



Changements de la végétation dans les forêts du Nord-Est de la France entre 1970 et 1990.

Jean-Luc Dupouey, Anne Thimonnier, Florence Lebourgeois, Michel Becker, Jean-François Picard, Jean Timbal

► To cite this version:

Jean-Luc Dupouey, Anne Thimonnier, Florence Lebourgeois, Michel Becker, Jean-François Picard, et al.. Changements de la végétation dans les forêts du Nord-Est de la France entre 1970 et 1990.. *Revue forestière française*, 1999, 51 (2), pp.219-230. 10.4267/2042/5432 . hal-03443595

HAL Id: hal-03443595

<https://hal.science/hal-03443595>

Submitted on 23 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CHANGEMENTS DE LA VÉGÉTATION DANS LES FORÊTS DU NORD-EST DE LA FRANCE ENTRE 1970 ET 1990

J.-L. DUPOUEY - Anne THIMONIER - Florence LEBOURGEOIS
M. BECKER - J.-F. PICARD - J. TIMBAL

INTÉRÊT DE L'ÉTUDE DES CHANGEMENTS DE VÉGÉTATION

Les variations de la végétation ⁽¹⁾ dans le temps ont surtout été étudiées lors des stades de recolonisation par la forêt de sols anciennement agricoles, ou lors des phases successives des cycles forestiers, après coupes ou perturbations. L'idée que des variations à long terme de la végétation, dans les phases matures de ces cycles, en futaie adulte par exemple, puissent exister en dehors de toute perturbation naturelle ou due à la sylviculture, est nouvelle. Pourtant, les changements environnementaux globaux en cours pourraient provoquer de telles modifications de la végétation. Les variations climatiques à long terme et, plus encore, les dépôts atmosphériques en forêt, peuvent modifier le microclimat et la fertilité des stations forestières. L'impact de ces changements sur la croissance et l'état de santé des arbres, ainsi que sur la fertilité des sols, a été largement étudié au cours des quinze dernières années (Landmann et Bonneau, 1995). Par contre, leur impact sur la dynamique de la végétation a été peu étudié, en France en particulier.

La végétation est un excellent bio-indicateur des caractéristiques de l'environnement et de ses changements. Chaque espèce possède une niche écologique définie et sa présence est indicatrice, selon les cas, de l'acidité et de la fertilité du sol, de son régime hydrique ou du microclimat. L'ensemble des espèces présentes dans une station apporte donc une information souvent très précise sur les conditions environnementales. Les espèces de la strate arborescente sont cependant de moindre intérêt, car leur présence ne reflète souvent qu'un choix sylvicole et leur réaction aux variations du milieu est plus lente. Cette valeur bio-indicatrice des communautés végétales a été largement mise à profit dans les études de typologie des stations (Becker et Le Goff, 1988). Par contre, son utilisation pour suivre les modifications dans le temps de l'environnement forestier n'avait pas encore été abordée en France. Seuls les lichens épiphytes ont été utilisés, avec succès, pour suivre l'évolution des niveaux de pollution par le dioxyde de soufre (Deruelle et Guilloux, 1993).

(1) Nous entendons ici par végétation l'ensemble des espèces végétales présentes en un lieu géographique donné. En pratique, nous ne nous intéressons qu'aux plantes à fleurs, aux fougères et aux mousses poussant sur la terre. Toutes les strates (arbres, arbustes et herbacées) sont prises en compte, mais la strate herbacée joue un rôle prépondérant.

Au-delà de ce caractère bio-indicateur de la végétation, il est aussi important de suivre son évolution à cause du rôle fonctionnel qu'elle peut jouer, et parce que la végétation est une composante majeure de la biodiversité des écosystèmes forestiers. La végétation herbacée, en particulier, joue un rôle-clé lors des phases de régénération des peuplements, en entrant en compétition avec les jeunes semis. Dans les forêts claires, cette strate herbacée peut représenter une part importante des flux de carbone, d'eau et d'éléments minéraux. En pineraie landaise par exemple, l'indice foliaire de la Molinie (*Molinia caerulea*) est égal à la moitié de celui des arbres, son évaporation à un tiers (Loustau et Cochard, 1991). La végétation herbacée est aussi un maillon des chaînes trophiques et entre dans l'alimentation des herbivores (cervidés, insectes...). Certaines espèces de fourmis par exemple dépendent pour leur nutrition d'espèces herbacées forestières précises (Nierhaus-Wunderwald, 1995). Enfin, la diversité, au niveau inter-spécifique, est principalement concentrée dans la strate herbacée de nos forêts. Alors que la strate arborescente d'une station forestière contient un tout petit nombre d'espèces (une à une dizaine tout au plus), la strate herbacée peut contenir jusqu'à cent espèces et plus dans une même station (Dobremez *et al.*, 1998). Il est donc important d'étudier les changements de la végétation, non seulement parce que son caractère bio-indicateur peut nous aider à comprendre les modifications environnementales en cours, mais aussi parce que les modifications de ce compartiment peuvent avoir des répercussions importantes sur le fonctionnement et la diversité des écosystèmes forestiers.

Nous présentons ici une synthèse des travaux menés depuis 1990 dans le quart Nord-Est de la France sur ce sujet. Un grand nombre de relevés floristiques y avaient été réalisés à la fin des années soixante et au début des années soixante-dix, pour des études de typologie des stations. Certains de ces relevés étant parfaitement localisés, nous sommes retournés sur les mêmes sites et avons refait ces relevés. En vingt ans, d'importantes modifications de la végétation ont été observées.

