

Zeitschrift: Saussurea : journal de la Société botanique de Genève
Herausgeber: Société botanique de Genève
Band: 19 (1988)

Artikel: Modifications de la composition floristique dans la forêt genevoise et pollution atmosphérique par l'azote : le lien est-il réel? : une réponse à l'Institut fédéral de recherches forestières
Autor: Werdenberg, Karl / Hainard, Pierre
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1099207>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 17.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Modifications de la composition floristique dans la forêt genevoise et pollution atmosphérique par l'azote. Le lien est-il réel? Une réponse à l'Institut fédéral de recherches forestières

KARL WERDENBERG
&
PIERRE HAINARD

RÉSUMÉ

WERDENBERG, K. & P. HAINARD (1989). Modifications de la composition floristique dans la forêt genevoise et pollution atmosphérique par l'azote. Le lien est-il réel? Une réponse à l'Institut fédéral de recherches forestières. *Saussurea* 19: 57-66. En français, résumés français et anglais.

L'étude de l'évolution de relevés faisant partie du *Quercus-Carpinetum molinietosum* Etter & Morier-Genoud 1963, sous-association forestière typique de la région genevoise (Suisse), a conduit des auteurs de l'Institut fédéral de recherches forestières de Birmensdorf (Suisse) à conclure que les modifications de composition floristique observées entre 1942-47 et 1985 étaient imputables à l'enrichissement du sol consécutif à la pollution atmosphérique par l'azote. Cette explication est étayée par des changements dans les valeurs indicatrices (d'après Ellenberg). A notre sens, la dimension historique d'abord, et l'interprétation délicate des valeurs indicatrices ensuite, sont deux éléments cruciaux dans l'évaluation des changements, qui relativisent beaucoup l'explication proposée.

ABSTRACT

WERDENBERG, K. & P. HAINARD (1989). Modification of floristic composition in a Genevan forest and atmospheric nitrogen pollution. Is there a real link? An answer to the Federal Institute of Forestry Research. *Saussurea* 19: 57-66. In French, French and English abstracts.

Having studied the evolution of a typical forest association of the Geneva area (Switzerland) (*Quercus-Carpinetum molinietosum* Etter & Morier-Genoud 1963), authors from the Swiss Federal Institut of Forestry Research conclude that the changes which occurred between 1942-47 and 1985 are linked to nitrogen deposits brought by atmospheric pollution. Their conclusion is supported by changes in ecological values (from Ellenberg). For us, the history of this type of forest is essential, and along with the difficulty to analyse the ecological values, it makes their conclusion less sure.

L'année dernière, l'Institut fédéral de recherches forestières de Birmensdorf (ci-après IFRF) publie une étude intitulée: *Veränderungen in der Waldvegetation der Schweiz infolge Nährstoffanreicherungen aus der Atmosphäre* (KUHNS & al., 1987). La traduction

française proposée est libellée en ces termes: *Modifications de la végétation forestière en Suisse par suite d'enrichissement en substances nutritives véhiculées par l'atmosphère*. C'est en comparant d'anciens relevés de végétation forestière (effectués entre 1942 et 1947 par ETTER & MORIER-GENOUD (1963)) à des relevés récents (effectués par l'IFRF en 1985) et en les analysant par le biais des valeurs indicatrices d'après ELLENBERG (1979) que les auteurs sont parvenus à cette conclusion: l'azote déposé par des pollutions atmosphériques est responsable de changements dans la composition floristique des forêts examinées. Ces forêts sont situées dans le Nord de la Suisse d'une part, et dans la région genevoise d'autre part.

Les résultats pour l'une des régions étudiées — Genève — ont particulièrement suscité notre intérêt, puisque ce canton est depuis longtemps l'objet de diverses recherches conduites par notre laboratoire, notamment dans le domaine de la connaissance de sa forêt (par exemple, MICHEL & al., 1984).

En examinant ces résultats, il nous est apparu que l'explication proposée méritait d'être quelque peu nuancée. Il est vrai qu'elle s'inscrit dans le cadre du débat délicat et controversé sur les incidences réelles et détectables de diverses pollutions atmosphériques. Dans ce contexte, une déclaration aussi abrupte a de quoi surprendre et elle incite tout naturellement à l'examiner de plus près. Les commentaires qui seront l'objet de cet article ne concerneront que la région genevoise. Nous ne prétendons pas connaître aussi bien la forêt du Nord de la Suisse pour étendre nos commentaires à cette région.

