

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

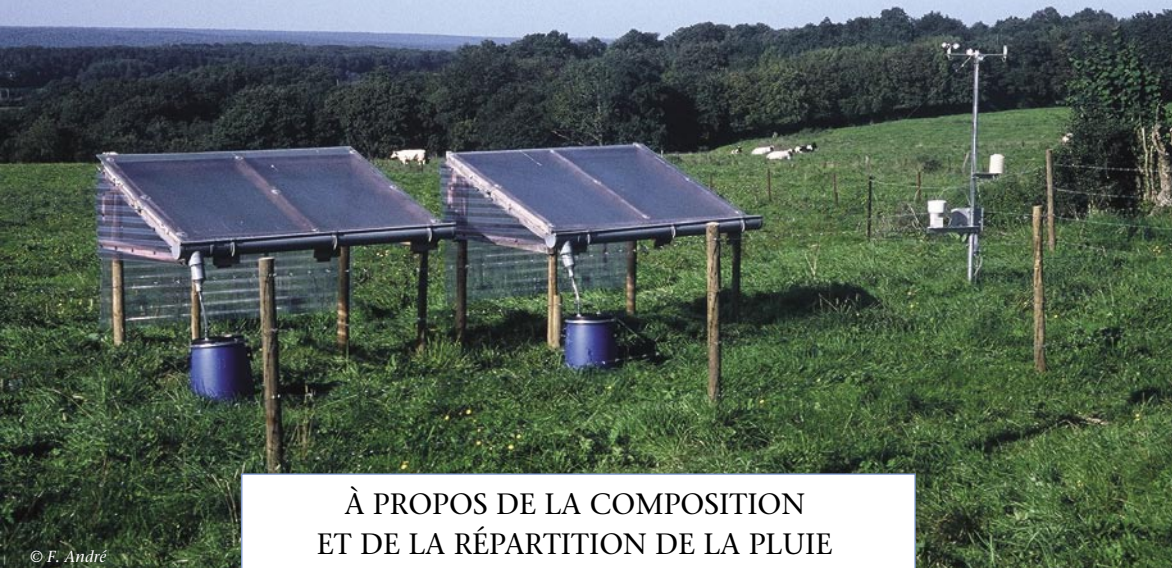
foretnature.be

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**



À PROPOS DE LA COMPOSITION
ET DE LA RÉPARTITION DE LA PLUIE
SOUS COUVERT FORESTIER

FRÉDÉRIC ANDRÉ

Les précipitations sous forêt constituent la source principale d'eau et d'éléments minéraux directement assimilable par les plantes. Le présent article s'attache à caractériser, d'une part, la distribution au sol des précipitations sous l'action du couvert forestier et, d'autre part, la composition chimique des apports atmosphériques. Il s'intègre dans une plus large étude visant à opérer des bilans de fertilité sur base de situations existantes ou de scénarios sylvicoles.

Les grandes vagues de dépérissement observées au cours des dernières décennies à travers l'Europe ont fait prendre conscience de la fragilité des écosystèmes forestiers et de l'intérêt d'étudier de manière approfondie les cycles biogéochimiques en forêt. Le gestionnaire forestier, bien qu'ayant un pouvoir d'action très limité, voire nul, sur les caractéristiques stationnelles telles la nature du sol ou le climat, peut cependant, par un

choix approprié des essences et du mode de sylviculture, influencer de manière significative les processus conditionnant l'évolution de la fertilité au cours de la révolution.

C'est pour aider le forestier dans les choix auxquels il se trouve confronté dès lors qu'il est amené à régénérer, implanter ou transformer une forêt que s'inscrit cette étude. Les résultats de ces recherches, as-

sociés à ceux d'autres études, notamment la quantification des immobilisations minérales dans les organes ligneux susceptibles d'être exportés lors des exploitations forestières, permettront à terme d'opérer des bilans de fertilité sur base de situations existantes et/ou de scénarios sylvicoles.