LES SITES ÉTUDIÉS ET LES PROBLÈMES MÉTHODOLOGIQUES POSÉS PAR LE RÉÉCHANTILLONNAGE DE LA VÉGÉTATION

Les sites étudiés sont localisés pour la plupart en futaie, parfois en taillis-sous-futaie vieilli, de Chêne, Hêtre ou leur mélange. La quasi-totalité des peuplements était déjà adulte lors du premier inventaire qui a eu lieu entre 1969 et 1970. Quatre études majeures de rééchantillonnage ont été menées, à plusieurs échelles, et dans diverses régions naturelles. Deux ont concerné des petits massifs forestiers, dans leur totalité :

- forêt d'Amance sur le plateau lorrain avec des sols principalement mésotrophes développés sur limons plus ou moins épais (1 000 ha, 221 relevés),
- forêt de Villey-le-Sec, sur plateau calcaire (290 ha, 47 relevés). Ce dernier massif présente la particularité intéressante de contenir, côte à côte, des stations sur substrat calcaire et sur alluvions acides.

Une troisième étude a porté sur les forêts développées sur les substrats majoritairement gréseux acides du Rhétien (53 relevés dans cette petite région naturelle). Dans chacun de ces trois cas, l'échantillonnage initial avait été installé selon un maillage systématique. La dernière étude a eu lieu dans les hêtraies de tout le Nord-Est de la France, selon un échantillonnage stratifié permettant de couvrir les principaux types de sols existants (100 placettes). Au total, 421 relevés de végétation ont été ainsi refaits, entre 1990 et 1992.

Plusieurs précautions importantes doivent être prises lors de telles études de rééchantillonnage. Seuls les relevés bien relocalisés ont été retenus, souvent grâce à des marques de peinture encore visibles sur les arbres. Les méthodes d'inventaire ont été reproduites à l'identique,

que ce soit pour les surfaces parcourues (le plus souvent circulaires et de surface fixée entre 100 et 400 m², mais aussi parfois correspondant à l'aire minimale, et variant dans ce cas de 100 à 3 000 m²) ou pour les notations d'abondance-dominance de chaque espèce présente, faites selon l'échelle classique de Braun-Blanquet à six niveaux. Les auteurs des premiers relevés ont contrôlé cette homogénéité des méthodes mises en œuvre.

Lors de la phase d'analyse comparative des relevés aux deux dates, les espèces d'identification douteuse ont été écartées. Le cas s'est produit principalement pour quelques mousses (genres *Eurhynchium* et *Hypnum*) et graminoides (genres *Agrostis* et *Carex*). La strate arborescente, dont la composition en espèces est largement contrôlée par l'action humaine, n'a pas été prise en compte dans les analyses. En forêts de Villey-le-Sec et d'Amance, où les dates des relevés dans l'année ne correspondaient pas toujours entre les deux passages, nous avons écarté les espèces vernalles, visibles seulement au printemps. Les 100 placettes de hêtraies du Nord-Est ont fait l'objet de deux passages dans l'année lors des deux campagnes, ce qui est bien sûr la situation idéale. Enfin, nous avons privilégié dans les analyses l'information apportée par les changements de présence ou d'absence des espèces, en n'utilisant que rarement les changements d'abondance, trop sujets à des biais liés aux auteurs des observations.

Les changements de diverses caractéristiques de la végétation ont été étudiés. Nous nous sommes tout d'abord intéressés aux changements du nombre d'espèces dans chaque placette (diversité spécifique). Puis, nous avons analysé les changements de fréquence de présence de chaque espèce dans chaque région d'étude (nombre de placettes où une espèce a été relevée aux deux dates). Enfin, les changements environnementaux traduits par la dynamique de la végétation ont été appréciés de deux façons différentes. D'une part, nous avons comparé les valeurs indicatrices d'Ellenberg moyennes de chaque site aux deux dates (voir encadré, p. 222). Cette méthode efficace et simple a l'inconvénient d'être basée sur l'utilisation de coefficients établis pour une région donnée (l'Allemagne du Sud) et qui ne sont pas forcément extrapolables à d'autres contextes écologiques. Nous avons donc, d'autre part, utilisé les changements de position des sites sur les gradients écologiques mis en évidence par une analyse multivariable des données (analyse factorielle des correspondances).

RÉSULTATS

Nombre d'espèces dans chaque placette

Dans la plupart des cas, le nombre d'espèces observées dans chaque placette a augmenté significativement entre les deux dates (tableau I, p. 223). Sur les sols calcaires et mésotrophes, l'augmentation est importante et toujours significative. Sur les sols acides, cette augmentation est moins marquée, et n'est significative que dans les hêtraies. Sur les sols acides du Rhétien, on observe une baisse non significative du nombre d'espèces par site. Cette augmentation du nombre d'espèces est généralement liée à une augmentation de l'éclairement relatif au sol, à la suite de coupes ou de chablis. Cependant, même dans les sites n'ayant connu aucune perturbation au cours des vingt années écoulées, on observe une augmentation encore forte.

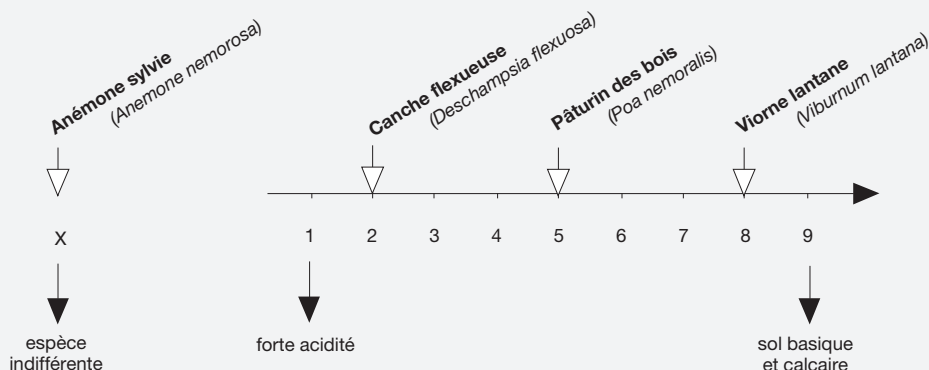
Fréquence de présence des espèces dans chaque région d'étude