Les faits

Neuf relevés, effectués entre 1942 et 1947 dans une sous-association commune de la forêt genevoise et de ses environs immédiats (le *Quercus-Carpinetum molinietosum* Etter & Morier-Genoud 1963), ont pu être retrouvés et réexaminés par les auteurs de l'IFRF.

Les calculs qu'ils ont effectués pour les neuf relevés anciens et récents, via les valeurs indicatrices d'Ellenberg, ont permis notamment d'obtenir des moyennes pour la valeur d'azote (N), c'est à dire la richesse du sol. Ces moyennes, ainsi que leur évolution, sont schématisées dans la figure 1.

L'allure générale de l'évolution de ce paramètre a incité les auteurs à considérer qu'un test statistique de significativité s'avérait superflu, l'enrichissement étant manifeste. Sans prétendre qu'un tel test aurait infirmé l'évaluation des auteurs, il aurait été intéressant de pouvoir disposer d'une confirmation statistique de cette évolution. Elle aurait ainsi pu servir de base sûre pour la comparaison des méthodes utilisées, puisque notre approche du phénomène aboutit à des conclusions dissemblables.

En guise de préambule à notre analyse, nous avons simplement recalculé les valeurs écologiques moyennes pour les neuf anciens relevés et les neuf relevés récents. La référence consultée est toutefois différente: c'est à l'ouvrage de LANDOLT (1977) que nous avons emprunté les valeurs indicatrices, et non à l'ouvrage de ELLENBERG (1979), comme l'ont fait les auteurs de l'article original. En outre, comme le recommande Landolt, une pondération des valeurs indicatrices de chaque espèce a été opérée d'après le coefficient d'abondance-dominance attribué à chacune d'entre elles (coefficient " + " compté une fois, coefficient " 1 " compté deux fois, et ainsi de suite jusqu'au coefficient " 5 " compté six fois). Cette opération a pour but de relativiser l'importance de chaque espèce dans le calcul de la moyenne, une espèce très abondante ayant logiquement plus à exprimer qu'une espèce faiblement représentée.

Les résultats de cette opération sont schématisés dans la figure 2.

Les tests statistiques (test de t) auxquels ont été soumises les moyennes obtenues avec les valeurs indicatrices de Landolt pour 1942-47 et 1985 montrent qu'en aucun cas les

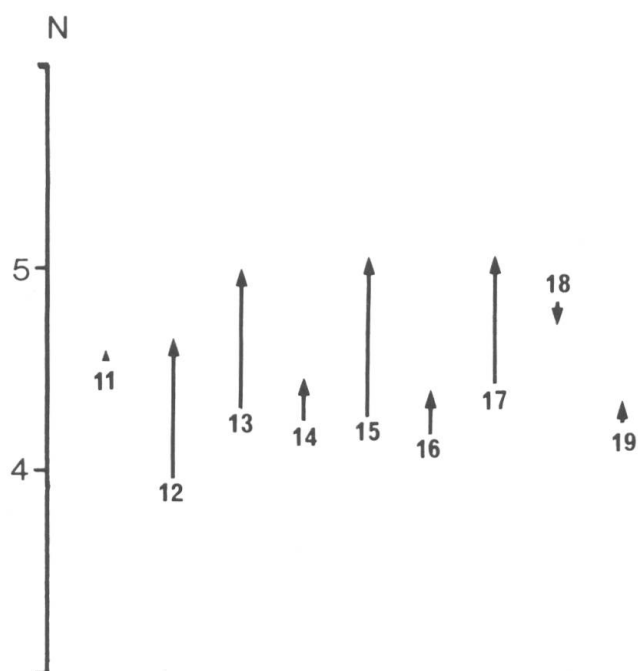
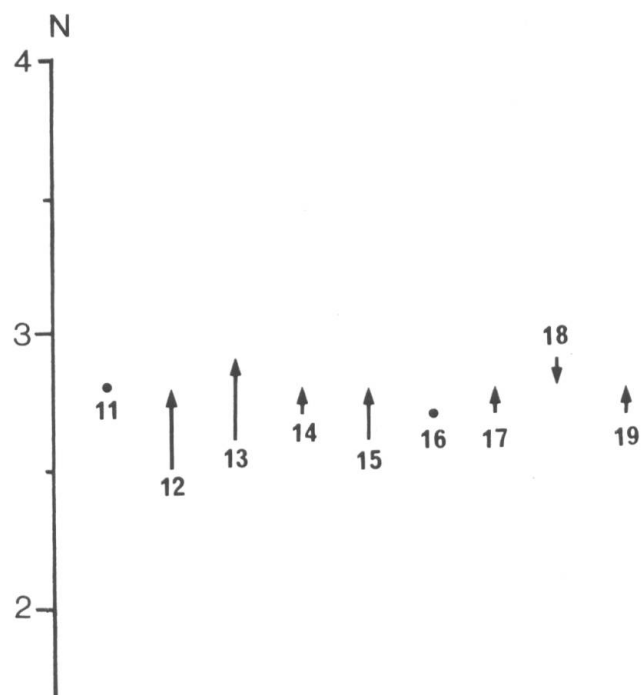