LES PRÉCIPITATIONS, SOURCE D'EAU ET D'ÉLÉMENTS MINÉRAUX

Les précipitations sous forêt constituent la source principale d'eau et d'éléments minéraux directement assimilable par les plantes¹⁻²⁻³. Les retombées atmosphériques sont en outre également chargées en polluants susceptibles d'affecter à plus ou moins long terme la fertilité des sols forestiers, en général relativement pauvres et bénéficiant rarement d'amendements.

Cependant, le passage de la pluie à travers la canopée affecte son volume au sol ainsi que sa composition chimique. La répartition au sol des retombées solubles est régie par les processus d'interception, faisant intervenir l'évaporation et le mode de répartition des précipitations incidentes entre pluvioléssivage et écoulement le long des troncs.

De nombreux processus sont donc impliqués et il est nécessaire de les scinder pour pouvoir développer pour chacun d'eux des modèles qui, une fois regroupés, pourront expliquer l'ensemble du cycle.

Nous allons nous attacher à caractériser, d'une part, la distribution au sol des précipitations sous l'action du couvert forestier et, d'autre part, la composition chimique des apports atmosphériques hors couvert. Ainsi, démontrerons nous

tout d'abord qu'une même averse de pluie peut, suivant la composition spécifique d'un peuplement, donner lieu à des apports hydriques au niveau du sol, quantitativement et spatialement fort différents. Ensuite, nous mettrons en évidence que la composition chimique des précipitations atteignant un peuplement est sous l'influence de nombreux facteurs tels que la direction et la vitesse du vent, l'importance de la précipitation et de la période sèche la précédant, etc.

L'analyse des modifications de la composition chimique de la pluie lors de son passage à travers la canopée fera l'objet d'un article ultérieur.

LA DISTRIBUTION SPATIALE DES PRÉCIPITATIONS

De nombreuses études réalisées sur des forêts de types différents et sous climats contrastés ont démontré que la forêt affectait de manière significative la quantité et la distribution spatiale des précipitations au sol. Quand elle traverse la canopée, une partie des précipitations, les « pluvioléssivats directs », atteint directement le sol en passant par les ouvertures du feuillage. L'autre partie entre en contact avec les organes aériens pour suivre différentes voies.

Au début de l'averse, les feuilles et les branches accumulent de l'eau à leur surface. Après un certain temps, l'eau tombe de ces organes et constitue les « pluvioléssivats indirects ». Une autre partie ruisselle le long des branches et du tronc pour atteindre la base de celui-ci. Ce ruissellement suit d'abord des itinéraires préférentiels mais s'étend peu à peu à toute



Toit collecteur des pluvioléssivats.

la surface du tronc jusqu'à sa saturation complète. Enfin, une partie de la pluie s'évapore pendant et après l'averse.