Pour la majorité des espèces, le nombre de placettes où on les rencontre a augmenté entre les deux dates d'échantillonnage. Certaines espèces, pourtant bien connues par les auteurs lors du premier échantillonnage, sont apparues dans les relevés de certaines zones d'étude

Les valeurs indicatrices d'Ellenberg

H. Ellenberg a développé en Allemagne, à partir des années 1950, un système de mesure de la valeur indicatrice de chaque espèce végétale vis-à-vis des facteurs de l'environnement. Divers coefficients, correspondant chacun à un paramètre donné du milieu, ont été définis. Nous avons retenu dans notre étude quatre coefficients : R, pour le pH du sol, N, pour le niveau de nutrition azotée, L, correspondant à l'éclairement relatif, et F pour le régime hydrique. Ces coefficients prennent des valeurs comprises entre 1 et 9 (R, L, N) ou 1 et 12 (F). Les valeurs basses de l'échelle sont attribuées aux espèces ayant un optimum de croissance ou de présence pour des valeurs faibles du facteur considéré, les valeurs fortes aux espèces rencontrées préférentiellement dans les sites ayant de fortes valeurs du facteur. Les espèces indifférentes sont notées 'x'. Elles ne sont pas prises en compte dans la suite des calculs.

Valeur indicatrice d'Ellenberg : coefficient R (pH du sol)



On peut calculer, pour chacun de ces coefficients, une valeur moyenne sur toutes les espèces présentes dans un site donné. Cette moyenne peut être pondérée par l'abondance-dominance de chaque espèce (ce qui n'est pas le cas dans nos études). On obtient ainsi, à partir d'un relevé de végétation, une indication relativement précise des conditions de lumière, de l'acidité, des niveaux de nutrition azotée et du régime hydrique de la station. On a pu vérifier que ces valeurs indicatrices calculées sont très bien corrélées avec des mesures directes des mêmes paramètres. Les principales limites à cet outil puissant sont le manque de données fiables pour de nombreuses espèces, et le caractère souvent régional de leur valeur indicatrice. Ce système a été par la suite étendu à d'autres régions : Suisse (Landolt, 1977), Vosges (Gégout, 1995).

alors qu'elles n'y avaient pas été vues auparavant. Ce sont pour la plupart des espèces indicatrices de sols riches en éléments nutritifs, ou à caractère nitrophile (telles que *Arum maculatum*, *Taraxacum officinale*, *Alliaria petiolata*, *Rumex* sp., *Rubus idaeus*, *Galium aparine*...). De même, les espèces déjà présentes au début des années 1970, mais qui ont progressé depuis, ont en commun d'être indicatrices de niveaux élevés de disponibilité en azote. L'ouverture des peuplements, lorsqu'elle est forte, favorise cette progression sans l'expliquer entièrement. Dans les quatre études, *Galeopsis tetrahit*, l'Ortie royale, progresse significativement : dans la forêt d'Amance où elle était présente en 1971 dans 4 % des placettes échantillonnées, elle atteint maintenant 39 % de fréquence de présence. La progression de cette espèce a été aussi notée dans d'autres études de la dynamique de la végétation menées en Europe [Bürger en Allemagne (1988), Van Breemen et Van Dijk en Hollande (1988)]. À côté de la progression massive de ces espèces de milieux riches, on observe, plus discrète, la progression de certaines espèces acidoclines ou acidiphiles, particulièrement sur les substrats acides de la forêt

Tableau I Variation du nombre d'espèces moyen (diversité spécifique) par placette entre 1970 et 1990

Zone d'étude	Nombre d'espèces initial	Variation entre les deux dates
Forêt d'Amance	19	+ 6 ***
Forêt de Villey-le-Sec	31	+ 5 ***
Rhétien	21	- 1 ns
Hêtraies du Nord-Est (total)	24	+ 7 ***
dont <i>fortement ouvertes</i>		+ 13
<i>moyennement perturbées</i> . .		+ 6
<i>non perturbées</i>		+ 4

Niveau de signification statistique des variations : *** : $P < 0,001$, ** : $P < 0,01$, * : $P < 0,05$, ns : non significatif.

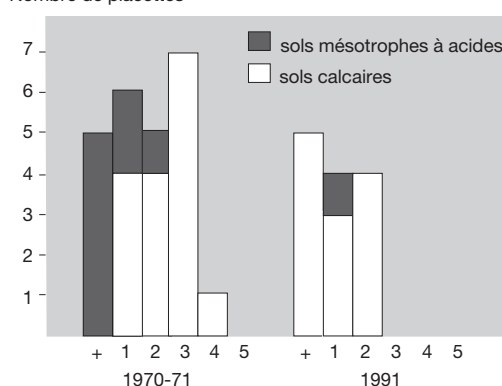
de Villey-le-Sec (*Polytrichum formosum*, *Lonicera periclymenum*). Parmi les espèces ligneuses, il faut noter la progression du Hêtre en strate arbustive, au détriment du Chêne, dans les chênaies de la forêt d'Amance, qui est sans doute liée à la conversion progressive en futaie de ces anciens taillis-sous-futaie.

Quelques très rares espèces régressent en fréquence. Deux régressent dans les quatre études. La plus notable est la Mousse des jardiniers, *Rhytidiadelphus triquetrus*, qui, dans les hêtraies du Nord-Est, disparaît dans 11 % des placettes, et dans 21 % des placettes de la forêt d'Amance. Ailleurs, son coefficient d'abondance-dominance diminue significativement (figure 1). L'autre est *Galium sylvaticum*. Ces deux espèces sont aussi notées en régression en Suisse (Kuhn *et al.*, 1987) et en Allemagne (Wilmanns, 1989).