Fig. 1. — Evolution des valeurs indicatrices moyennes de richesse du sol (N) entre 1942-47 et 1985 pour 9 relevés de la région genevoise, d'après les calculs des auteurs de l'IFRF. Les valeurs indicatrices sont empruntées à ELLENBERG (1979). Les numéros des relevés correspondent à ceux utilisés par les auteurs de l'IFRF. Les flèches indiquent le sens de l'évolution entre les deux années.

Fig. 2. — Evolution des valeurs indicatrices moyennes de richesse du sol (N) entre 1942-47 et 1985 pour 9 relevés de la région genevoise, d'après nos calculs. Les valeurs indicatrices sont empruntées à LANDOLT (1977). Les numéros des relevés correspondent à ceux utilisés par les auteurs de l'IFRF. Les flèches indiquent le sens de l'évolution entre les deux années.

N.B. L'échelle des valeurs n'est pas directement comparable avec celle de la figure 1, la plage de valeurs attribuées aux espèces étant différente entre ELLENBERG et LANDOLT.



différences observées ne sont significatives. La contradiction est donc manifeste entre nos résultats et l'évaluation qu'ont fait les auteurs de l'IFRF des leurs: les changements sont significatifs pour eux; ils ne le sont pas pour nous.

Il y a pourtant un point commun: l'évolution, même si pour nous son amplitude n'est pas statistiquement significative, se fait dans le *même sens*, ou, du moins, jamais en sens contraire, aussi bien selon nos calculs que selon ceux de l'IFRF. Dès lors, il semble que la source choisie pour les valeurs indicatrices (Ellenberg ou Landolt) ne soit pas responsable des différences constatées, et que c'est peut-être au niveau de l'évaluation ou de la pondération que le problème se pose. Nous ne nous étendrons pas ici sur ce chapitre, mais nous reviendrons plus loin sur l'utilisation des valeurs écologiques.

Quoiqu'il en soit, en admettant qu'une tendance à l'évolution vers un sol plus riche existe, des dépôts d'azote véhiculé par l'atmosphère étant prouvés par ailleurs, il n'est pas certain qu'ils constituent le facteur directement responsable du changement de composition floristique observé. D'autres facteurs peuvent concourir au développement d'un cortège floristique apparemment plus nitrophile, et nous tenterons de les mettre en évidence en reprenant le problème à sa source.

Ressemblance floristique

En comparant la ressemblance floristique de l'ensemble des relevés de 1942-47 et de 1985 grâce à une analyse différentielle de Czekanowski (fig. 3), il se dégage un certain nombre d'évidences.

Les relevés de 1942-47 (secteur A) constituent un groupe homogène. Ceci est normal et heureux dans la mesure où ce sont les relevés-types utilisés par Etter & Morier-Genoud pour décrire la sous-association du *Querco-Carpinetum molinietosum*.

Une partie des relevés de 1985 (secteur B) constitue également un groupe homogène. Ses affinités avec les relevés de 1942-47 (secteur C) sont par contre moins nettes; globalement elles sont assez bonnes, mais pour certains relevés, elles sont en-dessous de la limite où une certitude quant à l'identité d'association est garantie. Nous reviendrons sur ce problème, mais pour l'instant nous pouvons admettre, comme première estimation, qu'une parenté subsiste entre ces deux groupes; elle est du moins beaucoup plus solide que pour le secteur D.

Le secteur D, quant à lui, indique clairement que les relevés 13, 15 et 17 de 1985 se distinguent nettement de tous les autres relevés, aussi bien de ceux de 1942-47 que de leurs contemporains de 1985. C'est dans ces trois derniers relevés que le changement de composition floristique est le plus prononcé. Une forte disparition d'espèces, associée à une faible conservation ainsi qu'à l'apparition de nouvelles espèces, explique le peu de ressemblance observé. C'est pour ces trois relevés également que la valeur indicatrice N évolue le plus fortement (avec le relevé 12 sur lequel nous reviendrons plus loin) pour les auteurs de l'IFRF (cf. fig. 1). Dans une moindre mesure, c'est aussi ce qu'indique nos calculs (cf. fig. 2).

