – Ecological behaviour of herbaceous forest species along a pH gradient: a comparison between oceanic and semicontinental regions in northern France. *Global Ecology and Biogeography*, 14(3), pp. 263-270.
- Coudun C. et Gégout, J.-C., 2006 – The derivation of species response curves with Gaussian logistic regression is sensitive to sampling intensity and curve characteristics. *Ecological modelling*, 199(2), pp. 164-175.
- Coulmier X., 2004 – *Les principales espèces forestières indicatrices de Champagne-Ardenne et de Bourgogne*. CFPPA de Croigny, Les Loges-Margueron, 168 p.
- Duchaufour P., 1960 – Stations, types d'humus et groupements écologiques. *Revue forestière française*, n°7, pp. 484-494.
- Ellenberg H., Weber H. E., Dull R., Wirth V., Werner W. et Paulißen D., 1992 – Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica*, 18, Göttingen: Goltze, pp. 1-260.
- Forêt M. et Dumé G., 2006 – *Les outils d'aide à la reconnaissance des stations forestières et au choix des essences – méthodes et recommandations pratiques ou guide-âne*. Inventaire forestier national, 224 p.
- Gaudin S., 2008 – Mise en évidence des décalages entre le caractère indicateur de la flore du sous-bois et les formes d'humus sur les stations forestières d'Argonne. *Bulletin de la Société d'étude des Sciences naturelles de Reims*, n°22, pp. 43-58.
- Gégout J.-C. et Pierrat, J.-C., 1998 – L'autécologie des espèces végétales: une approche par régression non paramétrique. *Écologie*, 29(3), pp. 473-482.
- Gégout J.-C., 2001 – Création d'une base de données phytoécologiques pour déterminer l'autécologie des espèces de la flore forestière de France. *Revue forestière française*, vol. LIII, n°3-4, pp. 397-403.
- Gégout J.-C., Hervé J.-C., Houllier F. et Pierrat J.-C., 2003 – Prediction of forest soil nutrient status using vegetation. *Journal of Vegetation Science*, 14(1), pp. 55-62.
- Gégout J.-C., Coudun C., Bailly G. and Jabiol B., 2005 – EcoPlant: a forest site database linking floristic data with soil and climate variables. *Journal of Vegetation Science*, 16(2), pp. 257-260.
- Guinochet M., 1973 – *Phytosociologie*. Collection d'écologie, Paris, Masson, 227 p.
- Hawkes J. C., Pyatt D. G. and White I. M. S., 1997 – Using Ellenberg indicator values to assess soil quality in British forests from ground vegetation: a pilot study. *Journal of Applied Ecology*, n°34, pp. 375-387.
- Julve P., 1998 – *Baseflor. Index botanique, écologique et chorologique de la flore de France*. <en ligne : <http://philippe.julve.pagesperso-orange.fr/catminat.htm>>
- Hill, M. O. and Carey, P. D., 1997 – Prediction of yield in the Rothamsted Park Grass Experiment by Ellenberg indicator values. *Journal of Vegetation Science*, 8(4), pp. 579-586.
- Hill, M. O, Preston C. D., Bosanquet S. D. S. et Roy D. B., 2007 – BRYOATT, *Attributes of British and Irish Mosses, Liverworts and Hornworts With Information on Native Status, Size, Life Form, Life History, Geography and Habitat*. NERC Centre for Ecology and Hydrology and Countryside Council for Wales, 88 p.
- Le Tacon F. et Timbal J., 1972 – À propos des conditions écologiques des hêtraies dans le nord-est et le nord-ouest de la France. *Revue Forestière Française*, vol. XXIV, n°3, pp 187-200.
- Le Tacon F., et Timbal J., 1973 – Valeurs indicatrices des principales espèces végétales des hêtraies du Nord-Est de la France, vis-à-vis des types d'humus. *Revue forestière française*, vol. XXV, n°4, pp. 269-282.
- Milard L., 2002 – *Guide pour l'identification des stations et le choix des essences en Cham-*

