

FORÊT • NATURE

OUTILS POUR UNE GESTION
RÉSILIENTE DES ESPACES NATURELS

Tiré à part de la revue **Forêt.Nature**

La reproduction ou la mise en ligne totale ou partielle des textes
et des illustrations est soumise à l'autorisation de la rédaction

foretnature.be

Rédaction : Rue de la Plaine 9, B-6900 Marche. info@foretnature.be. T +32 (0)84 22 35 70

Abonnement à la revue Forêt.Nature :
librairie.foretnature.be

Abonnez-vous gratuitement à Forêt.Mail et Forest.News :
foretnature.be

Retrouvez les anciens articles de la revue
et d'autres ressources : **foretnature.be**



© J. Caillaud

PERTE DE VITALITÉ DES PESSIÈRES ARDENNAISES : IMPACT DES DÉPÔTS ACIDIFIANTS ET EUTROPHISANTS

MATHIEU JONARD – ARNAUD LEGOUT – MANUEL NICOLAS
ETIENNE DAMBRINE – CLAUDE NYS – ERWIN ULRICH
RAPHAËLE VAN DER PERRE – QUENTIN PONETTE

Durant les années '70 et '80, la vitalité de nos pessières s'est dégradée suite à la pollution atmosphérique. Depuis, les retombées acides ont diminué. Pourtant, la vitalité n'est toujours pas au rendez-vous. Des phénomènes complexes ont conduit à des déséquilibres nutritionnels qui, exacerbés par les sécheresses, continuent de fragiliser nos pessières et pourraient les exposer à de nouvelles vagues de dépérissement.

Depuis le milieu du XIX^e siècle, des symptômes de perte de vitalité ont été observés ici et là souvent à la suite d'épisodes de sécheresse¹⁰. À la fin des années '70 et au début des années '80, les dommages (jaunissement et défoliation) ont toutefois pris une ampleur jamais rencontrée auparavant^{6, 11}. La pollution atmosphérique, communément appelée « pluie acide », a alors été considérée comme l'une des principales causes de ce dépérissement.

À cette époque dans le massif de la Croix-Scaille (Gedinne), les dépôts atmosphériques mesurés sous pessière s'élevaient environ à 50 kg par hectare et par an pour l'azote (N) ainsi que pour le soufre (S)⁴. Ces dépôts acidifiants ont eu pour effet d'abaisser le pH de la solution du sol, de favoriser la dissolution de l'aluminium (Al) et d'augmenter la lixiviation de bases cationiques telles que le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et le potassium (K).

Les pessières dont la croissance était jaadis limitée par l'azote bénéficiaient alors d'une nutrition azotée optimale suite aux apports atmosphériques. Par contre, d'autres nutriments comme le calcium et le magnésium ne pouvaient pas être prélevés par les arbres en quantité suffisante étant donné leur faible disponibilité (roche mère acide et peu altérable, appauvrissement suite aux pratiques ancestrales) et l'antagonisme avec l'aluminium renforcé suite à l'acidification⁹. Des déséquilibres nutritionnels sont donc progressivement apparus. Des carences en magnésium ont notamment été détectées et identifiées comme provoquant le jaunissement des aiguilles âgées d'un an et plus⁸.

Depuis lors, les émissions d'oxydes de soufre et d'azote ont largement diminué. À la Croix-Scaille, les dépôts de soufre sont actuellement de l'ordre de 10 kg par hectare et par an tandis que les dépôts d'azote avoisinent les 15 à 20 kg par hectare et par an. Suite à cette forte réduction des dépôts acidifiants, les pessières ardennaises ont-elles amélioré leur statut nutritionnel et leur état sanitaire ? Telle est la question à laquelle cette étude se propose de répondre.