Figure 1 RÉGRESSION DE LA MOUSSE *RHYTIDIADELPHUS TRIQUETRUS* DANS LES HÊTRAIES DU NORD-EST DE LA FRANCE ENTRE 1970 ET 1990

On a indiqué la fréquence de présence de l'espèce (nombre de placettes où elle a été observée sur un total de 100 placettes explorées) selon son abondance-dominance dans chaque placette, pour les deux dates d'échantillonnage. L'abondance-dominance varie de + (espèce rare dans la placette) à 5 (espèce très abondante) selon une échelle définie par Braun-Blanquet

Nombre de placettes



Variations des valeurs indicatrices d'Ellenberg

Un phénomène commun aux quatre études apparaît : l'augmentation significative du coefficient N d'Ellenberg pour l'azote, indiquant une plus grande disponibilité de cet élément (tableau II et figure 2, p. 224). Les tendances observées pour les autres coefficients ne sont pas aussi fortes et générales. La valeur indicatrice L pour la lumière diminue dans les forêts de Villey-le-Sec, d'Amance, et du Rhétien, dénotant une fermeture des peuplements. Elle tend

à augmenter dans les hêtraies du Nord-Est, surtout celles qui ont été perturbées entre les deux dates. Les valeurs indicatrices d'acidité, R, et d'humidité du sol, F, ne varient pas de façon cohérente dans les quatre études. Il n'y a donc pas indication d'une acidification nette dans notre échantillon.

Tableau II **Variations de la valeur indicatrice d'Ellenberg moyenne pour l'azote (N) entre les deux dates d'échantillonnage**

Cet indice est d'autant plus fort que les relevés contiennent une plus grande proportion d'espèces exigeantes en azote

Zone d'étude	Valeur initiale de N	Variation entre les deux dates
Forêt d'Amance	4,9	+ 0,3 ***
Forêt de Villey-le-Sec	5,0	+ 0,1 **
Rhétien	4,0	+ 0,3 ***
Hêtraies du Nord-Est	4,8	+ 0,2 **

Niveau de signification statistique des variations : *** : $P < 0,001$, ** : $P < 0,01$, * : $P < 0,05$, ns : non significatif.

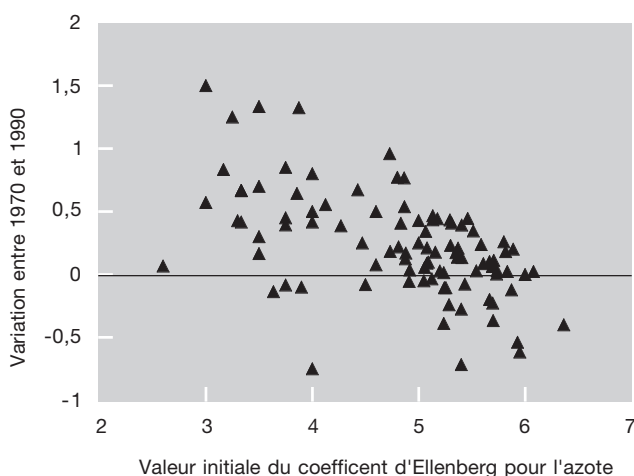


Figure 2
ÉVOLUTION DU COEFFICIENT N D'ELLENBERG, indiquant, à partir de la végétation, les modifications de la disponibilité en azote des sols : valeur initiale en abscisse, et différence 1990-1970 en ordonnée

Analyses factorielles des correspondances

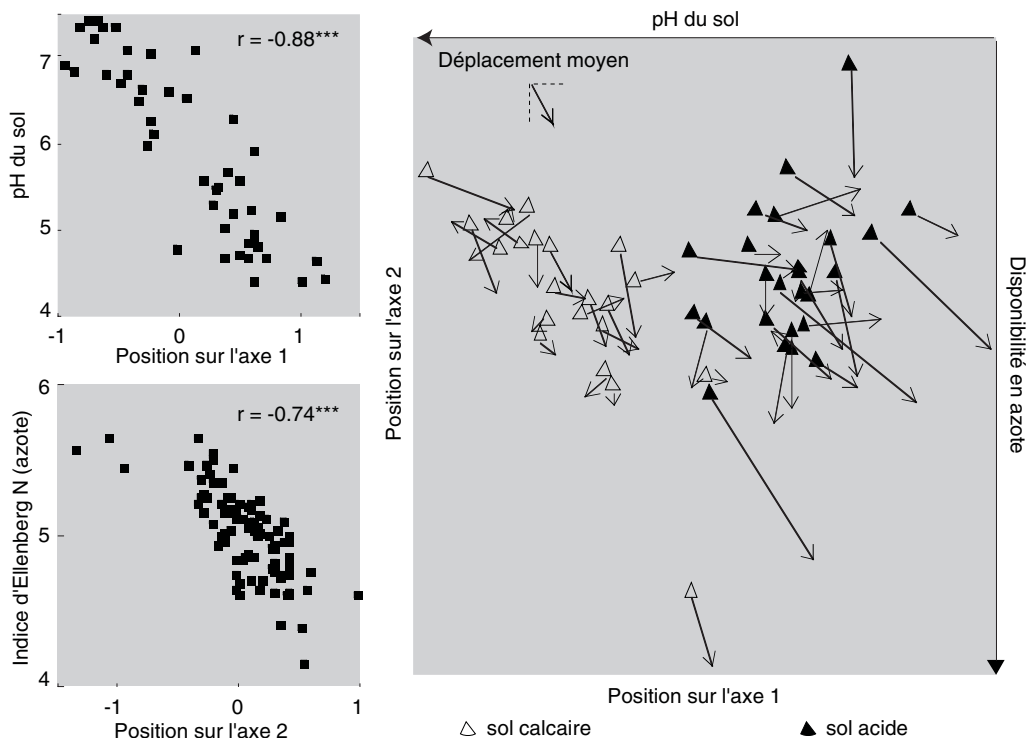
Les changements de position de chaque relevé floristique sur les axes issus d'analyse factorielle des correspondances confirment les observations précédentes d'une augmentation générale de la disponibilité en éléments nutritifs, le plus souvent sans pouvoir distinguer la part liée à une augmentation de la disponibilité en azote de celle liée aux variations de l'acidité des sols, ces deux facteurs étant fortement liés. Nous présentons toutefois ici les résultats obtenus en forêt de Villey-le-Sec, qui permettent de séparer les évolutions de la végétation liées à chacun de ces deux facteurs. Dans cette forêt, le premier axe de l'analyse floristique est très lié au pH du sol, alors que le second est lié à la disponibilité en azote (figure 3, p. 225).

