



Influence de l'amendement sur la composition et la dynamique du cortège floristique pour des peuplements situés sur sols acides

Jean-Pierre Renaud, Jean-François Picard, Jean-Luc Dupouey, Claude Nys

► To cite this version:

Jean-Pierre Renaud, Jean-François Picard, Jean-Luc Dupouey, Claude Nys. Influence de l'amendement sur la composition et la dynamique du cortège floristique pour des peuplements situés sur sols acides. *Revue forestière française*, 2009, 61 (3), pp.251-266. <10.4267/2042/30101>. <hal-03449555>

HAL Id: hal-03449555

<https://hal.science/hal-03449555v1>

Submitted on 25 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.



HAL Authorization

INFLUENCE DE L'AMENDEMENT SUR LA COMPOSITION ET LA DYNAMIQUE DU CORTÈGE FLORISTIQUE POUR DES PEUPELEMENTS SITUÉS SUR SOLS ACIDES

JEAN-PIERRE RENAUD – JEAN-FRANÇOIS PICARD – JEAN-LUC DUPOUEY – CLAUDE NYS

L'augmentation sans précédent des émissions d'azote au cours du siècle dernier affecte les écosystèmes. Une partie de l'accroissement actuel de la productivité des peuplements forestiers semble y être attribuable (Rehfuess *et al.*, 1999 ; Spiecker, 1999 ; Dhôte *et al.*, 2000 ; Bontemps *et al.*, 2005 ; Bontemps, 2006). Pourtant, selon les compartiments étudiés, ses effets peuvent également être négatifs. Stevens *et al.* (2004) attribuent aux dépôts azotés la perte de 20 % de la richesse en espèces des prairies européennes. En forêt boréale, une expérimentation a montré que la saturation du sol en azote conduit à la perte de dominance de la Myrtille dans le cortège floristique, cette eutrophisation ayant sensibilisé cette dernière aux attaques d'un pathogène (Strengbom *et al.*, 2002). En forêt tempérée, des changements de végétation sont également associés au phénomène d'acidification et d'eutrophisation des sols (Bobbink *et al.*, 1998 ; Dupouey *et al.*, 1999 ; Gilliam, 2006). Bien que le lien causal entre polluants et dépérissements reste encore aujourd'hui controversé, il est clair que l'acidification des sols forestiers pauvres et les désordres nutritionnels qu'elle induit figurent certainement parmi les facteurs de premier plan à considérer dans l'étude des phénomènes de dépérissements. En France, une part encore importante des sols forestiers est aujourd'hui en cours d'acidification. Ce processus est lié à un appauvrissement en cations nutritifs, essentiellement marqué pour les forêts situées sur sols acides.

De façon à restaurer la fertilité minérale de tels sols et suite à de nombreux dépérissements observés sur peuplements résineux, mais aussi feuillus, des amendements à caractère expérimental ont été appliqués dans différentes situations (Nys, 1989 ; Bonneau et Nys, 1997). L'amélioration des conditions de nutrition des arbres s'est traduite par une modification sensible du cortège floristique de ces forêts (Fehlen et Picard, 1994).

Bien rares sont, en forêt, les dispositifs expérimentaux de fertilisation/amendement qui aient fait l'objet, dès leur installation, d'inventaires floristiques : ils sont même quasiment inexistants avant 1990. Ce n'est qu'après plusieurs années d'expérimentation, alors que, même aux yeux d'un non spécialiste, les changements devenaient évidents, qu'il a été procédé de façon quasi systématique à l'inventaire de la végétation spontanée des expérimentations d'amendement déjà installées ou en voie de l'être. Nous rapportons ici les principaux résultats de trois dispositifs :

- un dispositif couvrant un grand nombre de sites vosgiens, permettant d'évaluer l'effet global de l'amendement sur la végétation ;
- un suivi temporel de la végétation dans un dispositif installé dans les Ardennes ;

— un dispositif complémentaire situé dans deux couples de bassins versants de Cornimont et du Val de Senones permettant d'évaluer en plus l'impact de la pression des herbivores, en l'occurrence ici le Cerf.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les espèces des strates arborées, arbustives, herbacées et muscinales ont été inventoriées en abondance-dominance suivant la méthode de Braun-Blanquet (1932). Les espèces peu fréquentes, rencontrées dans moins de 5 % des relevés, n'ont pas été retenues dans les analyses. La richesse spécifique a été calculée pour chaque relevé. Les valeurs indicatrices d'Ellenberg (Ellenberg *et al.*, 1992) ont été utilisées afin d'évaluer l'impact des traitements sur le pH (indice moyen R), la nutrition azotée (indice moyen N) et la lumière (indice moyen L). Chaque indice est constitué d'une échelle à neuf niveaux. L'amplitude trophique de chaque espèce a également été tirée de la *Flore forestière française* (Rameau *et al.*, 1989).

Effet global de l'amendement (dispositif des Vosges)

Afin d'évaluer l'effet global de l'amendement sur le cortège floristique, un dispositif de 18 sites, implanté dans les Vosges dans des peuplements d'Épicéa commun ou de Sapin pectiné, a été utilisé. Pour chaque site, les traitements ont été appliqués par couple de placettes à raison de 1 à 3 répétitions (blocs) par site. Les traitements ont été décrits antérieurement (Bonneau *et al.*, 1991 ; Renaud *et al.*, 2001) et les résultats concernant la fertilité des sols sont traités dans un article séparé (Renaud *et al.*, 2009).

Dynamique temporelle de l'effet de l'amendement (dispositif des Ardennes)

Pour les Ardennes, les placettes qui ont fait l'objet de relevés floristiques sont situées dans deux dispositifs de fertilisation/amendement sur Épicéa commun, en forêt domaniale de Château-Regnault.

Un premier groupe de 13 placettes (50 x 50 m ; relevés d'environ 900 m²) est situé dans un dispositif dit "ancien" (établi par Claude Nys en 1980, peuplement âgé de 40 ans). Les traitements sont : apport de CaCO₃ (2,5 t/ha de calcaire broyé épandu au printemps 1981), apport de CaMg (2,5 t/ha ou 5 t/ha, épandus en 1985), "témoin" et une placette témoin supplémentaire "feuillue" située à proximité immédiate du dispositif. Le sol est de type brun ocreux, développé sur des limons d'origine locale reposant sur les phyllades du Révinien supérieur. L'humus est un moder caractérisé.

Le dispositif comporte quatre blocs, installés en fonction de la topographie :

- le bloc 1, le plus pauvre, est situé en haut de pente, sur le plateau. Il se caractérise également par une hydromorphie temporaire (au printemps, à la fonte des neiges) ;
- les blocs 2 et 3, situés à mi-pente, sont bien drainés ;
- le bloc 4, situé en bas de pente, présente un sol brun acide : la station y est légèrement plus fertile.

Un deuxième groupe de 11 placettes (25 x 25 m ; relevé d'environ 400 m²) est situé dans un dispositif dit "récent" (établi par Claude Nys en 1990). Il s'agit des placettes "témoin", "CaCO₃" (2,5 t/ha, 5 t/ha, 10 t/ha et 20 t/ha) et "CaMg" (2,7 t/ha), situées à proximité immédiate du dispositif "ancien" et possédant des caractéristiques stationnelles analogues.

Ces placettes ont fait périodiquement l'objet de relevés floristiques : les plus anciens datent de 1988, les plus récents de 2001. Ces deux peuplements d'Épicéa commun, bien que d'aspect différent, ont le même âge (vérification effectuée par des "carottages à cœur") ; la sylviculture plus dynamique appliquée au premier groupe est seule à l'origine de ces différences d'aspect.