- pagne humide. CFPPA de Croigny, Les Loges-Margueron, 110 p.
- Perrier C., Gaudin S. et Madesclaire A., 2007 – *Guide pour l'identification des stations et le choix des essences en Argonne*. CFPPA de Croigny, Les Loges-Margueron, 118 p.
- Pinel B., 1990 – *Catalogue des types de stations forestières de Champagne humide*. Association pour la Recherche et l'Enseignement de la Phytoécologie, Besançon, 448 p.
- Rameau J.-C., 1987 – *Catalogue des stations forestières de la Haute-Marne*. Tome 2, Der-Perthois, 322 p.
- Rameau J.-C., Mansion D. et Dumé G., 1989 – *Flore forestière française. Guide écologique illustré*. Tome 1: Plaines et collines. Institut pour le développement forestier, Paris, 1785 p.
- Righi J.-M., 2011 – *Identification des stations et choix des essences en Châtaigneraie limousine*. Guide simplifié. CRPF du Limousin, Limoges, 108 p.
- Schaffers A. P., and Sýkora, K. V., 2000 – Reliability of Ellenberg indicator values for moisture, nitrogen and soil reaction: a comparison with field measurements. *Journal of Vegetation science*, 11(2), pp. 225-244.
- Thévenin S., 1992 – *Catalogue des stations forestières de la Montagne de Reims, du Tardenois et du Soissonnais de la Marne*. GEOGRAM, PNR Montagne de Reims, 366 p.
- Thévenin S. et Royer J.-M., 2001 – Groupements végétaux de la Champagne crayeuse. *Bulletin de la Société d'étude des Sciences naturelles de Reims*, numéro spécial, 33 pages + XIII tableaux phytosociologiques.
- Thoen D. et Hérault B., 2006 – Flore, groupes socio-écologiques et typologie des mardelles forestières de Lorraine belge et luxembourgeoise. *Bull. Soc. Nat. luxemb.*, n° 107, pp. 3-25.
- Van Der Maarel E., 1993 – Relations between sociological-ecological species groups and Ellenberg indicator values. *Phytocoenologia*, 23, pp. 343-362.
- Wilson S.M., Pyatt D.G., Malcolm D.C. and Connolly T., 2001 – The use of ground vegetation and humus type as indicators of soil nutrient regime for an ecological site classification of British forests. *Forest Ecology and Management*, 140(2), pp. 101-116.

L'auteur remercie Stéphane Thévenin et Clément Hubert pour la relecture de cet article et pour les remarques dont ils ont bien voulu lui faire part, ainsi que Philippe Julve pour les informations fournies sur les valeurs indicatrices.

Using indicator values to assess forest undergrowth vegetation ecological groups

Summary:

Forest undergrowth plant species are used to predict ecological factors such as soil base-richness, moisture and climate. Many methods exist to link vegetation with biotope traits. Ecological groups gather undergrowth plants that have the same response to one or more ecological factor. For instance, it is possible to group plants that develop on soil with a low pH (acidophilous plants) or in wetlands (hygrophilous plants).

Indicator values are also used to link vegetation with soil characteristics or with climate informations. Ellenberg's indicator values are the most known, but in forestlands, it is also possible to use the EcoPlant database.

The aim of this article is to compare both methods (ecological groups and indicators values) with a set of plant data from the Argonne area. Two different types of analyses have been performed: (1) test for each indicator value of ecological group homogeneity and (2) discriminant analysis with all the indicators values to assess ecological groups reliability.

Both methods give good results. Ecological groups built in the Argonne area are in compliance with indicator values. There are minor differences, mainly because of bad ranking of some species in ecological groups or because of a bad indicator value assignation to some species.

Making ecological groups is not always easy and takes time. Using indicator values is efficient to help building ecological groups and to check or improve already made groups.

Keywords:

Phytoecology, forest site, EcoPlant database, flora, Ellenberg's indicator values, ecological group, Argonne, France.