On observe un déplacement net de toutes les placettes vers un stade plus riche en espèces nitrophiles (vers le bas), indiquant une augmentation de la disponibilité en azote. Par contre, les modifications des placettes sur l'axe de pH dépendent du substrat. Sur les sols alluviaux

acides, il y a progression des espèces acidiphiles ou régression des neutrophiles (déplacement vers la droite), indiquant une acidification du milieu au cours des dix-neuf années écoulées, alors que, sur les sols calcaires, aucun changement net du niveau d'acidité n'apparaît.

Figure 3

**ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES DE LA VÉGÉTATION
EN FORÊT DE VILLEY-LE-SEC. Corrélation entre l'axe 1 et le pH du sol,
et entre l'axe 2 et la valeur indicatrice d'Ellenberg pour l'azote, N (à gauche).
Déplacement des placettes entre 1972 et 1991 dans le plan des axes factoriels 1 et 2 (à droite).
On a représenté par des symboles différents les placettes sur sol acide et calcaire**



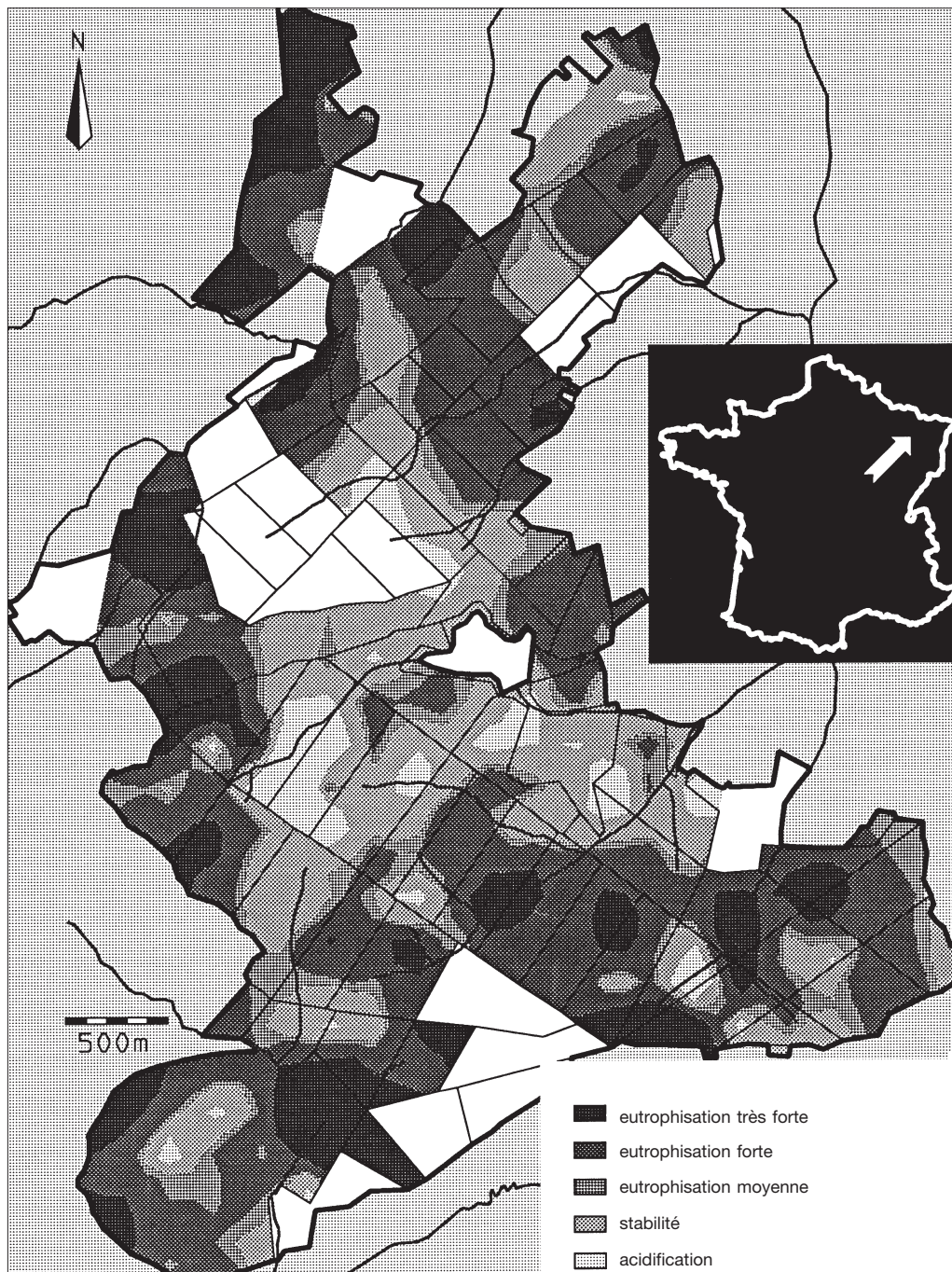
DISCUSSION : CAUSES POSSIBLES DES CHANGEMENTS OBSERVÉS

Les changements de la végétation observés dans les quatre zones étudiées, quels que soient les indicateurs utilisés, indiquent un enrichissement significatif des sites en espèces nitrophiles, et témoignent donc d'une augmentation de la disponibilité en azote dans les sols. On observe la même tendance actuelle dans les autres études européennes du même type (Becker *et al.*, 1992 ; Falkengren-Grerup et Eriksson, 1990 ; Medwecka-Kornas et Gawronski, 1991). Par similitude avec l'enrichissement des eaux en azote, on peut parler d'une eutrophisation de la végétation des forêts françaises et européennes. On n'observe pas de phénomène aussi net concernant l'évolution de l'acidité des sols. Cependant, lorsque la végétation permet de séparer disponibilité en azote et acidité du sol, on observe une acidification concomitante de l'eutrophisation. Deux types de causes peuvent expliquer ces changements : la dynamique des peuplements ou les modifications de l'environnement global.

Figure 4

**CARTOGRAPHIE DES CHANGEMENTS DE LA VÉGÉTATION EN FORÊT D'AMANCE
(Meurthe-et-Moselle), ENTRE 1970 ET 1990**

Les zones en blanc n'ont pas été échantillonnées (jeunes plantations ou coupes de régénération à l'une ou l'autre des deux dates)



Dynamique des peuplements

L'ouverture des peuplements, que ce soit après coupe ou chablis, pourrait expliquer une part de l'eutrophisation, par stimulation de la minéralisation de l'humus, et donc augmentation de l'azote disponible pour les plantes. Certains de nos peuplements, dans les hêtraies du Nord-Est en particulier, avaient en effet été fortement ouverts entre les deux campagnes de relevés, et nous avons vu au cours des analyses précédentes que ces perturbations favorisaient l'eutrophisation. Cependant, même après avoir retiré ces placettes de l'analyse, le phénomène reste très significatif. De plus, la valeur indicatrice d'Ellenberg pour la lumière indique plutôt une fermeture des peuplements dans les trois études de Villey-le-Sec, Amance et du Rhétien. Enfin, nous n'avons jamais observé de relation entre les variations des coefficients N et