Effet de la pression des herbivores (dispositifs du Val de Senones et de Cornimont)

Les effets combinés de l'amendement et des herbivores sur le cortège floristique ont été évalués dans deux bassins versants vosgiens : au Val de Senones et à Cornimont (Nys *et al.*, 2006). Le premier avait été mis en place il y a 20 ans (moyen terme), le second en 2003 (court terme).

• Cornimont

Quatre modalités croisant les traitements d'amendement et d'abroussement sont testées :

témoin / exclos	amendé / exclos
témoin / enclos	amendé / enclos

Fin 2003, une partie du bassin versant a été amendée par de la dolomie ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). La comparaison de la végétation est faite entre les parties "amendées" et "témoins".

Des enclos de 16 x 16 m ont été installés en 2004 pour exclure la pression du gibier. L'état de la végétation dans l'enclos (sans abroussement) et hors de l'enclos (l'exclos) est observé et mesuré annuellement.

Vingt carrés permanents (CP) et trente carrés non permanents (CNP), de 1 m de côté, ont été mis en place. Pour chaque modalité, les CP permettent un suivi non destructif de la Myrtille. Dans chacun des carrés, sa fréquence et son taux de recouvrement sont relevés à l'aide d'un cadre tendu de ficelles distantes de 10 cm délimitant 100 carreaux élémentaires par CP. La hauteur des plants de Myrtille est relevée aléatoirement sur 5 points de la grille et la hauteur maximale pour le CP est également notée.

Les 30 CNP sont destinés à des mesures destructives, caractérisant l'état initial puis l'évolution du dispositif. La biomasse (feuilles, tiges, fruits) et les immobilisations de nutriments y sont mesurées à raison de 6 carrés par année de prélèvement. Cette biomasse est séchée (à 65 °C) et pesée, puis la composition en éléments C, N (détermination par analyseur thermique CHN) est mesurée ; S, P, K, Ca et Mg est déterminée par spectrométrie ICP (Jobin-Yvon), après minéralisation humide (acide perchlorique + H_2O_2 à chaud).

• Val de Senones

Le site du Val de Senones comprend plusieurs enclos de régénération, installés entre 1986 et 1993, couvrant une surface de 10 ha chacun. Le site a été amendé en 2003 et deux traitements sont testés :

- l'effet "abroussement", comparant enclos (sans abroussement) et exclos (avec abroussement) ;
- l'effet "amendement", caractérisant l'état de la végétation des parties amendées et témoins dans et hors enclos.

Pour chaque modalité, les observations ont été réalisées sur cinq carrés de 1 m de côté. Les mesures réalisées sont semblables à celles du site de Cornimont. Par contre, il faut noter qu'au Val de Senones, la Myrtille, malgré sa présence tant dans les enclos que les exclos, possède un recouvrement quasiment nul lorsqu'elle est soumise à l'abroussement. Pour ce site, seuls les résultats concernant l'effet de l'abroussement sont disponibles.

TABLEAU I **Effet de l'amendement sur la progression ou la régression des espèces présentes dans les relevés floristiques des Vosges**

Leur amplitude trophique (de AA à b selon Rameau *et al.*, 1989), ainsi que leurs valeurs indicatrices d'Ellenberg concernant l'acidité (R) et la nutrition azotée (N), sont présentées

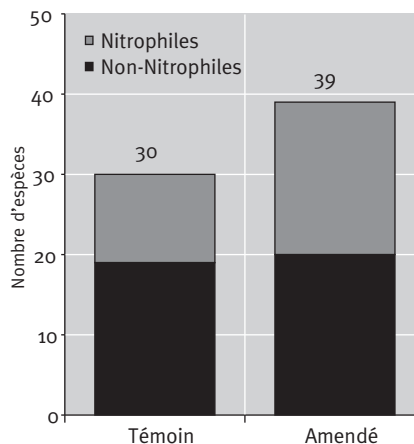
Effet amendement			Rameau <i>et al.</i> (1989)						Ellenberg <i>et al.</i> (1992)	
	Strate	Espèce	AA	A	aa	a	n	b	R	N
Apparition	Arbustive	<i>Corylus avellana</i>							.	5
		<i>Cytisus scoparius</i>							3	4
	Arbustive basse	<i>Fraxinus excelsior</i>							7	7
	Herbacée	<i>Senecio vulgaris</i>							.	8
		<i>Hypericum pulchrum</i>							3	2
		<i>Veronica officinalis</i>							3	4
		<i>Lysimachia nemorum</i>							7	7
		<i>Scrophularia nodosa</i>							6	7
		<i>Stellaria nemorum</i>							5	7
		<i>Silene dioica</i>							7	8
		<i>Taraxacum officinale</i>							.	7
		<i>Urtica dioica</i>							7	9
	Muscinale	<i>Scleropodium purum</i>							5	.
		<i>Eurhynchium stokesii</i>							5	.
Progression fréquence	Arbustive	<i>Rubus idaeus</i>							.	6
		<i>Sorbus aria</i>							7	3
		<i>Rubus fruticosus</i>							.	.
		<i>Sambucus racemosa</i>							5	8
	Arbustive basse	<i>Sambucus racemosa</i>							5	8
		<i>Frangula alnus</i>							4	.
		<i>Salix caprea</i>							7	7
		<i>Acer pseudoplatanus</i>							.	7
	Herbacée	<i>Luzula sylvatica</i>							4	4
		<i>Carex pilulifera</i>							3	3
		<i>Digitalis purpurea</i>							3	6
		<i>Prenanthes purpurea</i>							5	5
		<i>Agrostis sp.</i>							.	.
		<i>Luzula luzuloides</i>							3	4
		<i>Epilobium angustifolium</i>							5	8
		<i>Oxalis acetosella</i>							4	6
		<i>Athyrium filix-femina</i>							.	6
		<i>Senecio nemorensis</i>							.	8
		<i>Dryopteris dilatata</i>							5	6
		<i>Luzula pilosa</i>							5	4
		<i>Milium effusum</i>							5	5
		<i>Meoiringia trinervia</i>							6	7
		<i>Festuca altissima</i>							4	6
		<i>Galeopsis tetrahit</i>							.	6
		<i>Mycelis muralis</i>							.	6
		<i>Epilobium montanum</i>							6	6
	Muscinale	<i>Hylocomium splendens</i>							5	.
		<i>Plagiothecium undulatum</i>							1	.
		<i>Plagiomnium affine</i>							5	.
		<i>Atrichum undulatum</i>							4	.
		<i>Eurhynchium striatum</i>							6	.
Régression fréquence	Herbacée	<i>Blechnum spicant</i>							2	3
	Muscinale	<i>Lepidozia reptans</i>							2	.
		<i>Leucobryum glaucum</i>							1	.
		<i>Bazzania trilobata</i>							2	.
		<i>Plagiothecium curvifolium</i>							.	.

RÉSULTATS

Effet global de l'amendement (dispositif des Vosges)

L'effet de l'amendement se traduit par une augmentation de la richesse spécifique moyenne pour les placettes amendées (39 espèces) comparativement aux placettes témoins (30 espèces). Cet enrichissement ne correspond cependant pas à un accroissement de la valeur patrimoniale du cortège floristique. En effet, il implique surtout des espèces neutro-nitrophiles ou héliophiles à caractère plutôt ubiquiste (figure 1, ci-dessous et tableau I, p. 254, ci-contre).

FIGURE 1
EFFET DE L'AMENDEMENT
SUR LA RICHESSE SPÉCIFIQUE MOYENNE
POUR L'ENSEMBLE DU DISPOSITIF
La répartition du nombre d'espèces est donnée en fonction du caractère de nitrophilie (partie supérieure de l'histogramme) ou non de ces dernières.