ORIGINE DES DONNÉES

En lien avec l'Accord-cadre de recherche et vulgarisation forestières, une collaboration a été établie entre l'unité de Biogéochimie des Écosystèmes Forestiers du centre INRA de Nancy, l'ONF et le groupe de recherche en sciences forestières de l'UCL afin de synthétiser les nombreuses données relatives au fonctionnement biogéochimique des pessières ardennaises collectées ces trente dernières années. Il

s'agit notamment de données relatives à la vitalité des arbres et à la chimie des sols et des solutions. Ces données proviennent de différents projets :

- thèse de doctorat de Claude Nys sur la comparaison du fonctionnement biogéochimique en feuillus et en résineux⁴ ;
- Réseau National de suivi à long terme des Écosystèmes Forestiers français (RENECOFOR) : données de la placette EPC08 ;
- dispositif d'amendement de la Croix-Scaille⁵ ;
- Réseau Wallon de Suivi des Écosystèmes Forestiers (REWASEF) : données des placettes Ep1, Ep2, Ep3 et Ep4 ;
- dispositifs ardennais d'amendement et de fertilisation situés en pessières : cinq dispositifs³ ;
- convention : « Estimation des niveaux et charges critiques de polluants acidifiants au niveau des écosystèmes forestiers en Région Wallonne »¹.

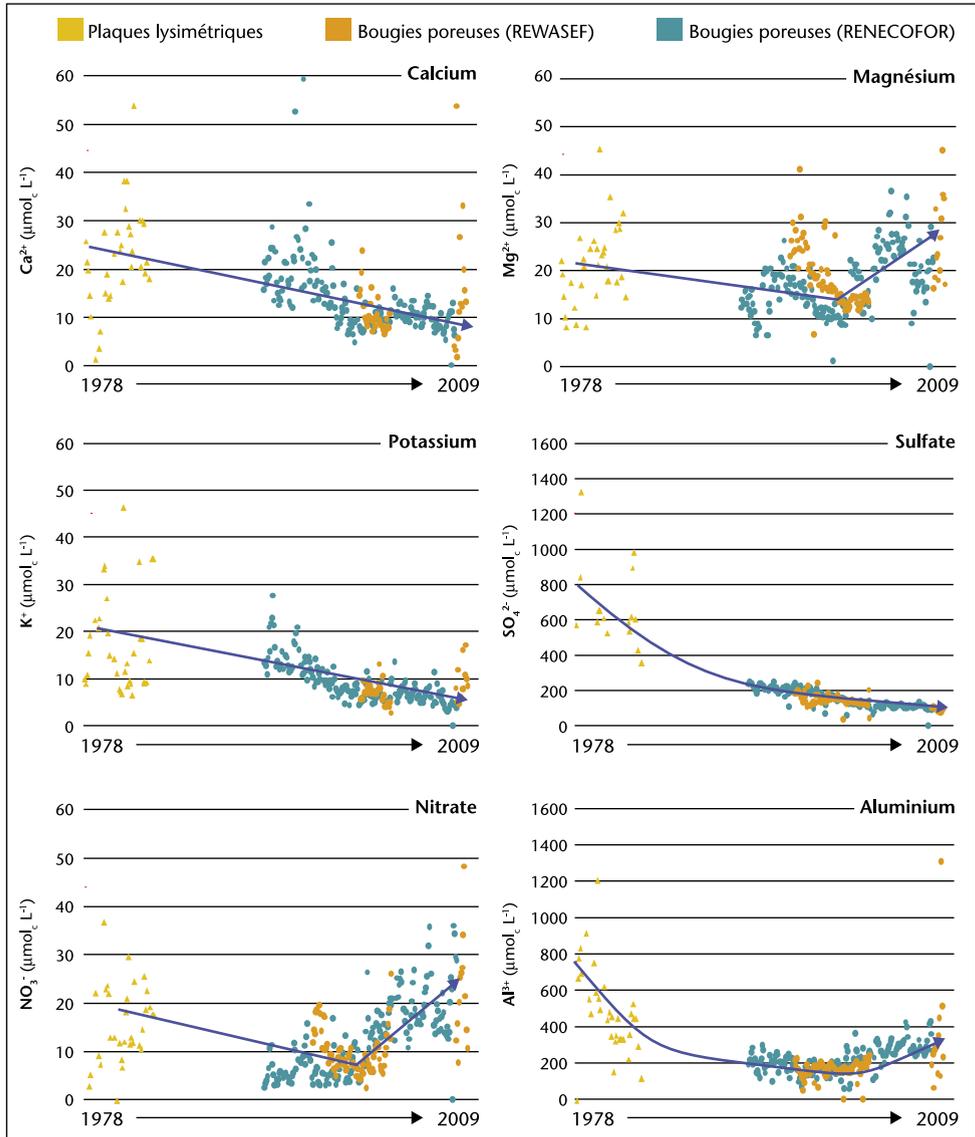
ÉVOLUTION DE LA CHIMIE DES SOLUTIONS DU SOL