L, indiquant donc une absence de corrélation entre degré d'ouverture des peuplements et eutrophisation. D'autres causes, plus anciennes, sont parfois invoquées pour expliquer cette augmentation de la disponibilité en azote. L'arrêt de pratiques intensives appauvrissantes, telles que le soutrage (enlèvement de litière), la fauche du tapis herbacé, ou la surexploitation du taillis pourraient expliquer une augmentation consécutive du stock de matière organique et donc du stock d'azote du sol. Nous n'avons aucune information sur l'ampleur et la date d'abandon de ces pratiques.

Le vieillissement des arbres est connu pour être un facteur d'acidification des sols. En effet, le prélèvement par les arbres puis l'immobilisation dans le bois de cations, chargés positivement, s'accompagne d'une excrétion d'ions H^+ acidifiants dans le sol. L'établissement de bilans minéraux précis, seuls aptes à quantifier la part d'acidification liée à cette augmentation de la masse de bois sur pied, reste délicat (Dambrine *et al.*, 1998). On peut toutefois noter que tous les peuplements que nous avons étudiés étaient déjà âgés lors du premier passage (une centaine d'années en moyenne pour les hêtraies du Nord-Est) et que, donc, le taux de prélèvement cationique a dû y être depuis relativement bas.

Changements de l'environnement global

Les dépôts azotés atmosphériques sont souvent évoqués, mais leur rôle dans les changements de végétation observés en Europe est encore débattu. En forêt d'Amance, où un maillage systématique des relevés de végétation a été utilisé, nous avons pu cartographier l'eutrophisation de la végétation (figure 4, p. 226). On observe une structure spatiale très nette, avec une eutrophisation forte sur les lisières Sud et Sud-Ouest du massif, alors que le cœur du massif tend à s'acidifier. Cette structure suggère une action des dépôts atmosphériques, connus pour être plus importants sur les bordures forestières. Nous y avons mesuré des dépôts, dans les pluvioléssivats, de 8 à 12 kg/ha/an d'azote, et Aussenac *et al.* (1972) y mesuraient 20-30 kg/ha/an au début des années 1970. D'autres observations renforcent l'hypothèse d'apports polluants azotés. De façon générale, les émissions de composés azotés en Europe ont augmenté fortement et régulièrement depuis 1950 (Lövblad et Erisman, 1992). Localement, les études de rééchantillonnage de sols menées en parallèle à nos études de dynamique de la végétation montrent une forte augmentation du contenu en azote des sols.

L'azote, en plus de son action fertilisante, peut aussi avoir une action acidifiante, en particulier s'il est apporté sous forme d'ammonium et s'il est lessivé hors du sol sous forme de nitrate. En interaction avec d'autres composés atmosphériques acidifiants, tel que le SO_2 , il pourrait en partie expliquer la légère acidification de la végétation que nous avons notée en sols acides. La mousse *Rhytidiadelphus triquetrus*, qui a fortement régressé et est maintenant cantonnée aux sols calcaires (figure 1, p. 223), pourrait être sensible à ces apports acidifiants, comme le suggèrent des observations similaires faites sur cette espèce en Angleterre (Adams et Preston, 1992).