L'analyse des tableaux floristiques montre que les différences entre modalité amendée et témoin sont importantes : 14 espèces ne sont présentes que dans la modalité amendée, 31 y sont plus abondantes et 5 moins abondantes que dans le témoin (tableau I, p. 254). L'amplitude trophique de ces espèces et leurs valeurs indicatrices de pH (R) et de nutrition azotée (N) d'Ellenberg sont présentées au tableau I (p. 254). La progression de neutroacidoclines telles *Luzula luzuloides*, *Veronica officinalis*, ou d'espèces à large amplitude (*Rubus idaeus*, *Sorbus aria*, *Prenanthes purpurea*, *Frangula alnus*, *Epilobium angustifolium* par exemple) est assez nette. Cependant il y a des exceptions à cette règle car plusieurs espèces acidiphiles progressent, comme *Luzula sylvatica*, *Carex pilulifera*, *Hylocomium splendens* et *Plagiothecium undulatum*. Les seules espèces en régression dans ces essais sont des mousses acidiphiles et une fougère également acidiphile (tableau I, p. 254).

Il faut sans doute relativiser l'impact de l'amendement sur le pH du sol. En effet, bien que les amendements augmentent de façon significative les valeurs de pH, cette augmentation reste modérée. Le pH moyen des 20 premiers centimètres de sol est effectivement passé de 3,9 à 4,1 pour les peuplements d'Épicéa et de 4,0 à 4,4 pour les peuplements de Sapin (Renaud *et al.*, 2009). Néanmoins cette augmentation reste globalement bien marquée par l'enrichissement de la flore.

En ce qui concerne les valeurs indicatrices d'Ellenberg, on observe que l'amendement a provoqué l'augmentation significative de l'indice de nutrition azotée (N) et la réduction de celui de l'acidité (indice R). Il n'a eu aucun effet sur l'indice de lumière (L).

De façon globale, l'indice moyen N des placettes est passé de 4,2 à 5,1, ce qui est caractéristique d'un sol moyennement riche en azote. L'indice d'acidité est passé de 3,1 à 3,7, ce qui est cohérent avec une augmentation des valeurs de pH du sol et caractéristique d'un sol qui est toutefois demeuré acide. L'indice de lumière est resté stable (4,8-4,9) caractérisant des couverts fermés.

Pour l'indice N, une nette progression des espèces de classes supérieures à 5 est constatée pour les placettes amendées comparativement aux placettes témoins et l'apparition d'espèces de classe 9 suggère également que le cortège floristique des placettes amendées est plus nitrophile.

Dynamique temporelle de l'effet de l'amendement (dispositif des Ardennes)

Afin d'examiner la dynamique temporelle du cortège floristique, deux analyses factorielles des correspondances ont été effectuées : la première sur l'ensemble des placettes pour illustrer l'effet de l'amendement, et la seconde sur les placettes "témoins" uniquement, afin de tenter de détecter un signal d'eutrophisation "naturelle" (hors traitement).

La figure 2 (ci-dessous et ci-contre) oppose, sur l'abscisse (axe 1), les placettes "témoins" aux placettes "amendées". Cet axe peut être interprété comme un axe de fertilité, caractérisé par un taux de saturation plus élevé, ou une eutrophisation croissante vers la droite.

L'interprétation de l'ordonnée (axe 2) est un peu plus délicate. Elle semble opposer (côté positif) les placettes de l'ancien dispositif aux placettes du dispositif récent. Il faut cependant noter que les peuplements du "vieux" dispositif sont moins denses que ceux du dispositif récent. En fait, cet axe peut être interprété comme alliant un effet "éclaircie du peuplement" et un effet "date du traitement".

Une analyse plus fine, traitement par traitement, de la distribution des différentes placettes le long des axes de l'analyse factorielle (figure 2) a été conduite.

FIGURE 2 PLAN FACTORIEL DE L'ANALYSE DES CORRESPONDANCES ILLUSTRANT LA DYNAMIQUE DES CORTÈGES FLORISTIQUES DES PLACETTES EN FONCTION DU TEMPS (1988-2001)

[Les flèches indiquent la dynamique temporelle des relevés]

Les placettes amendées issues du vieux dispositif sont représentées par des losanges verts et la dynamique de ses blocs (1 à 4) est illustrée en 2a. Le jeune dispositif (ronds rouges) est représenté en 2b, et les traitements à la dolomie (triangles bleus) en 2c. Les doses associées aux traitements sont présentées (en tonne par hectare). La dynamique de la placette de feuillus (carrés violets) est également illustrée en 2c. Les placettes témoins du jeune et du vieux dispositif sont symbolisées respectivement par des triangles jaunes et des carrés bleus.