À la Croix-Scaille (Gedinne), les tendances temporelles au niveau de la composition chimique de la solution du sol ont été reconstituées sur base de la concentration en ions dans la solution du sol prélevée à 50 cm de profondeur à l'aide de plaques lysimétriques (1978-1983) ou de bougies poreuses (1993 à 2009). Afin de rendre les deux jeux de données plus comparables, la concentration de la solution prélevée avec des plaques lysimétriques a été divisée par le rapport des concentrations entre les deux types de solution. Ce rapport a été calculé en 1999 une année durant laquelle des plaques et des bougies ont été utilisées simultanément.

Sur base de la figure 1, on observe une réduction des concentrations en calcium, en potassium et en sulfate tout au long de la période (de 1978 à 2009) alors que les concentrations en nitrate, en aluminium

et en magnésium diminuent jusqu'au début des années 2000 avant d'augmenter à nouveau. La diminution généralisée des concentrations en solution observée jusqu'en 2000 s'explique principalement

Figure 1 – Évolution temporelle des concentrations en ions dans la solution du sol (-50 cm) sous épicéas à Gedinne.



par une réduction drastique des dépôts atmosphériques. La diminution des apports acides a eu un effet direct sur les concentrations en nitrate et en sulfate et un effet indirect sur les concentrations en calcium, magnésium, potassium et aluminium, notamment à cause de l'augmentation du pH (adsorption sur le complexe d'échange et réduction du taux d'altération des minéraux). La réduction de la concentration en calcium et magnésium dans la solution du sol est également imputable à la diminution des dépôts en ces éléments.

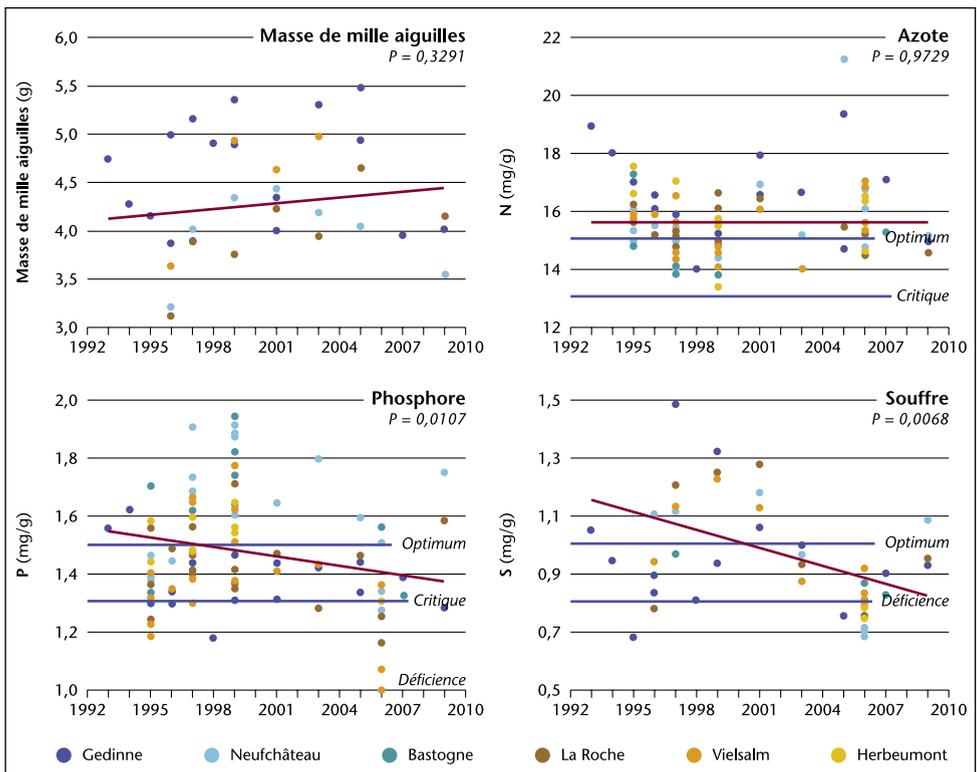
L'augmentation des concentrations en nitrate, aluminium et magnésium dans la

solution du sol au cours des années 2000 pourrait être due à des processus d'acidification internes liés à une dégradation de la vitalité des pessières. Cet aspect sera développé dans le volet consacré à l'état sanitaire.