Les espèces impliquées dans ce changement radical du cortège floristique de la strate herbacée sont détaillées dans le tableau 1. Les tableaux floristiques originaux complets se trouvent dans la publication de l'IFRF. Nous ne les répèterons pas ici.

Analyse des modifications de la composition floristique

Parmi les 23 espèces qui disparaissent des trois relevés ou de deux d'entre eux, pratiquement les deux tiers sont des espèces différentielles du *Querco-Carpinetum molinietosum* ou des éléments qui, s'ils sont présents, ne se rencontrent pratiquement que dans cette sous-association. Ces deux types sont signalés par une astérisque dans le tableau 1.

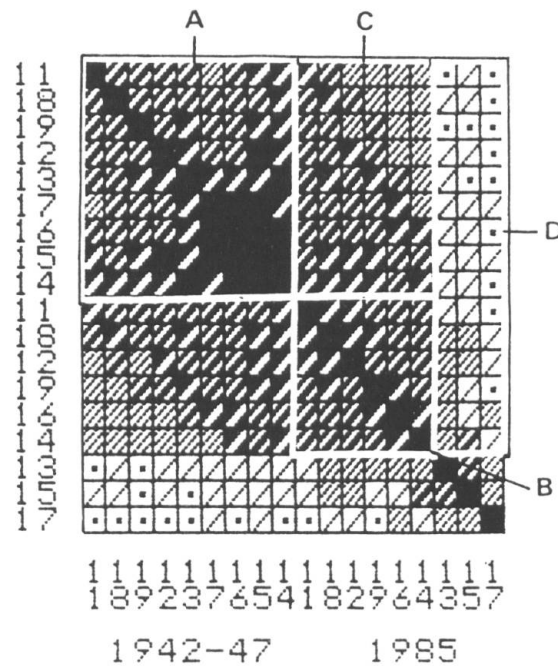


Fig. 3. — Analyse différentielle de Czekanowski pour 18 relevés de la région genevoise. Les 9 premiers sont de 1942-47, les 9 suivants de 1985. Les numéros des relevés correspondent à ceux utilisés par les auteurs de l'IFRF.

Secteur A: ressemblance des relevés de 1942-47 entre eux.

Secteur B: ressemblance d'une partie des relevés de 1985 entre eux.

Secteur C: ressemblance entre les relevés du secteur B et ceux de 1942-47.

Secteur D: ressemblance entre 3 relevés de 1985 et les autres relevés.

Il y a donc une perte évidente d'espèces caractéristiques de ce type de chênaie ou d'espèces qui lui sont inféodées. Or c'est précisément ce qui s'observe lors d'une transition du *Quercus-Carpinetum molinietosum* vers le *Quercus-Carpinetum aretosum*, autre sous-association plus mésophile, commune dans les forêts genevoises. La relative abondance de *Rubus fruticosus* et de *Rosa arvensis*, qui se manifeste en particulier au niveau de la strate herbacée, est également un élément observable lors d'une transition.

Quant aux espèces conservées entre 1942-47 et 1985, *Carex montana*, également une espèce différentielle du *Quercus-Carpinetum molinietosum*, voit son recouvrement diminuer nettement, ou disparaît. Le recouvrement du lierre, *Hedera helix*, a tendance à augmenter, phénomène qui caractérise aussi la sous-association du *Quercus-Carpinetum aretosum* par rapport au *Quercus-Carpinetum molinietosum*.

Pour terminer, l'apparition d'espèces comme *Arum maculatum*, *Lamium galeobdolon*, *Carex silvatica*, *Deschampsia caespitosa*, espèces différentielles du *Quercus-Carpinetum aretosum*, confirme qu'une dérive vers cette sous-association semble s'être produite.

Evaluation des changements

Pour comprendre l'origine de la dérive à laquelle sont soumis de façon très nette les relevés 13, 15 et 17, il est indispensable de décrire brièvement un phénomène qui se rencontre régulièrement dans les grands massifs boisés de la forêt genevoise. Ce phénomène illustre très bien le contexte dans lequel la forêt évolue et nous paraît décisif pour relativiser l'importance du rôle de la pollution atmosphérique par l'azote dans les changements observés.