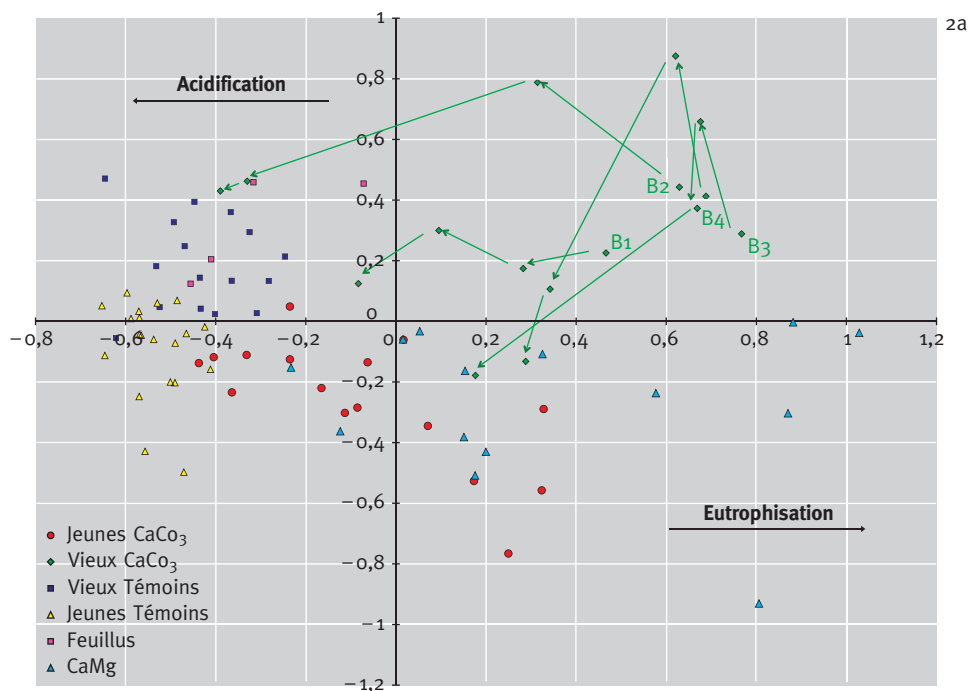
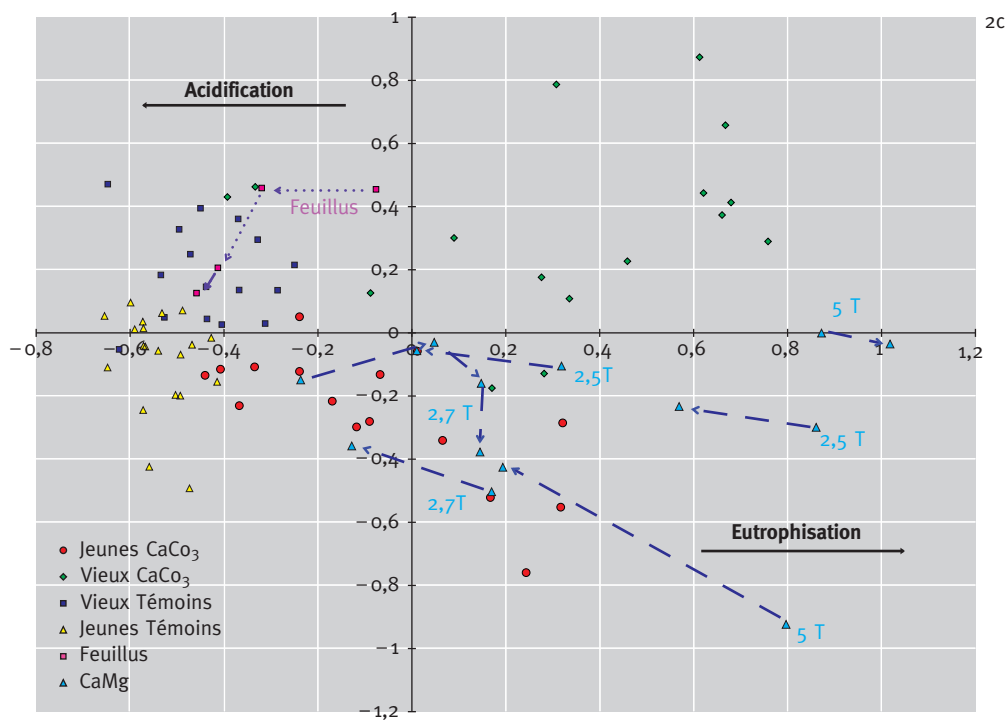
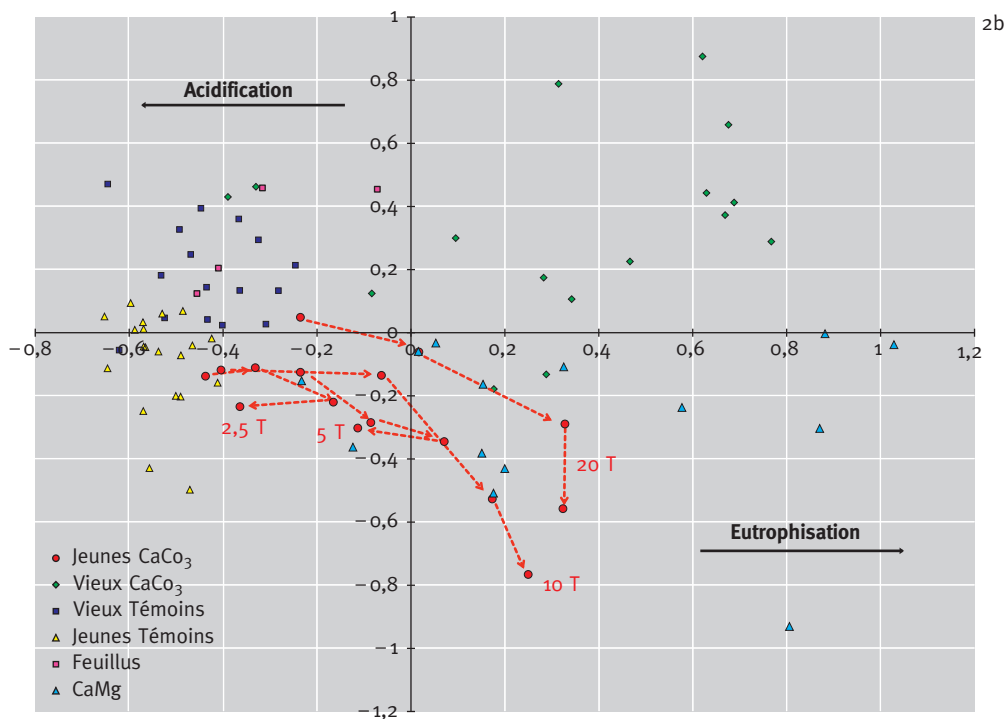


Figure 2 (suite)



Elle montre :

- *Traitements CaCO_3*

Dans le “vieux” dispositif, les premiers relevés floristiques ont été effectués en 1988, soit 7 ans après l'épandage des produits. À cette date, la végétation avait beaucoup évolué, et on observe un regroupement des placettes amendées du côté positif de l'axe 1. À noter que la végétation du bloc 1 (plus pauvre et hydromorphe) est celle qui a le moins changé (figure 2a, p. 256).

Dans le dispositif “récent”, les choses se présentent un peu différemment. En effet, les premiers relevés floristiques ont été effectués avant tout épandage de produit : très logiquement, leurs points dans l'analyse factorielle se trouvent plus ou moins confondus avec ceux des témoins. Ce qui est remarquable, c'est d'observer la migration de ces points avec le temps vers le pôle d'eutrophisation. On constate en effet que l'on peut séparer les traitements en deux groupes :

- les traitements lourds (10 et 20 t/ha) dont la végétation se modifie rapidement et d'autant plus que la dose de carbonate est forte ;
- les traitements plus légers (2,5 et 5 t/ha) pour lesquels l'évolution de la flore est moins sensible, moins rapide, et surtout semble se stabiliser au-delà de 7 ans (de 1991 à 1998).

Remarquons que, dans le “vieux” dispositif et pour une dose d'amendement identique, les premiers relevés ont justement été faits sept ans après l'épandage des produits, soit le même laps de temps que celui nécessaire dans le jeune dispositif pour que la végétation cesse d'évoluer vers le pôle d'eutrophisation. Il est ainsi logique d'observer, dans le “vieux” dispositif, une régression de la flore vers le pôle acide dès notre second passage, le maximum d'eutrophisation étant observé au moment du premier relevé.

Ces résultats sont conformes à ceux obtenus dans les Ardennes belges (Dulière *et al.*, 1999 ; Misson *et al.*, 2001), où un enrichissement en espèces a également été observé. Il semble atteindre un maximum 8 années environ après l'amendement, suivi d'un retour graduel en direction d'une composition floristique plus proche des placettes témoins.

- *Traitements CaMg*

Nous ne nous sommes malheureusement pas intéressés à ces traitements aussi précocement que pour les traitements “ CaCO_3 ”. Si, dans le jeune dispositif, un seul plateau a été suivi depuis le début, un peu à titre de précaution, ce n'est que plus tard, en 1998, que nous nous sommes intéressés aux autres placettes ayant subi ce traitement, aussi bien dans le “vieux” dispositif que dans le jeune (faisant partie du programme DEFORPA, Remédiation “pluies acides”).

Dans le plan factoriel, toutes ces placettes sont situées du côté positif de l'axe 1, mais, contrairement aux placettes du “vieux” dispositif CaCO_3 , du côté négatif de l'axe 2. Il y a bien également eutrophisation du milieu, mais avec des espèces différentes.

On constate pour les traitements CaMg , entre les relevés de 1998 et ceux de 2001, une tendance au retour vers le pôle acide.

- *Témoins*

Ils sont, très logiquement, tous regroupés du côté négatif de l'axe 1, donc au pôle acide. Un examen du nuage laisse penser qu'il n'est pas structuré au hasard : les placettes témoins du vieux dispositif semblent plutôt groupées du côté positif de l'axe 2, alors que celles du jeune peuplement sont voisines du zéro. Nous verrons plus loin ce qu'il en est pour ces placettes témoins.

• Peuplement “feuillus”

Situé dans le peuplement “naturel”, à proximité immédiate du dispositif “ancien”, les relevés ont été réalisés pour, d’une part, voir si sa composition floristique différait beaucoup de celle du peuplement voisin d’Épicéa, d’autre part, pour en suivre également la dynamique dans le temps.