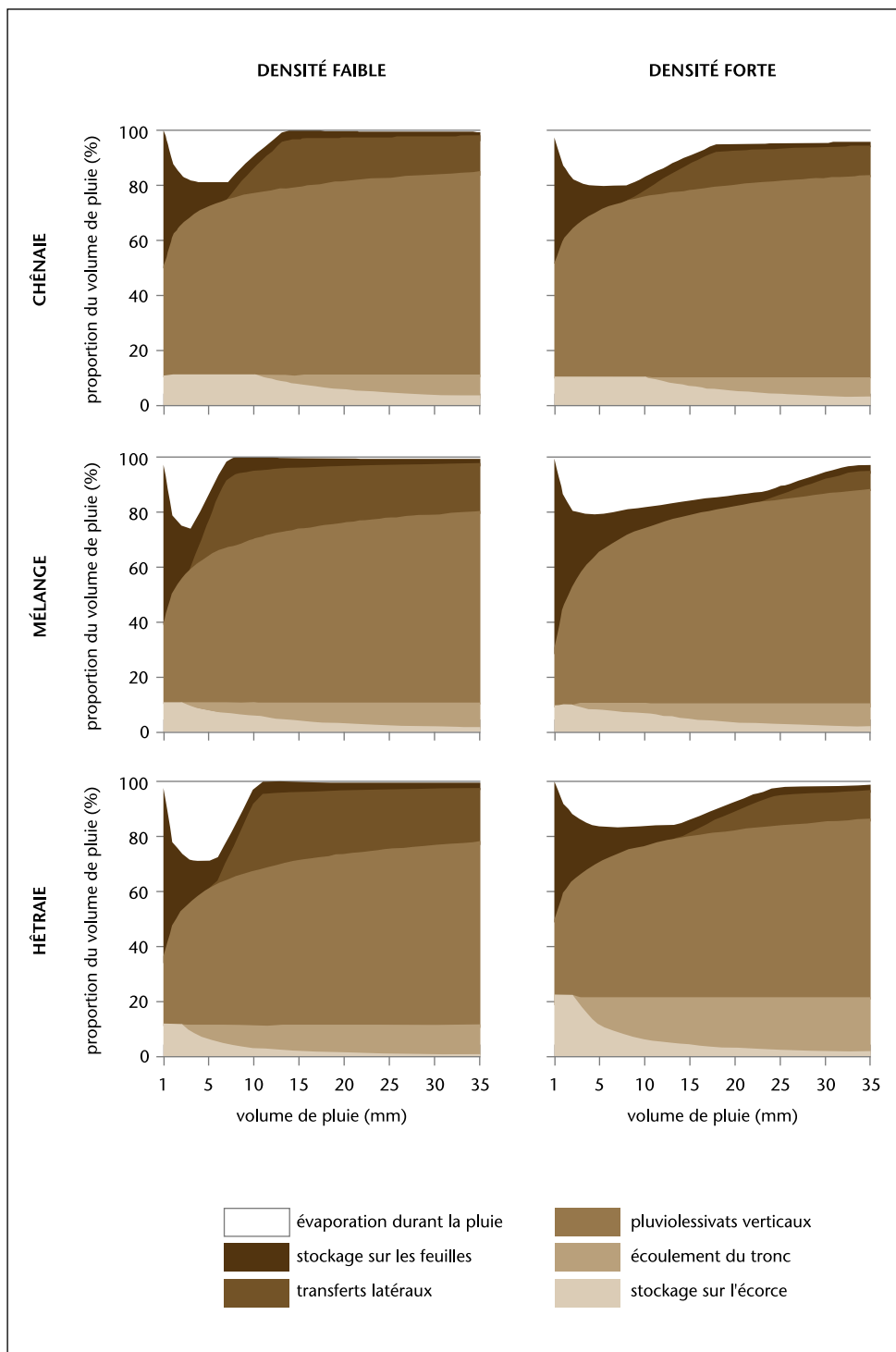
La quantité d'eau stockée puis évaporée à partir des organes aériens représente une composante importante dans le bilan de capture de l'eau par la forêt. Elle est par ailleurs bien supérieure à ce que l'on rencontre au niveau des terres agricoles.

La façon dont se distribue l'eau de précipitation en forêt, par les différents processus décrits ci-dessus, a une influence démontrée sur les caractéristiques du sol et la distribution, par exemple, des fines racines des arbres ou la présence de certaines espèces herbacées. Cette distribution peut également affecter la décomposition de la litière ainsi que la nitrification.

Enfin, de manière générale, la compréhension des processus de répartition des précipitations sous forêt est importante puisque les flux d'eau constituent le mode de transport des éléments nutritifs ou des polluants sous formes dissoutes.

Le bilan

Les facteurs jouant sur la répartition des précipitations en forêt sont aussi bien d'ordre biologique que météorologique. Les facteurs météorologiques comprennent, entre autres, la quantité de pluie, son intensité, la part évaporée et l'intervalle entre deux événements pluvieux. Les facteurs biologiques concernent la structure du couvert forestier influencée par la densité du peuplement et les essences qui le composent. En effet, les caractéristiques du feuillage (distribution, densité), l'architecture des houppiers (inclinaison et



forme des branches), la rugosité de l'écorce ainsi que son épaisseur et la phénophase sont autant de facteurs jouant sur l'interception de la pluie et sa redistribution à la forêt.