Tableau 1. — Disparition, apparition et conservation des espèces de la strate herbacée des relevés 13 (A), 15 (B) et 17 (C) entre 1942-47 et 1985, avec leurs coefficients d'abondance-dominance.

*: espèces différentielles du *Quercus-Carpinetum molinietosum* ou n'apparaissant que dans cette sous-association.

Espèces disparues	A	B	C	Espèces apparues	A	B	C	1942-47			1985		
								A	B	C	A	B	C
<i>Molinia litoralis</i> *	2	3	2	<i>Arum maculatum</i>	r								
<i>Galium silvaticum</i> *	1	+	1	<i>Carex silvatica</i>	1								
<i>Melampyrum pratense</i> *	+	1	1	<i>Deschampsia caespitosa</i>	+								
<i>Lathyrus montanus</i> *	1	1	1	<i>Lamium galeobdolon</i>		+							
<i>Betonica officinalis</i> *	+	+	+	<i>Acer campestre</i>	+								
<i>Carex flacca</i> *	1	+	+	<i>Lonicera periclymenum</i> *	+	1							
<i>Convallaria majalis</i> *	2	1	2	<i>Rosa arvensis</i>	1	2	1						
<i>Hieracium murorum</i> *	+	1	1	<i>Viburnum opulus</i>	1	2	1						
<i>Anemone nemorosa</i>	2	1	2	<i>Rubus fruticosus</i>	1		+						
<i>Phyteuma spicatum</i>	+	+	1	<i>Juniperus communis</i> *	+		+						
<i>Fragaria vesca</i>	1	+	1	<i>Prunus avium</i>		+							
<i>Viola silvestris</i>	+	+	+	<i>Sorbus torminalis</i> *							1		
				<i>Crataegus oxyacantha</i>							+		
<i>Teucrium scorodonia</i> *	+	+		<i>Prunus spinosa</i>							1		
<i>Festuca heterophylla</i> *	1		+										
<i>Luzula multiflora</i> *	+	+		Espèces conservées									
<i>Veronica officinalis</i> *	1	+			A	B	C	A	B	C			
<i>Potentilla erecta</i> *		+	+	<i>Carex montana</i> *	3	2	3	+	+				
<i>Scrophularia nodosa</i> *	+	+		<i>Hedera helix</i>	+	1	2	4	+	3			
<i>Veronica chamaedrys</i>	+	1		<i>Potentilla sterilis</i>	1	+	+	+					
<i>Brachypodium silvaticum</i>		+	+	<i>Polygonatum multiflorum</i>	+		1	+					
<i>Melittis melissophyllum</i> *		+	1	<i>Luzula pilosa</i> *	+	1		+					
<i>Solidago virga-aurea</i>		+	1	<i>Ajuga reptans</i>	+	+	+		+				
<i>Euphorbia amygdaloides</i>	+		1	<i>Quercus petraea</i>	1	+	2	1	+	2			
				<i>Succisa pratensis</i> *		+	+			r			
<i>Pteridium aquilinum</i> *	1			<i>Primula vulgaris</i>		+	3			+			
<i>Hypericum montanum</i>	+			<i>Poa nemoralis</i>		1			+				
<i>Carex pallescens</i>	+			<i>Maianthemum bifolium</i>		+			+				
<i>Aquilegia vulgaris</i>	+			<i>Euphorbia dulcis</i>		+	+	+	+				
<i>Valeriana officinalis</i>	r			<i>Fraxinus excelsior</i>		+	+		+	+			
<i>Carpinus betulus</i>	+					+	+		+	+		+	
<i>Anthoxanthum odoratum</i>				<i>Fagus silvatica</i>				+	+	r			
*		1											
<i>Vicia sepium</i>		+											
<i>Hieracium sabaudum</i>		+											
<i>Pulmonaria angustifolia</i>			2										
<i>Hieracium umbellatum</i>			+										
<i>Heracleum sphondylium</i>			r										
<i>Brachypodium pinnatum</i> *			r										

Dans des situations de pente douce à moyenne, homogènes du point de vue de l'exposition, c'est le *Quercus-Carpinetum aretosum* qui s'installe. Or, par place, se développent des taches de *Quercus-Carpinetum molinietosum* dont ce n'est pas le contexte habituel, puisque ses préférences topographiques vont nettement aux plateaux argileux surplombant les pentes. L'aspect frappant de ces taches est leur forme généralement géométrique qui, très souvent, coïncident avec le découpage du parcellaire, extrêmement morcelé dans la plupart des cas. Il y a donc, dans ces cas-là, un lien évident entre la végétation présente et le type d'exploitation que pratiquait le propriétaire de la parcelle. Rappelons que, jusque vers 1950, la plupart de ces parcelles forestières n'appartenaient que dans une très faible mesure au canton ou aux communes et qu'elles étaient essentiellement privées (Necker, 1963). Actuellement, par rachats successifs, le canton est parvenu à équilibrer cette situation, mais c'est un phénomène assez récent.