L’analyse factorielle montre que ces relevés s’intègrent parfaitement au nuage des points des peuplements témoins et que leur évolution dans le temps (acidification) marque une tendance à l’acidification. Durant cette étude, il ne semble pas que la nature du peuplement arborescent ait influé de façon significative la composition du tapis herbacé.

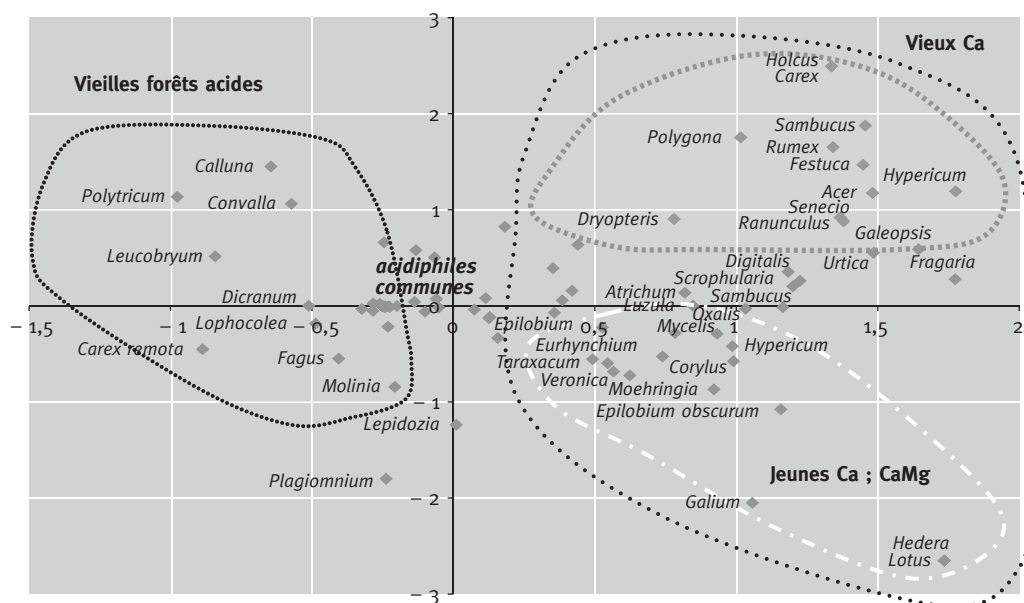
La répartition des espèces dans le plan factoriel permet de préciser quelles sont celles qui sont associées aux traitements étudiés (figure 3, ci-dessous).

Parmi les neutro-nitrophiles communes à toutes les placettes amendées, on peut citer la Digitale pourpre (*Digitalis purpurea*), le Millepertuis élégant (*Hypericum pulchrum*), la Laitue des murailles (*Mycelis muralis*), l’Épilobe de montagne (*Epilobium montanum*), l’Épilobe en épi (*Epilobium angustifolium*), l’Ortie (*Urtica dioica*), l’Ortie royale (*Galeopsis tetrahit*), la Fougère femelle (*Athyrium filix-femina*), le Pissenlit (*Taraxacum officinale*) ainsi qu’une mousse : *Atrichum undulatum*.

Parmi les neutro-nitrophiles des “vieux traitements” qui caractérisent les anciennes placettes amendées (côté positif de l’axe 1), on peut citer la Laîche des bois (*Carex sylvatica*), la Houleuse laineuse (*Holcus lanatus*), le Sureau de montagne (*Sambucus racemosa*), la Grande Fétuque (*Festuca sylvatica*), le Sénéçon de Fuchs (*Senecio nemorensis fuchsii*) et la Renoncule des bois (*Ranunculus nemorosus*).

FIGURE 3 PLAN FACTORIEL DE L’ANALYSE DES CORRESPONDANCES ILLUSTRANT LA RÉPARTITION DES ESPÈCES

Celles associées à la partie négative de l’axe 1 sont représentatives d’espèces de vieilles forêts acides. Les espèces de la partie positive de l’axe 1 sont associées aux placettes du vieux dispositif ayant reçu du calcaire (côté positif de l’axe 2) et celles du jeune dispositif ou celles ayant reçu de la dolomie (côté négatif de l’axe 2). Pour simplifier la lecture, seul le genre est présenté, sauf pour l’Épilobe où 2 espèces sont présentes.



Parmi les neutro-nitrophiles-héliophiles des “jeunes traitements” qui caractérisent les placettes plus récentes amendées en carbonate de calcium, ou encore toutes les placettes ayant reçu un amendement calco-magnésien, on peut citer le Gaillet gratteron (*Galium aparine*), l'Épilobe obscure (*Epilobium obscurum*), le Lotier velu (*Lotus uliginosus*), la Moehringie (*Moehringia trinervia*) et le Lierre (*Hedera helix*).

- *Placettes témoins*

L'analyse factorielle des placettes “témoins” (figure 4, p. 261) avait pour but de mettre en évidence une éventuelle évolution temporelle de la végétation de ces placettes, liée à une “pollution naturelle”.

Si l'on s'intéresse aux relevés, on observe que les points des “vieux témoins” :

- d'une part, se déplacent beaucoup dans le plan ;
- et, d'autre part, ne sont pas disposés au hasard, comme on aurait pu s'y attendre, mais en fonction des blocs.

Du côté négatif de l'axe 1, on trouve d'abord le témoin du bloc 1 (haut de pente avec hydro-morphie temporaire), puis ceux des blocs 2 et 3, plus ou moins intimement mêlés, enfin ceux du bloc 4 (plus fertile). Il est probable que cette distribution soit en liaison avec l'acidité du milieu et la pauvreté relative qui a justement présidé au choix des blocs.

Les relevés du jeune peuplement sont eux beaucoup plus groupés, sauf une placette située topographiquement au même niveau que le bloc 4 du vieux peuplement. La position, très excentrée du premier relevé fait dans cette dernière (valeur inférieure à - 1 sur l'axe 2), est due à la présence de *Carex remota* et *Epilobium montanum* : cette présence est probablement due à la proximité de la lisière et de fossés.

Cette analyse factorielle sépare nettement les peuplements du vieux dispositif, en les stratifiant en fonction de leur richesse (côté négatif de l'axe 1), des peuplements du jeune dispositif (côté positif de l'axe 1), plus homogène topographiquement. Le précédent cultural ne peut être évoqué, car identique dans les deux parcelles (plantation d'Épicéa après coupe à blanc du taillis-sous-futaie). Il confirme la structure observée dans le traitement global de toutes les placettes des dispositifs.

Parmi les espèces caractéristiques du côté négatif de l'axe 1 (acidophile), on trouve plusieurs espèces arbustives comme la Callune (*Calluna vulgaris*), le Genêt à balais (*Cytisus scoparius*), la Bourdaine (*Frangula alnus*), mais aussi des herbacées : le Jonc (*Juncus effusus*), la Potentille (*Potentilla erecta*), la Laîche paira (*Carex muricata*), la Houlque molle (*Holcus mollis*), ou encore des mousses : *Leucobryum glaucum*, *Eurhynchium stokesii*, *Polytrichum commune*. Côté positif, on trouve plutôt des espèces à caractère acidocline, voire neutrophile ou même nitrophile comme la Digitale (*Digitalis purpurea*), le Sénéçon Jacobée (*Senecio jacobaea*), la Fougère femelle (*Athyrium filix-femina*), la Molinie (*Molinia caerulea*), la Laîche espacée (*Carex remota*), l'Épilobe de montagne (*Epilobium montanum*), ainsi que quelques mousses : *Eurhynchium striatum*, *Lepidozia reptans* et *Plagiomnium undulatum*.