Les variations du climat à plus ou moins long terme peuvent expliquer une partie des changements de végétation observés. À court terme, certaines mousses sont connues pour être fortement sensibles aux conditions hygrométriques de l'année. Leur abondance relative, voire leur présence ou absence pourraient donc varier rapidement d'une année sur l'autre. Enfin, *Galium sylvaticum*, qui est en limite Ouest de son aire de répartition en Lorraine, pourrait être sensible à des variations à plus long terme du climat qui expliqueraient sa régression actuelle.

CONCLUSIONS

Ces études soulignent, une fois de plus, l'intérêt majeur de la végétation dans le diagnostic écologique des stations forestières. Celle-ci est un marqueur efficace des changements de l'environnement forestier au cours du temps, et nous a permis de mettre en évidence un phénomène nouveau, l'eutrophisation des milieux forestiers. Nos résultats montrent aussi tout l'intérêt potentiel des suivis à long terme d'écosystèmes forestiers, tels que ceux pratiqués dans le réseau RENECOFOR. Contrairement à ce qu'on a longtemps pensé, la végétation forestière, même dans les peuplements adultes, n'est pas un compartiment stable. Des variations significatives interviennent à l'échelle de quelques décennies, pour la plupart dues à des actions directes ou indirectes de l'homme. Même si ces variations ne sont pas d'ordre à remettre en cause les typologies forestières antérieures établies à partir de la végétation, elles méritent toute notre attention. L'eutrophisation mise en évidence pourrait avoir des conséquences patrimoniales importantes. On pourrait par exemple se réjouir de l'augmentation importante de la diversité en espèces des stations forestières entre les années 1970 et 1990. Cependant, celle-ci se fait surtout au profit d'espèces relativement exigeantes en azote et en éléments nutritifs, qui ne sont pas toujours les espèces de plus grande valeur patrimoniale. On a pu montrer expérimentalement que des apports d'azote excessifs entraînaient, à terme, des diminutions sensibles de la diversité du milieu. Cet enrichissement en azote pourrait aussi en partie expliquer une part des augmentations de croissance radiale des arbres, ou de productivité des peuplements observées en France (Becker *et al.*, 1994) et en Europe (Spiecker *et al.*, 1996).

J.-L. DUPOUEY – Anne THIMONIER
Florence LEBOURGEOIS – M. BECKER
J.-F. PICARD
Équipe Phytoécologie
Unité d'Écophysiologie forestière
INRA – Centre de Recherches de Nancy
F-54280 CHAMPENOUX

J. TIMBAL
Équipe Écophysiologie et Nutrition
Station de Recherches forestières
INRA
Domaine de l'Hermitage
BP 45 F-33611 GAZINET CEDEX