D'autre part, c'est aussi un fait que le *Querco-Carpinetum molinietosum* est, au moins en partie, une forêt dont les caractéristiques sont la conséquence d'un traitement séculaire et brutal en taillis à rotation rapide. Quant à sa physionomie actuelle (tendance à la pseudo-futaie), elle est largement le fait d'une tentative récente d'amélioration par sélection de tige. Ce traitement lui confère, dans les cas typiques, cet aspect de forêt clairsemée quasi-monospécifique à *Quercus petraea* où la lumière parvenant au sol permet le développement d'une strate herbacée importante que domine *Molinia litoralis*.

L'aspect important à retenir de ceci est que la forêt genevoise a été longtemps soumise à une très forte pression (cf. NECKER, 1963). Non seulement le régime de coupe en taillis était la règle, mais il s'exerçait en outre dans le cadre d'un parcellaire extrêmement morcelé, c'est à dire à des rythmes et à des intensités très variables d'un endroit à un autre. La résultante est une juxtaposition de parcelles dans des états très divers.

L'abandon de ce mode d'exploitation, la campagne de restauration de la forêt, que le rachat et le regroupement de parcelles a permis d'exercer de façon plus uniforme, sont deux aspects qui ont permis à la forêt d'évoluer vers un stade proclimacique sans qu'elle soit constamment perturbée, sinon par des interventions destinées à favoriser son développement. Ce processus est encore actuellement en cours, comme en témoigne la subsistance des parcelles mentionnées plus haut, celles de *Querco-Carpinetum molinietosum* fichées dans un contexte de *Querco-Carpinetum aresotum*, où elles sont manifestement déplacées.

A plus ou moins long terme, ces parcelles vont progressivement se fondre dans le contexte qui les environne, en perdant graduellement les espèces les plus caractéristiques, puis en passant probablement par un stade de fort recouvrement de ronces (*Rubus fruticosus*) et de rosiers (*Rosa arvensis*), et en acquérant finalement les espèces qui caractérisent le *Querco-Carpinetum aretosum*.

Le moteur de cette évolution semble être l'assombrissement consécutif à la fermeture de la strate arborée; du moins il y a corrélation systématique entre cette dernière et la régression des espèces caractéristiques du *Querco-Carpinetum molinietosum*. Cela s'observe notamment dans les situations de transition entre les deux sous-associations, de même que dans certaines parcelles où subsistent quelques éléments du *Querco-Carpinetum molinietosum*, mais dont les principaux sont absents. Cela s'observe aussi lorsqu'au sein d'une forêt occupée par un *Querco-Carpinetum molinietosum*, l'ombrage apporté par un bouquet de charmes (*Carpinus betulus*) évince la plupart des espèces qui caractérisent son entourage. Ce phénomène est semble-t-il illustré par le relevé 13, où le coefficient d'abondance-dominance de *Carpinus betulus* dans la strate arborée passe de "1" à "4" entre 1942-47 et 1985.

Compte tenu de ce qui vient d'être exposé, qui met en évidence le passé difficile de la forêt genevoise, et après observation détaillée de son état depuis plusieurs années, il nous semble que cette forêt soit *avant tout* en train de revenir lentement à une certaine *normalité*. La formidable pression sous laquelle elle a été maintenue pendant si longtemps font que ce retour à un stade plus conforme à la notion de forêt s'accompagne, de façon assez compréhensible, de changements importants dans la composition floristique. Dès lors, il ne nous paraît pas nécessaire d'invoquer l'enrichissement du sol par apport d'azote véhiculé par l'atmosphère comme seul responsable du phénomène. C'est peut être un accélérateur du processus mais pas le moteur principal des changements observés. Les auteurs de l'IFRF font allusion au passé de la forêt genevoise et mentionnent qu'une part des pertes d'espèces arbustives doit être liée au retour de la forêt à une forme plus normale, mais ils considèrent néanmoins que c'est là un phénomène de moindre importance par rapport à l'enrichissement du sol.