En définitive, on peut donc considérer que l'apport d'eau en forêt se fait soit par voie directe, lorsque la pluie tombe au sol ou s'égoutte des feuilles, soit par voie indirecte, lorsqu'elle atteint le sol via l'écoulement le long des troncs. Dans le premier cas, on parle d'apport diffus c'est-à-dire sur l'ensemble de la surface du sol, et dans l'autre d'un apport local, concentré sur une surface relativement restreinte à la base du tronc.

Les différences rencontrées au niveau de la répartition des pluies en fonction des peuplements et du volume de l'averse sont présentées dans la figure 1. Les mesures proviennent d'un peuplement mélangé de chêne et hêtre situé à Chimay. Différentes modalités de mélange et de densité ont pu y être isolées en délimitant des zones triangulaires entre trois arbres directement voisins dans lesquelles les flux étudiés ont été mesurés. À cette fin, chacune des zones est équipée d'un toit central (environ 6 m²) et de trois gouttières périphériques assurant la collecte des pluiolessivats ainsi que de collecteurs d'écoulement des troncs sur les arbres. Chacun des graphiques de la figure 1 a été construit à partir d'un bilan hydrique établi pour chacune des zones de mesure.

L'aspect fort diversifié de ces graphiques démontre l'intérêt de la compréhension de ces phénomènes. D'une part, on remarque l'influence de la composition et de la densité des peuplements et, plus encore, l'évolution de la répartition des pluies incidentes en fonction de la longueur de l'événement pluvieux. Ainsi, pour des événements de l'ordre de 0 à 5 voire 10 mm, une part non négligeable des précipitations est « perdue » par évaporation, soit directement durant l'événement pluvieux, soit après stockage temporaire à la surface des écorces et des feuilles. Par contre, pour les pluies plus volumineuses, la proportion des « pertes » par évaporation est nettement moindre.

Afin de mieux comprendre l'origine de ces différences, nous détaillons ci-dessous l'ensemble des facteurs intervenant dans le graphique global.

L'absorption par l'écorce

À dimensions égales, la quantité d'eau stockée à saturation complète au niveau de l'écorce du chêne est plus du double que pour le hêtre. Ainsi, pour un arbre de 100 cm de circonférence à 1,30 mètre de hauteur, la capacité de stockage de l'écorce s'élève à 37 litres pour le chêne contre 17 litres pour le hêtre. Ceci s'explique aisément par les différences d'épaisseur et de rugosité d'écorce entre les deux essences. De plus, chez le chêne, cette capacité est aussi accrue par les nombreux lichens et mousses qui se développent sur les branches et le tronc. Ceux-ci sont en

Figure 1 (ci-contre) – Influence du volume de pluie sur les proportions des composantes du bilan hydrique aérien sous forêt pour différentes modalités de mélange et de densité en peuplement mélangé de chêne et hêtre.

effet capables d'absorber jusqu'à dix fois leur poids sec en eau. Enfin, la valeur de stockage est également fortement liée à la taille de l'arbre : pour les plus gros arbres étudiés (C130 = 140 cm) elle s'élève à 71 litres pour le chêne contre 30 litres pour le hêtre.

À l'échelle de la zone de mesures, la part des précipitations retenue sur ou dans l'écorce pour les petites pluies est, à l'exception de la hêtraie pure, de l'ordre de 10 % quelles que soient la densité et la composition spécifique (figure 1). Ceci résulte du fait que pour les zones denses en chênaie pure et en mélange, l'effet de la forte proximité des arbres est compensé par leurs plus faibles dimensions moyennes par rapport aux zones correspondantes de faible densité. Par contre, pour la situation de hêtraie dense, les arbres restent de forte taille, ce qui porte le pourcentage de pluie stockée au niveau de l'écorce à 20 %.