BIBLIOGRAPHIE

- ADAMS (K.J.), PRESTON (C.D.). — Evidence for the effects of atmospheric pollution on bryophytes from national and local recording. In : Biological recording of changes in British wildlife. ITE symposium n° 26, Proceedings of a Conference held on 13 March 1990 / P.T. Harding (Eds). — London : HMSO, 1992. — pp. 31-43.
- AUSSENAC (G.), BONNEAU (M.), LE TACON (F.). — Restitution des éléments minéraux au sol par l'intermédiaire de la litière et des précipitations dans quatre peuplements forestiers de l'Est de la France. — *Oecologia Plantarum*, 7, 1972, pp. 1-21.
- BECKER (M.), BERT (G.D.), BOUCHON (J.), PICARD (J.-F.), ULRICH (E.). — Tendances à long terme observées dans la croissance de divers feuillus et résineux du Nord-Est de la France depuis le milieu du XIX^e siècle. — *Revue forestière française*, vol. XLVI, n° 4, 1994, pp. 335-341.
- BECKER (M.), BONNEAU (M.), LE TACON (F.). — Long-term vegetation changes in an *Abies alba* forest : natural development compared with response to fertilization. — *Journal of Vegetation Science*, 3, 1992, pp. 467-474.
- BECKER (M.), LE GOFF (N.). — Diagnostic stationnel et potentiel de production. — *Revue forestière française*, vol. XL, numéro spécial "Diagnostics en forêt", 1988, pp. 29-43.
- BÜRGER (R.). — Veränderungen der Bodenvegetation in Wald- und Forstgesellschaften des mittleren und südlichen Schwarzwaldes. — *KfK-PEF*, 52, 1988, 163 p.
- DAMBRINE (E.), BONNEAU (M.), RANGER (J.). — Bilan minéral dans les écosystèmes forestiers : rêves et réalités. — *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences de Paris*, vol. 83, n° 6, 1997, pp. 141-150.
- DERUELLE (S.), GUILLLOUX (F.). — Évolution de la végétation lichenique en région parisienne entre 1981 et 1991, en relation avec la qualité de l'air. — *Bull. Inf. Assoc. Fr. Lichen.*, Mémoire 2, 1993, pp. 23-43.
- DOBREMEZ (J.-F.), CAMARET (S.), BOURJOT (L.), ULRICH (E.), BRÈTHES (A.), COQUILLARD (P.), DUMÉ (G.), DUPOUEY (J.-L.), FORGEARD (F.), GUEUGNOT (J.), PICARD (J.-F.), SAVOIE (J.-M.), SCHMITT (A.), TIMBAL (J.), TOUFFET (J.), TRÉMOLIÈRES (M.). — RENECOFOR - Inventaire et interprétation de la composition floristique des 101 peuplements (campagne 1994-95). — Fontainebleau : ONF - Département des Recherches techniques, 1997. — 513 p.
- ELLENBERG (H.), WEBER (H.E.), DÜLL (R.), WIRTH (V.), WERNER (W.), PAULISSEN (D.). — Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. — *Scripta Geobotanica*, 18, 1991, pp. 1-258.
- FALKENGREN-GRERUP (U.), ERIKSSON (H.). — Changes in soil, vegetation and forest yield between 1947 and 1988 in beech and oak sites of southern Sweden. — *Forest Ecology and Management*, 38, 1990, pp. 37-53.
- GÉGOUT (J.-C.). — Étude des relations entre les ressources minérales du sol et la végétation forestière dans les Vosges. — Nancy : Université Henri-Poincaré, Nancy I - Faculté des Sciences ; ENGREF, 1995. — 2 volumes, 215 p. + 110 p. (annexes) (Thèse de Doctorat en Biologie forestière).
- KUHN (N.), AMIET (R.), HUFSCHEID (N.). — Veränderungen in der Waldvegetation der Schweiz infolge Nährstoffanreicherungen aus der Atmosphäre. — *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, n° 158, 1987, pp. 77-84.
- LANDMANN (G.), BONNEAU (M.). — Forest decline and atmospheric deposition effects in the French mountains. — Berlin : Springer Verlag, 1995. — 461 p.
- LANDOLT (E.). — Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. — *Veröffentlichungen des Geobotanischen Institut der ETH, Stiftung Rübel*, Zürich, 64, 1977, 208 p.
- LOUSTAU (D.), COCHARD (H.). — Utilisation d'une chambre de transpiration portable pour l'estimation de l'évapotranspiration d'un sous-bois de Pin maritime à Molinie (*Molinia caerulea* (L.) Moench). — *Annales des Sciences forestières*, vol. 48, 1991, pp. 29-45.
- LÖVBLAD (G.), ERISMAN (J.W.). — Deposition of nitrogen in Europe. In : Critical loads for nitrogen, workshop Lökeberg, Suède / P. Grennfelt, E. Thörnelöf (Eds). — *Nord*, 41, 1992, pp. 239-286.
- MEDWECKA-KORNÁS (A.), GAWRONSKI (S.). — Acidophilous mixed forests in the Ojcow National Park : thirty years pressure of air pollution. — *Veröffentlichungen des Geobotanischen Institut der ETH, Stiftung Rübel*, Zürich, 106, 1991, pp. 174-207.
- NIERHAUS-WUNDERWALD (D. von). — [Les fourmis en forêt et leur rôle dans la dissémination des semences et des fruits]. — *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, vol. 146, n° 6, 1995, pp. 449-456 (en allemand).
- SPIECKER (H.), MIELIKÄINEN (K.), KÖHL (M.), SKOVSGAARD (J.-P.) Eds. — Growth trends in European forests. — Berlin : Springer Verlag, 1996. — 372 p.
- THIMONIER (A.). — Changements de la végétation et des sols en forêt tempérée européenne au cours de la période 1970-1990 : rôle possible des apports atmosphériques. — Université Paris XI-Orsay, 1994. — 177 p. (Thèse).
- THIMONIER (A.), DUPOUEY (J.-L.), BOST (F.), BECKER (M.). — Simultaneous eutrophication and acidification of a forest ecosystem in North-East France. — *New Phytologist*, 126, 1994, pp. 533-539.
- THIMONIER (A.), DUPOUEY (J.-L.), TIMBAL (J.). — Floristic changes in the herb-layer vegetation of a deciduous forest in the Lorraine Plain under the influence of atmospheric deposition. — *Forest Ecology and Management*, 55, 1992, pp. 149-167.
- VAN BREEMEN (N.), VAN DIJK (H.F.G.). — Ecosystem effects of atmospheric deposition of nitrogen in The Netherlands. — *Environmental Pollution*, 54, 1988, pp. 249-274.
- WILMANN (O.). — Zur Frage der Reaktion der Waldboden-Vegetation auf Stoffeintrag durch Regen - eine Studie auf der Schwäbischen Alb. — *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 160, 1989, pp. 165-175.

**CHANGEMENTS DE LA VÉGÉTATION DANS LES FORÊTS DU NORD-EST DE LA FRANCE ENTRE 1970 ET 1990
(Résumé)**

Cet article présente une synthèse des recherches menées sur les changements de la végétation intervenus entre 1970 et 1990 dans les forêts feuillues du Nord-Est de la France. Plus de 400 relevés de végétation ont été refaits, à vingt ans d'intervalle, dans les mêmes sites. On observe une forte augmentation du nombre d'espèces trouvées dans chaque site (diversité spécifique). Cette augmentation est principalement due à la progression d'espèces exigeantes en azote, dites nitrophiles. De façon concomitante mais plus discrète, on observe une augmentation de la fréquence des espèces préférant les sols acides, dites acidiphiles. Une seule espèce, la mousse des jardiniers, régresse fortement. Les causes de ces changements sont discutées : si le vieillissement des peuplements peut en partie expliquer la progression des espèces acidiphiles, l'augmentation de la fréquence des espèces nitrophiles est plus probablement liée aux dépôts atmosphériques azotés, qui ont fortement progressé en Europe de l'Ouest au cours de la même période.

**CHANGES IN THE VEGETATION OF THE FORESTS OF NORTHEASTERN FRANCE BETWEEN 1970 AND 1990
(Abstract)**

This article presents a summary of research conducted on changes in vegetation that occurred between 1970 and 1990 in the deciduous forests of northeastern France. More than 400 vegetation records were made at an interval of 20 years on the same sites. A significant increase in the number of species found at each site (specific diversity) was observed. This is due primarily to the progression of nitrogen-loving species. Concurrently, but less patently, an increase in the frequency of species that prefer acid soils, or acidophilous species, is observed. Only one species — garden moss — is in strong regression. The causes of these changes are discussed — aging of stands may partly explain the progression of acidophilous species while the greater frequency of nitrogen-loving species is more likely to be related to deposition of atmospheric nitrogen which significantly increased in Western Europe over the same period.