En outre, hormis ce qui précède, qui constitue le cadre général dans lequel se déroule le dynamisme de la forêt genevoise et qui suffirait à garder une certaine prudence quant

aux interprétations de changements floristiques en relation avec la pollution, quelques points de détail supplémentaires grèvent systématiquement l'analyse de l'évolution et nous incitent à penser que la conclusion proposée par l'IFRF est un peu hâtive.

Rappelons que, pour ces auteurs, les relevés 13, 15, 17 et 12 sont ceux qui accusent la plus forte variation de leur valeur indicatrice d'azote (cf. fig. 1). Or, ils sont particuliers à divers titres. Le relevé 13 était déjà situé à l'époque juste en marge d'un *Querco-Carpinetum aretosum*, si l'on en croit la carte phytosociologique dessinée par les auteurs des relevés. Le relevé 15 est sur une parcelle partiellement reboisée avec *Robinia pseudoacacia*. Le relevé 17 a été effectué dans un bois qui a connu, depuis, une forte pression due au développement d'un complexe industriel et à l'installation massive d'habitations à proximité. Le relevé 12, quant à lui, a été reboisé massivement avec du pin sylvestre (*Pinus silvestris*).

Sans prétendre discuter de l'incidence réelle de tous ces facteurs, il faut néanmoins admettre qu'ils forment un groupe d'éléments dont il est difficile d'ignorer l'influence possible. Leur existence engendre des contraintes au niveau de l'estimation des répercussions réelles de la pollution, surtout lorsque les relevés concernés sont ceux qui accusent la plus forte variation de la valeur indicatrice N.

Quant au reste des relevés de 1985 -ceux qui ont une affinité beaucoup plus forte pour leurs homologues de 1942-47 (cf. fig. 3, secteur C)-, ils ont conservé une assez forte proportion d'espèces caractéristiques du *Querco-Carpinetum molinietosum*. Le fait que certains d'entre eux sont à la limite de l'identité est probablement dû, en partie, à une amorce de retour à la normalité, comme l'indiquerait la perte de quelques espèces caractéristiques, ou à des raisons similaires à celles évoquées ci-dessus. Le relevé 18, par exemple, est en marge d'un bois très parcouru, au centre d'une zone de villas devenue notoirement plus dense depuis quarante ans. Il faut toutefois considérer qu'ils font encore partie de la même sous-association, car si celle-ci régresse, soit de façon centripète depuis les limites qu'elle occupait à l'époque, soit de façon ponctuelle lorsqu'elle est noyée dans un contexte qui n'est pas le sien, elle devrait se maintenir encore longtemps dans son centre où la situation écologique lui convient le mieux. Quoi qu'il en soit, en ce qui concerne ces relevés, l'estimation des causes des changements observés est d'autant plus délicate qu'ils restent proches de leurs homologues de 1942-47.

Importance du passé et validité des valeurs indicatrices

Les remarques que nous avons développées jusqu'ici entendent souligner que des études portant sur l'évolution de milieux, en relation avec l'apport de polluants ou soumis à un quelconque autre facteur, sont confrontées à de nombreuses inconnues dont il n'est pas aisé d'évaluer l'influence. La dimension historique en particulier pèse lourd dans ce qui est observable aujourd'hui. Les traces que laissent certaines interventions, dont la nature est généralement inconnue, sont longues à disparaître et leur incidence réelle est difficile à jauger dans la plupart des cas. Dans ce sens, le choix du *Querco-Carpinetum molinietosum* comme terrain d'étude était le plus délicat pour la région genevoise, puisque cette sous-association est celle qui a été la plus sollicitée par son exploitation passée et qui en porte encore des traces évidentes. Répéter cette étude avec une association qui aurait été moins sollicitée ou qui aurait mieux absorbé le choc serait une expérience à tenter. Cela aurait l'avantage de diminuer quelque peu l'importance de la composante historique.