ÉVOLUTION DE LA NUTRITION FOLIAIRE

Le statut nutritionnel des pessières a été évalué sur base d'analyses foliaires réalisées dans six sites différents de 1993 à 2009 (figure 2). La masse de mille aiguilles (de l'année) n'a pas évolué de manière

Figure 2 – Évolution temporelle de la nutrition foliaire dans les pessières ardennaises. Le niveau de significativité de la tendance temporelle (trait rouge) est donné par la valeur P alors que les lignes en bleu indiquent les normes foliaires² : optimum, seuil critique et seuil de déficience.

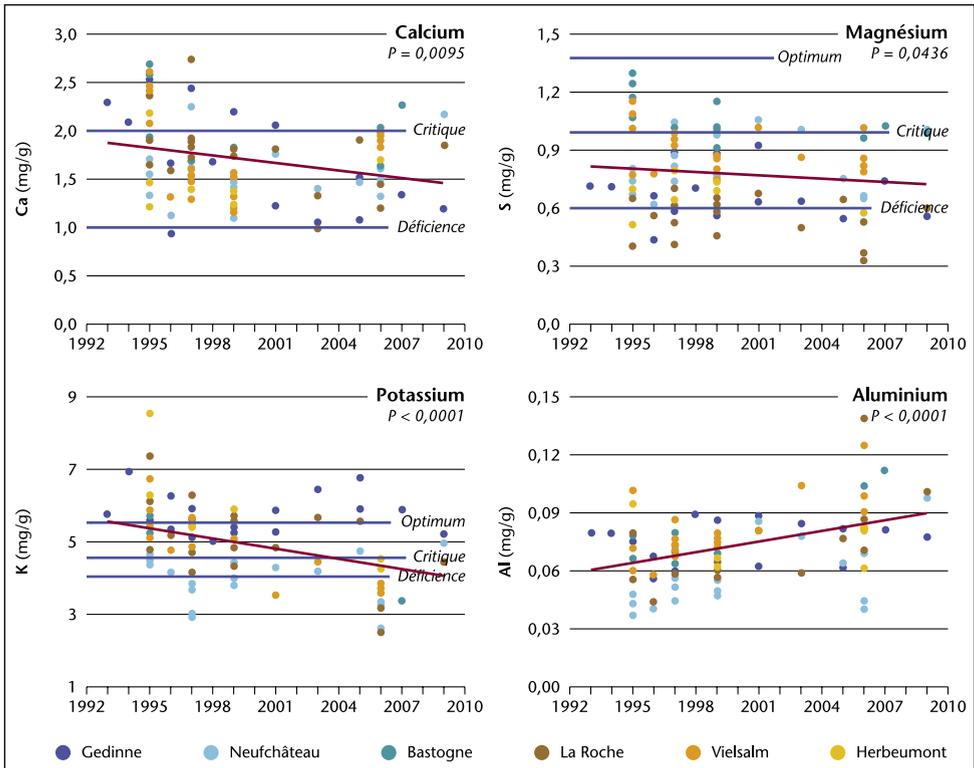


significative de même que la teneur en azote qui s'est maintenue à un niveau correspondant à une nutrition optimale. Les teneurs foliaires (aiguilles de l'année) des autres macro-nutriments (phosphore, soufre, calcium, magnésium et potassium) ont subi une baisse significative qui est de l'ordre de 7 % par décennie pour le phosphore et le magnésium et de 15 à 20 % pour le soufre, le calcium et le potassium. La teneur foliaire en aluminium a, par contre, augmenté d'une trentaine de pourcents en 10 ans. La nutrition foliaire des pessières ardennaises s'est donc dégradée ces dernières années. Le déséquilibre entre nutrition azotée et alimentation des

autres macro-nutriments s'accroît ; la situation est particulièrement préoccupante dans le cas du calcium, du magnésium et du potassium dont les teneurs se rapprochent en moyenne du niveau de carence. D'autre part, l'augmentation de la teneur foliaire en aluminium est le signe de la poursuite de l'acidification des sols.