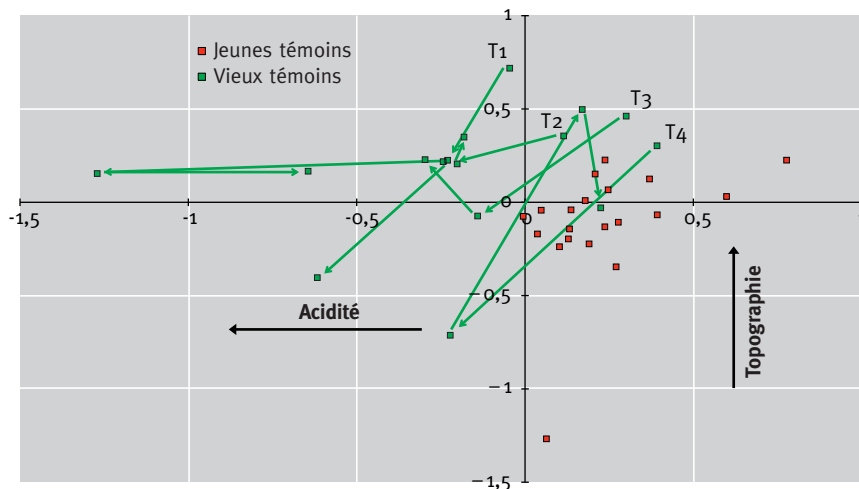
Comme l'amendement provoque une diminution de l'abondance de certaines mousses acidiphiles, il serait intéressant de suivre à long terme la dynamique de ces dernières, même dans les placettes témoins.

Enfin, sur la base de la figure 4 (p. 261), il est difficile de percevoir une dynamique naturelle d'acidification dans les placettes témoin d'Épicéa, contrairement à ce qui était observé dans la placette témoin feuillue (figure 2c, p. 257).

FIGURE 4

**PLAN FACTORIEL DE L'ANALYSE DES CORRESPONDANCES
EFFECTUÉE SUR LES PLACETTES "TÉMOINS" UNIQUEMENT
AFIN D'ILLUSTRE LA DYNAMIQUE "NATURELLE" DES PEUPEMENTS**

Les placettes du jeune et du vieux dispositifs sont symbolisées respectivement par des rectangles rouges et verts. Des flèches indiquent la dynamique temporelle des blocs 1 à 4 (T1 à T4) du vieux dispositif. Les relevés ont été effectués en 1988, 1993, 1998, puis en 2001 (pour T1 et T4 uniquement).



Effet de la pression des herbivores (dispositifs du Val de Senones et de Cornimont)

• *La végétation-type des bassins versants*

Les relevés floristiques réalisés sur les deux sites, avant tout traitement, montre la présence de Myrtille à des fréquences variables. Par contre, la Callune n'est présente que dans les enclos du site de Senones, et hors peuplements forestiers.

• *Analyse de la Myrtille*

Site de Cornimont

L'analyse des paramètres floristiques mesurés sur la Myrtille (recouvrement, fréquence et hauteur moyenne des plants), dans les carrés CP + CNP, ne montre aucune différence significative à l'installation du dispositif.

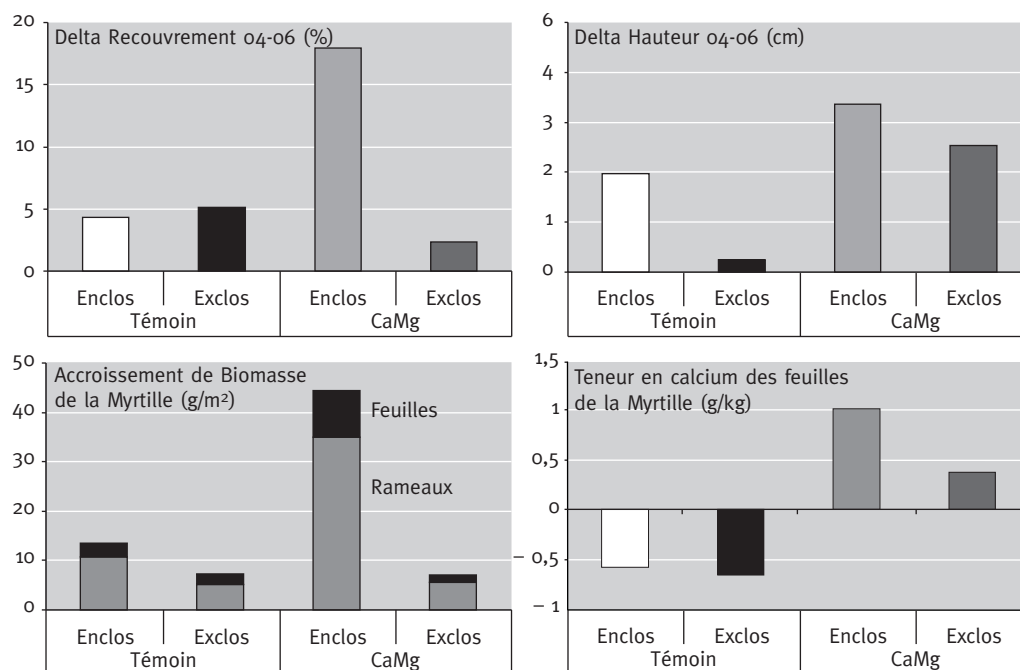
Par contre, deux et trois ans après traitements (amendement et enclos), d'importantes modifications s'observent. En effet, l'amendement a produit une augmentation significative du recouvrement et de la hauteur moyenne de la Myrtille dans les placettes à l'abri des cervidés (enclos), contrairement à ce qui se passe dans les zones exclos (figure 5, p. 262).

Les mesures destructives de biomasse étaient également initialement homogènes entre les traitements, avec des valeurs moyennes de $20,9 \pm 12,7$ g/m² pour les feuilles, $54,9 \pm 35,8$ g/m² pour les rameaux et $36 \pm 1,3$ g/m² pour les fruits.

Deux années après l'amendement, on observe dans les placettes à l'abri des cervidés un accroissement en biomasse 4 fois plus important que dans les témoins (figure 5, p. 262). Cet effet n'est pas observé dans les exclos.

L'analyse des contenus en minéraux indique également une meilleure assimilation des nutriments, plus particulièrement du calcium, dans les plants de Myrtille (feuilles) amendés (figure 5). La Myrtille "profite" donc de la plus grande disponibilité en calcium induite par ce traitement.

FIGURE 5
EFFET DES TRAITEMENTS "AMENDEMENT" ET "ENCLOS"
SUR L'ÉVOLUTION DU TAUX DE RECOUVREMENT ET DE LA HAUTEUR
DANS LES CARRÉS DE CORNIMONT.
Accroissement en biomasse et variation de la teneur en calcium des feuilles de la Myrtille



Site du Val de Senones : impact des enclos

Dans ce dispositif, aucun résultat n'est encore disponible concernant l'effet de l'amendement. Seul l'effet de l'abroustissement a été analysé.

À l'échelle du paysage, les enclos se caractérisent par une végétation ligneuse basse vigoureuse à l'opposé des zones soumises à la dent des grands herbivores (cervidés) dominées par la Canche et le Gaillet, herbacées peu présentes dans les enclos, du fait de la concurrence exercée par les ligneux bas qui ont tout envahi.

Dans les exclos, la hauteur moyenne des plants de Myrtille ou de Callune reste très faible, inférieure à 5 cm, alors que, dans les enclos, elle est supérieure à 50 cm.