À partir d'un certain volume de pluie, la saturation de l'écorce est atteinte sur toute la longueur des troncs et la proportion de cette composante diminue. Il est intéressant de remarquer que, du fait des différences de capacités de stockage de l'écorce entre les deux essences, cette diminution est plus rapide en hêtraie qu'en chênaie et est intermédiaire pour le mélange.

L'excédant d'eau arrivant jusqu'à la base de l'arbre constitue l'écoulement des troncs.

L'écoulement des troncs

La part des précipitations aboutissant par ruissellement au pied du tronc est largement influencée par l'importance

de l'évènement. Ainsi, cette valeur est nulle pour les premiers millimètres et s'accroît ensuite avec le volume de la précipitation.

Les écoulements d'eau le long des troncs ont été mesurés et mis en relation avec la dimension de ceux-ci et la taille de l'évènement pluvieux : les écoulements sont systématiquement plus importants pour le hêtre que pour le chêne. Le rapport est de 15 pour les événements pluvieux de petite taille, il décroît rapidement avec le volume de pluie et se stabilise aux alentours de 2 au-delà de 10 mm de précipitation. De plus, les volumes écoulés le long des troncs sont systématiquement plus importants en hiver. Enfin, l'apparition des écoulements au pied des arbres est plus tardive pour le chêne que pour le hêtre ainsi que pour l'été par rapport à l'hiver. En effet, durant l'été, 10,9 mm de pluie incidente sont nécessaires pour engendrer un écoulement à la base des chênes contre seulement 3,4 mm chez le hêtre ; durant l'hiver, ces valeurs s'élèvent respectivement à 6 et 1,5 mm.

Les différences inter-spécifiques s'expliquent d'abord par l'architecture différente des deux essences, le hêtre présentant des branches plus nombreuses, plus ramifiées et insérées plus verticalement. L'écorce du chêne constitue également un obstacle à l'écoulement puisqu'elle peut absorber plus d'eau avant d'être saturée. Les différences inter-saisonnières résultent quant à elles de la présence du feuillage qui limite les quantités d'eau atteignant les branches et le tronc en été.

Remarquons qu'à l'échelle de la zone de mesures, la part des précipitations contribuant à l'écoulement des troncs apparaît

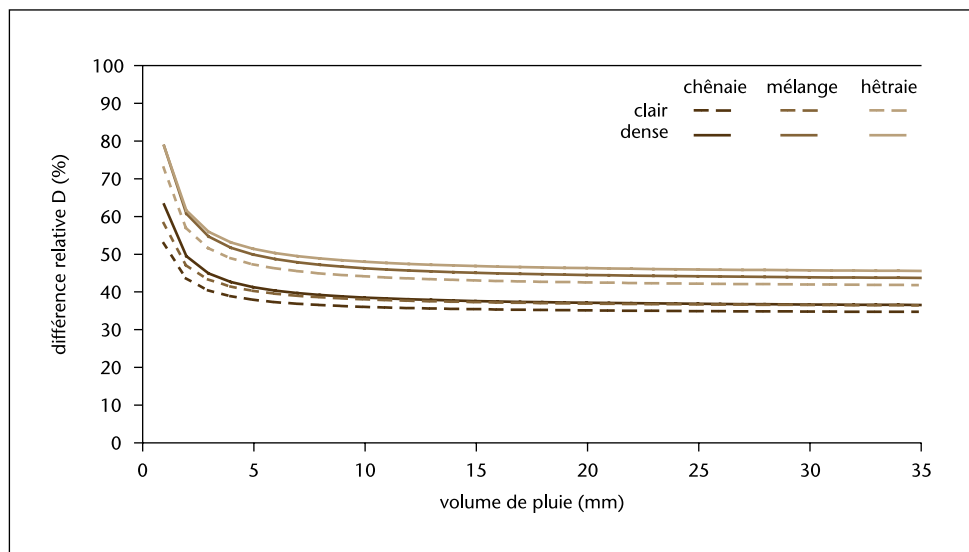


Figure 2 – Évolution de la différence relative entre le volume de pluie incidente et le volume de pluviolessivats au centre des zones de mesures en fonction de la taille de l'événement pluvieux (période de feuillaison).