Comme le prélèvement de nutriments se fait majoritairement à partir de la solution du sol, l'évolution de la nutrition foliaire peut être en partie expliquée par l'évolution de la composition chimique de la solution du sol collectée par des bougies poreuses de 1993 à 2009 à Gedinne. Pa-

Figure 2 – Suite.



rallèlement à la baisse des teneurs foliaires en calcium, potassium et soufre, on observe une diminution significative des concentrations en ces éléments dans la solution du sol. Durant le même laps de temps (1993-2009), la teneur foliaire en aluminium et sa concentration dans la solution du sol ont augmenté conjointement. La nutrition foliaire en azote n'a pas été affectée par l'augmentation des concentrations en nitrate dans la solution de sol car celle-ci était déjà optimale en début de période (mécanisme de régulation du prélèvement). En ce qui concerne le magnésium, une légère baisse de la teneur foliaire est observée alors que la concentration dans la solution du sol augmente ; ceci pourrait s'expliquer par un taux de prélèvement racinaire réduit du fait d'un antagonisme entre l'aluminium et le magnésium.

ÉVOLUTION DE L'ÉTAT SANITAIRE

Les données d'état sanitaire proviennent du réseau wallon de suivi intensif des écosystèmes forestiers et des placettes témoin des dispositifs ardennais d'amendement et de fertilisation. En ce qui concerne le réseau de suivi intensif, cinquante-deux arbres ont été observés par site au sein d'une même placette alors que trente-six à quarante-huit arbres ont été observés dans les trois à quatre placettes témoin de chaque dispositif d'amendement et de fertilisation (douze arbres par placette témoin).

Un des paramètres clés de l'état sanitaire est la défoliation, c'est-à-dire le déficit d'aiguilles dans la partie de la couronne située hors compétition. Cette perte foliaire a été évaluée par rapport à un arbre

sain de référence. La figure 3 illustre l'évolution de la défoliation des pessières ardennaises de 1995 à 2009. Chaque point correspond à cinquante-deux arbres en ce qui concerne les sites de suivi intensif et à trente-six à quarante-huit arbres pour les dispositifs d'amendement et de fertilisation (placettes témoin). Une augmentation linéaire de la défoliation (environ 3 % par an) est observée depuis 2003. En 2009, la défoliation variait de 25 à 35 %, ce qui correspond à une perte de vitalité non négligeable.

La sécheresse estivale de 2003 semble avoir été l'élément déclencheur de la perte de vitalité des pessières ardennaises. Lorsque les conditions climatiques sont favorables, ces écosystèmes forestiers maintiennent un équilibre nutritionnel fragile fortement tributaire du recyclage des nutriments et des apports atmosphériques. Le prélèvement racinaire a lieu dans les couches holorganiques et dans les horizons minéraux de surface dans lesquels la disponibilité en nutriments est plus grande et qui constituent un milieu plus propice au développement racinaire. En conditions de sécheresse, cet équilibre précaire est rapidement mis à mal du fait de l'assèchement de ces horizons de surface (transport des nutriments vers les racines fortement limité). De plus, bien que les apports atmosphériques se poursuivent via les dépôts secs, ils ne sont plus mobilisables par les arbres.

SATURATION EN AZOTE ET LIXIVIATION DES NITRATES

À la Croix-Scaille, les pessières faisant l'objet d'un suivi semblent être saturées en azote ; les pertes par drainage sont éga-