Comme c'était également le cas à Cornimont, les caractéristiques initiales, observées ou mesurées, entre les parcelles témoins et amendées du dispositif de Val de Senones ne présentaient aucune différence significative. Le dispositif est donc homogène pour le suivi futur de l'effet des amendements.

Par contre, l'impact des enclos anciens est discriminant pour la biomasse et pour certains éléments des compartiments de la Myrtille ou de la Callune (tableau II, p. 263).



Illustration de la pression du grand gibier sur le paysage avec, à gauche, une photo de la végétation dans l'enclos et, à droite, dans l'exclos.

FIGURE 6

RÉPARTITION DE LA BIOMASSE DE LA MYRTILLE EN FONCTION DU TRAITEMENT ENCLOS/EXCLOS DANS LE SITE DU VAL DE SENONES

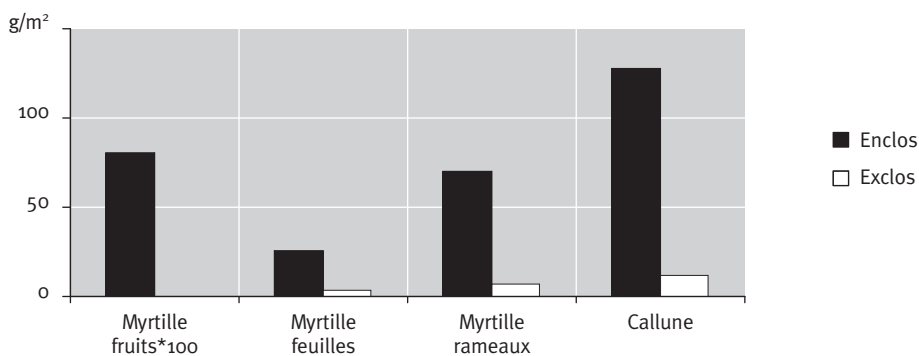


TABLEAU II

Modification de la composition en éléments dans les plants de Myrtille en fonction du traitement enclos/exclos

Espèce – organes	Traitement	C (g/kg)	N (g/kg)	S (g/kg)	P (g/kg)	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)
Myrtille – Feuilles	Enclos	494,8	11,7	1,1	0,7	5,9	11,0	2,6
Myrtille – Feuilles	Exclos	497,7	14,1	1,4	0,8	5,2	11,5	2,8
Myrtille – Rameaux	Enclos	489,4	8,0	0,8	0,7	3,4	9,4	1,2
Myrtille – Rameaux	Exclos	488,3	10,2	0,9	0,9	4,2	11,8	1,2
Callune	Enclos	509,4	9,4	1,0	0,8	4,8	4,0	1,2
Callune	Exclos	499,2	12,9	1,3	0,9	5,1	4,7	1,4

Les leçons des essais anciens (Ardennes) concernant la Myrtille

Dans les essais anciens des Ardennes, quinze années de suivi montrent une évolution vers un accroissement de la richesse en espèces dans les parcelles amendées. Pour la Myrtille, il n'a pas été observé d'effet significatif de l'amendement sur la fréquence de cette espèce, seule une réduction temporelle faible de recouvrement. En aucun cas il n'y a eu de réduction significative de la Myrtille. Des analyses effectuées en 2005 sur les tiges, les feuilles et les fruits montrent qu'il n'y a pas de modification de la composition chimique de la Myrtille sur le moyen terme (24 ans) même avec des doses expérimentées allant jusqu'à 20 t/ha, ce qui est près de 10 fois plus que le maximum préconisé (soit 2,5 t/ha).

CONCLUSIONS

La végétation spontanée réagit rapidement à un épandage d'amendement, et ce d'une façon d'autant plus marquée que la dose appliquée est forte et l'éclaircissement au sol suffisant. Un épandage avec des doses très élevées (supérieures à 5-10 t/ha) a pour conséquence une modification drastique des caractéristiques stationnelles qui n'est pas souhaitable : si un amendement raisonnable peut améliorer les caractéristiques stationnelles, augmenter la richesse floristique en permettant à un certain nombre d'espèces neutro-nitrophiles de s'installer, des doses trop fortes de carbonate, et surtout de carbonate seul, peuvent avoir des conséquences graves sur l'équilibre de l'écosystème, en particulier nutritionnel. Sur sols acides, l'amendement est donc un acte que le forestier doit raisonner en fonction du degré d'acidification et de la pauvreté nutritive de ses sols.

Il est extrêmement regrettable que nous ne disposions pas pour toutes les placettes des dispositifs anciens des relevés floristiques permettant de connaître la composition floristique juste avant l'épandage des produits. Cela est lié au fait que ces dispositifs ont été installés par des pédologues qui, à l'époque, ne s'intéressaient pas aux conséquences des épandages sur la végétation spontanée. Il est clair qu'à l'avenir, toute action humaine visant à modifier les conditions stationnelles, quelle que soit sa nature, devrait être associée à une étude parallèle de la dynamique de la végétation. N'oublions pas non plus que cette végétation est en quelque sorte la partie visible immédiatement perceptible de l'écosystème et que son évolution peut également conditionner celle d'autres compartiments de la biodiversité (les insectes par exemple).

Hormis l'augmentation du nombre d'espèces nitrophiles liées à l'amendement, nos résultats mettent également en évidence le fort impact du gros gibier sur la végétation. Il sera donc intéressant de continuer de suivre ces dispositifs qui constituent l'un des rares cas de suivi *in situ* à long terme de la résilience de l'écosystème après une perturbation de sa fertilité.

Jean-Pierre RENAUD
UMR Écologie et Écophysiologie forestières
Équipe Phytoécologie forestière
INRA Centre de Nancy
F-54280 CHAMPENOUX
— actuellement —
Département Recherche
OFFICE NATIONAL DES FORÊTS
Les Merises
Parc de Haye
F-54840 VELAIN-EN-HAYE
(jean-pierre.renaud-02@onf.fr)

Jean-François PICARD – Jean-Luc DUPOUEY
UMR Écologie et Écophysiologie forestières
Équipe Phytoécologie forestière
INRA Centre de Nancy
F-54280 CHAMPENOUX
(dupouey@nancy.inra.fr)

Claude NYS
Biogéochimie des Écosystèmes forestiers
INRA Centre de Nancy
F-54280 CHAMPENOUX
(nys@nancy.inra.fr)