Il y a, en outre, un autre problème, peut-être encore plus délicat, celui de l'utilisation et de l'interprétation des moyennes obtenues grâce aux valeurs indicatrices. Il nous a semblé jusqu'ici que ces moyennes ou, mieux encore, les écarts de moyenne entre deux milieux différents sont parfaitement valables dans un cas: lorsqu'ils confirment certaines évidences de terrain. Dans ce cas, ils permettent de quantifier ce qui est perceptible et présentent

donc un certain intérêt. Mais il arrive aussi qu'ils ne mettent pas en évidence certaines différences observées par d'autres moyens de mesure, ou encore qu'ils indiquent des différences significatives pour certaines valeurs, différences dont nous serions bien en peine d'expliquer l'origine. Ainsi, lorsque nous refaisons les calculs de moyennes pour les 9 relevés avec les valeurs indicatrices de Landolt, nous obtenons des différences significatives pour les valeurs de température (T) et de continentalité (K). Nous pourrions conclure sur la base de ces différences que depuis 1942 le climat s'est réchauffé et est devenu plus océanique. Nous ne le ferons pas.

L'image que donne les valeurs indicatrices doit donc, à notre sens, être considérée avec beaucoup de prudence. Elle peut attirer l'attention sur d'éventuelles différences mais doit être ensuite analysée à la lumière d'autres paramètres qu'elle n'intègre pas. Elle semble d'ailleurs mieux adaptée à refléter la réalité des milieux stables que celle des milieux en pleine évolution ou avec un passé chargé.

Conclusion

En concluant que les changements de composition floristique observés dans la forêt genevoise entre 1942-47 et 1985 sont dus à l'enrichissement du sol consécutif à des dépôts d'azote apportés par la pollution atmosphérique, les auteurs de l'Institut fédéral de recherches forestières ont, à notre avis, sous-estimé quelques paramètres importants. La sous-association du *Querco-Carpinetum molinietosum*, sur laquelle s'est porté leur choix, est une formation dont le passé est décisif, dans ce sens qu'il l'a marqué profondément. L'empreinte de l'exploitation séculaire en taillis est évidente, de même que sont manifestes l'intensité et le rythme très disparates que cette pratique brutale a exercé sur un parcellaire très morcelé et aux mains de privés. L'abandon relativement récent de cette pratique a tout simplement permis à la forêt d'échapper à un stade extrêmement perturbé pour retourner à une certaine normalité. Ce retour n'est pas encore achevé, mais se traduit déjà par des modifications importantes de la composition floristique aux endroits où écologiquement ce type de forêt était le plus déplacé, c'est à dire dans certaines parcelles isolées dans un contexte plus mésophile, et aux limites de son aire d'extention.

En dehors des contraintes d'interprétations qu'impose ce contexte historique général dans lequel se réalise actuellement l'émancipation de la forêt genevoise par rapport à son passé, les conclusions de l'IFRF se heurtent à des phénomènes de moindre ampleur, mais dont il est peut-être encore plus difficile d'apprécier les incidences. La plupart des placettes critiques (celles où les changements sont les plus marqués) ont des particularités qui introduisent un facteur d'incertitude quant à l'estimation de l'influence réelle des dépôts d'azote: reboisements partiels ou massifs depuis l'époque, contextes industriels ou résidentiels récents, sont autant de paramètres qui peuvent avoir une répercussion potentielle sur la composition floristique. A ces considérations s'ajoute la prudence permanente dont il faut faire preuve lors de l'interprétation des valeurs indicatrices.

C'est peut-être en ne tenant pas suffisamment compte de l'histoire de la forêt genevoise et de son contexte récent que les auteurs de l'IFRF ont été amené à conclure, par défaut, à la responsabilité des dépôts d'azote véhiculé par l'atmosphère dans les modifications de la composition floristique. Il est également possible qu'une prise de contact de leur part avec leurs homologues genevois eût pu les inciter à nuancer leur conclusion.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ELLENBERG, H. (1979). *Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas*. ed. 2. Verlag E. Golze, Göttingen.
- ETTER, H. & P.-D. MORIER-GENOUD (1963). Etude phytosociologique des forêts du canton de Genève. *Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchswesen* 39: 119-148.
- KUHN, N., R. AMIET & N. HUFSCHMID (1987). Veränderungen in der Waldvegetation der Schweiz infolge Nährstoffanreicherungen aus der Atmosphäre. *Allg. Forst- Jagd-Zeitung* 158: 77-84.
- LANDOLT, E. (1979). Oekologische Zeigerwerte zur schweizer Flora. *Veröff. Geobot. Inst. Rübel Zürich* 64.
- MICHEL, C., F. PERRENOUD & K. WERDENBERG (1984). Etude de la dynamique saisonnière des deux principales sous-associations forestières du canton de Genève. *Saussurea* 15: 119-140.
- NECKER, H. (1963). *Contribution à l'histoire des forêts du canton de Genève*. Classe d'Agriculture de la Société des Arts de Genève, Genève.