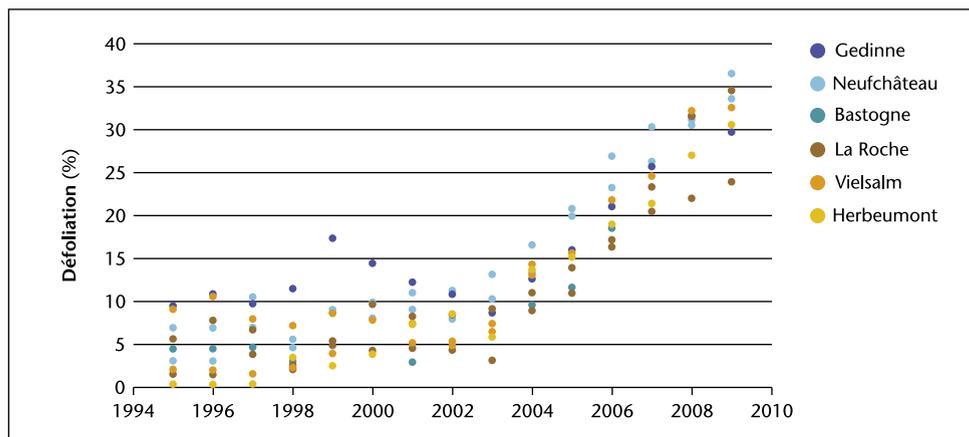


Figure 3 – Évolution temporelle de la défoliation dans les pessières ardennaises.

les (voire supérieures) aux apports atmosphériques. Plus largement, le diagnostic foliaire nous indique que la nutrition azotée des pessières ardennaises est optimale.

Dans ce contexte, l'augmentation de la lixiviation des nitrates observée à la Croix-Scaille au cours des années 2000 est à mettre en relation avec la dégradation de l'état sanitaire. Le prélèvement d'azote par les racines d'épicéas et son immobilisation par les micro-organismes ont peut-être été réduits suite à une moindre allocation de carbone à la rhizosphère ou à un moins bon fonctionnement de celle-ci (croissance racinaire réduite, vieillissement prématuré des racines, exsudation limitée). D'autre part, les conditions de minéralisation des couches hologaniques ont probablement été améliorées suite à l'ouverture du couvert résultant de la défoliation. Enfin, l'épicéa est une espèce connue pour inhiber la nitrification. On pourrait donc imaginer que la dégradation de son état sanitaire ait affecté négativement sa production de substances inhibitrices et favorisé la nitrification.

Quelle qu'en soit la cause exacte, cette augmentation des nitrates en solution renforce l'acidification et mobilise d'autres éléments tels que l'aluminium et le magnésium. Un cercle vicieux est alors mis place : l'état sanitaire se dégrade suite aux déséquilibres nutritionnels résultant en partie de l'acidification qui, elle-même, se renforce avec l'augmentation des nitrates en solution consécutive à la perte de vitalité.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Cette étude nous indique que les pessières ardennaises ne sont pas à l'abri d'une nouvelle vague de dépérissement et ce malgré la réduction drastique des dépôts acidifiants. La diminution des apports atmosphériques a fortement réduit les concentrations en bases cationiques dans la solution du sol, ce qui a eu l'avantage de limiter les pertes par lixiviation mais qui, d'autre part, a détérioré la nutrition des arbres en ces éléments. Le maintien



L'amendement est une technique intéressante pour améliorer la vitalité des pessières. Toutefois, son action est limitée aux horizons de surface, premiers à être affectés en cas de sécheresse.

© UCL, groupe de recherche en sciences forestières

de dépôts azotés importants combiné à cette disponibilité très limitée en bases cationiques a conduit à des déséquilibres nutritionnels prononcés prédisposant les arbres à une dégradation de leur état sanitaire. Celui-ci s'est progressivement détérioré après la sécheresse de 2003 qui semble avoir agi comme un facteur déclenchant, probablement en exacerbant les contraintes nutritionnelles. Si ce genre d'évènements climatiques se produit avec une fréquence accrue à l'avenir, d'autres phases de perte de vitalité ne sont pas à exclure.

Dans ce contexte, que faire pour améliorer la fertilité chimique des pessières ardennaises ? Lorsque l'objectif assigné au peuplement est la production et que le développement des arbres n'est pas limité par d'autres contraintes (comme par exemple une faible profondeur de sol ou un mauvais drainage), l'amendement peut s'avérer être une technique intéressante pour restaurer l'équilibre nutritionnel et améliorer la vitalité des arbres³. En cas de sécheresse, l'effet bénéfique de l'amendement reste toutefois limité car il modifie principalement les propriétés physico-chimiques des horizons de surface ; ceux-ci sont malheureusement les premiers à s'assécher⁷.