BIBLIOGRAPHIE

- BOBBINK (R.), HORNUNG (M.), ROELOFS (J.G.M.). — The effects of air-borne nitrogen pollutants on species diversity in natural and semi-natural European vegetation. — *Journal of Ecology*, vol. 86, 1998, pp. 717-738.
- BONNEAU (M.), LANDMANN (G.), NYS (C.). — Fertilization of declining conifer stands in the Vosges and in the french Ardennes. — *Water Air Soil Pollution*, vol. 54, 1991, pp. 577-594.
- BONNEAU (M.), NYS (C.). — Effets des amendements calci-magnésiques en forêt. — *Comptes rendus des Séances de l'Académie d'Agriculture de France*, vol. 83, 1997, pp. 161-169.
- BONTEMPS (J.-D.). — Évolution de la productivité des peuplements réguliers et monospécifiques de Hêtre (*Fagus sylvatica* L.) et de Chêne sessile (*Quercus petraea* Liebl.) dans la moitié Nord de la France au cours du XX^e siècle. — Nancy : École nationale du Génie rural, des Eaux et des Forêts, 2006. — 519 p. (Thèse de doctorat).
- BONTEMPS (J.-D.), VALLET (P.), HERVÉ (J.-C.), RITTIÉ (D.), DUPOUEY (J.-L.), DHÔTE (J.-F.). — Des hêtraies qui poussent de plus en plus vite : vers une forte diminution de leur âge d'exploitabilité ? — *Revue forestière française*, vol. LVII, n° 2, 2005, pp. 123-142.
- BRAUN-BLANQUET (J.). — Plant sociology. — New York : McGraw Hill, 1932. — 439 p.
- DHÔTE (J.-F.), DUPOUEY (J.-L.), BERGÈS (L.). — Modifications à long terme, déjà constatées, de la productivité des forêts françaises. — *Revue forestière française*, vol. LII, numéro spécial "Conséquences des changements climatiques pour la forêt et la sylviculture", 2000, pp. 37-48.
- DULIÈRE (J.-F.), CARNOL (M.), DALEM (S.), REMACLE (J.), MALAISSE (F.). — Impact of dolomite lime on the ground vegetation and on potential net N transformation in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) stands in Belgian Ardenne. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 56, 1999, pp. 361-370.
- DUPOUEY (J.-L.), THIMONIER (A.), LEBOURGEOIS (F.), BECKER (M.), PICARD (J.-F.), TIMBAL (J.). — Changements de la végétation dans les forêts du Nord-Est de la France entre 1970 et 1990. — *Revue forestière française*, vol. LI, n° 2, 1999, pp. 219-230.
- ELLENBERG (H.), WEBER (H.E.), DÜLL (R.), WIRTH (V.), WERNER (W.), PAULISSEN (D.). — Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. — *Scripta Geobotanica*, vol. 18, 1992, pp. 1-258.
- FEHLEN (N.), PICARD (J.-F.). — Influence de la fertilisation sur la végétation spontanée et la croissance radiale de l'Épicéa commun (*Picea abies* (L.) Karst.) dans une plantation adulte des Ardennes françaises. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 51, 1994, pp. 569-580.
- GILLIAM (F.). — Response of the herbaceous layer of forest ecosystems to excess nitrogen deposition. — *Journal of Ecology*, vol. 94, 2006, pp. 1176-1191.
- MISSION (L.), DUBUS-DEWARNAFFE (G.), JONARD (M.). — Effects of fertilization on the vascular ground vegetation of european beech (*Fagus sylvatica* L.) and sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) stands. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 58, 2001, pp. 829-842.
- NYS (C.). — Fertilisation, dépérissement et production de l'Épicéa commun (*Picea abies* (L.) Karst.) dans les Ardennes. — *Revue forestière française*, vol. XLI, n° 4, 1989, pp. 336-347.
- NYS (C.), RICHTER (C.), PICARD (J.-F.), RENAUD (J.-P.). — Restauration des sols forestiers acides par un amendement calco-magnésien dans le Massif vosgien et les Ardennes. — *Les cahiers du DSF*, vol. 4-2000 (La santé des forêts [France] en 1999), pp. 67-73.
- NYS (C.), PICARD (J.-F.), RICHTER (C.). — Effet d'un amendement CaMg et de l'abroussement sur la dynamique de la strate herbacée (myrtille et callune) dans les Vosges. — Premier rapport annuel INRA-ONF, 2006. — 15 p.
- RAMEAU (J.-C.), MANSION (D.), DUMÉ (G.), TIMBAL (J.), LECOINTE (A.), DUPONT (P.), KELLER (R.). — Flore forestière française. Guide écologique illustré. Tome 1. Plaines et collines. — Paris : Institut pour le Développement forestier, 1989. — 1785 p.
- REHFUESS (K.E.), AGREN (G.I.), ANDERSSON (F.), CANNELL (M.G.R.), FRIEND (A.), HUNTER (I.), KAHLE (H.P.), PRIETZEL (J.), SPIECKER (H.). — Relationships between recent changes of growth and nutrition of Norway spruce, Scots pine, and European beech forests in Europe - RECOGNITION. — European Forest Institute Working Paper 19, 1999, 94 p.
- RENAUD (J.-P.), PICARD (J.-F.), RICHTER (C.), LEGOUT (A.), NYS (C.). — Amendements calco-magnésiens et fonctionnement écologique : bilan des expériences conduites dans l'Est de la France (massif vosgien et Ardennes). — *Revue forestière française*, vol. LXI, n° 3, 2009, pp. 283-300.

- RENAUD (J.-P.), PICARD (J.-F.), RICHTER (C.), NYS (C.). — Restauration de sols forestiers acides par un amendement calco-magnésien. Cas du massif vosgien et de l'Ardenne. — Rapport d'étude ONF-INRA, 2001. — 38 p. + annexes.
- SPIECKER (H.). — Causes and consequences of accelerating tree growth in Europe. Chap. Growth trends in European forests. Do we have sufficient knowledge? — *EFI Proceedings* n° 27, 1999, pp. 157-169.
- STEVENS (C.J.), DISE (N.B.), MOUNTFORD (J.O.), COWING (D.J.). — Impact of nitrogen deposition on the species richness of grasslands. — *Science*, vol. 303, 2004, pp. 1876-1879.
- STRENGBOM (J.), NORDIN (A.), NASHOLM (T.), ERICSON (L.). — Parasitic fungus mediates change in nitrogen-exposed boreal forest vegetation. — *Journal of Ecology*, vol. 90, 2002, pp. 61-67.

INFLUENCE DE L'AMENDEMENT SUR LA COMPOSITION ET LA DYNAMIQUE DU CORTÈGE FLORISTIQUE POUR DES PEUPELEMENTS SITUÉS SUR SOLS ACIDES [Résumé]

L'amendement est un outil performant dont dispose le gestionnaire forestier pour restaurer la fertilité de sols acides. Afin de quantifier ces effets sur la diversité et la dynamique du cortège floristique des peuplements traités, trois expérimentations ont été suivies. L'effet de l'abroustissement par le gibier a également été évalué. Les résultats obtenus montrent un enrichissement en espèces neutro-nitrophiles ou héliophiles à caractère plutôt ubiquiste suite à l'amendement. Cet enrichissement se maintient, voire s'accroît huit années après le traitement. Dans la plupart des cas, les espèces présentes avant l'amendement ne disparaissent pas, bien que l'abondance d'espèces acidiphiles (par exemple, *Calluna vulgaris*, *Leucobryum glaucum*) subisse d'importantes réductions. Les résultats d'engrillagement mettent de plus en évidence la forte pression qu'exerce le gibier sur la biomasse et la composition floristique. En conclusion, l'ensemble de ces résultats illustrent bien l'impact des amendements sur la flore, souvent utilisée comme indicatrice des variations de fertilité des sols.

INFLUENCE OF SOIL CONDITIONERS ON THE COMPOSITION AND DYNAMICS OF THE FLORISTIC SUCCESSION FOR POPULATIONS LOCATED ON ACIDIC SOILS [Abstract]

Soil conditioners are an effective tool for recapitalising fertility in acidic soils. Three experiments were conducted to quantify these effects on the diversity and dynamics of the floristic succession of the treated populations. The effect of browsing by the fauna was also assessed. The results show an enhancement in neutro-nitrophilous and heliophilous species that tend to be ubiquitous following application of amendments. This enrichment continues and has sometimes intensified 8 years after the treatment. In most cases, the species found prior to the amendment have not disappeared, but the abundance of acidiphilous species (e.g. *Calluna vulgaris*, *Leucobryum glaucum*) significantly decreased. The results of fencing in plots also underscore the strong pressure the fauna brings to bear on the biomass and the floristic composition. Considered in combination, these results provide a good illustration of the impact of amendments on the flora, which is often used as an indicator for variations in soil fertility.