A contrario, une intensification des récoltes en vue de la production de bois-énergie pourrait être dommageable pour le maintien de la fertilité chimique des sols bruns acides sous forêts car les rémanents sont généralement constitués des compartiments de l'arbre les plus riches en nutriments (aiguilles, brindilles). ■

BIBLIOGRAPHIE

- ¹ BRAHY V., DELVAUX B. [2000]. *Estimation des quantités d'ammonium et de bases cationiques mobilisés à partir de dix sols forestiers wallons, suite à des apports croissants d'acide. Vérification de la pertinence de l'utilisation du modèle gibbsitique pour prédire l'activité en Al³⁺ critique*. Convention RW-UCL : Estimation des niveaux et charges critiques de polluants acidifiants au niveau des écosystèmes forestiers en Région Wallonne, Rapport final, 49 p.
- ² CROISÉ L., CLUZEAU C., ULRICH E., LANIER M., GOMEZ A. [1999]. *RENECOFOR - Interprétation des analyses foliaires réalisées dans les 102 peuplements du réseau entre 1993 et 1997*

et premières évaluations interdisciplinaires. Éd. Office National des Forêts, Département Recherche et Développement, Fontainebleau, France, 413 p.

- ³ JONARD M., ANDRÉ F., GIOT P., WEISSEN F., VAN DER PERRE R., PONETTE Q. [2010]. Thirteen-year monitoring of liming and PK fertilization effects on tree vitality in Norway spruce and European beech stands. *European Journal of Forest research* **129** : 1203-1211.
- ⁴ NYS C. [1987]. *Fonctionnement du sol d'un écosystème forestier : étude des modifications dues à la substitution d'une plantation d'épicéa commun (Picea abies) à une forêt feuillue mélangée des Ardennes*. Thèse, Université Nancy I, France, 207 p.
- ⁵ NYS C. [1989]. Fertilisation, dépérissement et production de l'épicéa commun (*Picea abies*) dans les Ardennes. *Revue Forestière Française* **41** : 336-347.
- ⁶ ULRICH B. [1995]. The history and possible causes of forest decline in central Europe, with particular attention to the German situation. *Environmental Reviews* **3** : 262-276.
- ⁷ VAN DER PERRE R., JONARD M., NYS C., PONETTE Q. [2010]. Impact de l'amendement sur la réaction des peuplements au stress hydrique. *Forêt Wallonne* **106** : 3-20.
- ⁸ VAN PRAAG H.J., WEISSEN F. [1986]. Foliar mineral composition, fertilization and dieback of Norway spruce in the Belgian Ardennes. *Tree Physiology* **1** : 169-176.
- ⁹ VAN PRAAG H.J., WEISSEN F., DREZE P., COGNEAU M. [1997]. Effects of aluminium on calcium and magnésium uptake and translocation by root segments of whole seedlings of Norway spruce (*Picea abies* KARST.). *Plant and Soil* **189** : 267-273.
- ¹⁰ WIEDEMANN E. [1927]. Untersuchungen über das Tannensterben. *Forstwiss. Centralbl.* **49** : 759-780.
- ¹¹ WEISSEN F., VAN PRAAG H.J., MARÉCHAL P., DELECOUR F., FARCY C. [1988]. Les causes de la dégradation sanitaire de forêts en Wallo-

nie : Le point de la situation. *Bulletin de la Société Royale Forestière de Belgique* **95** : 57-68.

Cet article est un résumé en français d'une étude parue dans la revue *Global Change Biology* : Jonard M., Legout A., Nicolas M., Dambrine E., Nys C., Ulrich E., Van der Perre R., Ponette Q. [2012]. Deterioration of tree vitality despite a sharp decline in acid deposition: a long-term regional perspective. *Global Change Biology* **18** : 711-725.

MATHIEU JONARD

mathieu.jonard@uclouvain.be

RAPHAËLE VAN DER PERRE

QUENTIN PONETTE

Environmental Sciences,
Earth and Life Institute,
Université catholique de Louvain
Croix du sud 2 L7.05.09
B-1348 Louvain-la-Neuve

ARNAUD LEGOUT

ÉTIENNE DAMBRINE

CLAUDE NYS

Unité Biogéochimie
des Écosystèmes Forestiers (UR 1138)
Centre INRA de Nancy
F-54280 Champenoux

MANUEL NICOLAS

ERWIN ULRICH

Département recherche,
Direction technique et commerciale bois,
Office National des Forêts
Boulevard de Constance
F-77300 Fontainebleau