relativement faible par rapport aux pluviolessivats. Toutefois, dans la réalité, les écoulements des troncs ne s'étendent pas sur toute la surface du sol mais se concentrent sur un anneau large d'environ 30 à 50 cm à la base de l'arbre. Si l'écoulement du tronc est rapporté à cette surface, ce flux s'avère alors plus élevé que celui des pluviolessivats : le rapport entre les deux flux varie entre 1,5 en chênaie pure et 12 pour la hêtraie pure.

L'influence du couvert

La figure 2 montre, pour la période feuillée, l'évolution de la différence relative (D [%]) entre le volume total d'un événement pluvieux et la quantité de pluviolessivats mesurée au centre des zones de collecte (sur le toit), ceci en fonction du volume de l'averse. Cette différence comprend d'une part la proportion de la pluie stockée à la surface des feuilles et des branches

et destinée à s'évaporer et, d'autre part, la proportion de la pluie s'écoulant le long des branches qui va soit atteindre le tronc et contribuer à l'écoulement, soit s'égoutter des branches et rejoindre directement le sol. Cette partie de la pluie ruisselant le long des branches et s'égouttant avant d'atteindre le tronc est dénommée « transferts latéraux » au sein du houppier dans la figure 1, par opposition aux « pluviolessivats verticaux » qui proviennent de la pluie directement sus-jacente à la zone où ils tombent.

Durant la période feuillée, pour des événements pluvieux inférieurs à 5 mm, la différence relative D décroît fortement quand la valeur augmente. Par contre, pour des événements pluvieux supérieurs à 10 mm, on remarque qu'elle se stabilise, selon le type de canopée, entre 35 et 45 %.



© F. André

Collecteur d'écoulement du tronc.

L'explication du phénomène est assez simple : au début de l'événement pluvieux, de nombreuses gouttes arrivant au niveau du feuillage restent bloquées dessus. Si la pluie cesse à ce moment, cette eau va s'évaporer et n'atteindra donc jamais le sol. Mais si la précipitation se poursuit, la feuille va petit à petit se saturer et l'eau va commen-

cer à s'égoutter vers le sol ou s'écouler le long des branches. Dès lors, la proportion d'eau retournant à l'atmosphère va peu à peu diminuer. Lors de longs événements pluvieux, la portion d'eau évaporée à la surface des feuilles deviendra négligeable et la différence relative correspondra alors uniquement à la part des précipitations transférée latéralement au sein du houppier en direction du tronc.

La différence entre les deux modalités de densité apparaît plus prononcée dans le cas des peuplements mixtes que pour les peuplements purs. La valeur de D est environ 10 % plus petite pour les faibles densités (chênaies pures et peuplements mélangés à faible densité) que dans les zones de hautes densités (hêtraies pures, peuplements mélangés denses). La part de précipitation atteignant directement le sol y est donc plus importante.

Remarquons qu'en absence de feuilles, D n'est pas influencée par la taille de l'événement pluvieux.

L'interception par le feuillage

La quantité d'eau interceptée par les feuilles, branches et troncs représente de 50 à 70 % du volume d'eau incident pour les faibles précipitations. L'ensemble de cette eau est évaporée et n'atteint pas le sol. Cependant, dès que la précipitation augmente, cette proportion diminue fortement jusqu'à devenir infime.

Les feuilles tiennent une part non négligeable dans cette interception, surtout en début de précipitation. Elles interviennent cependant de manière différente selon les essences concernées. Ainsi, les résultats de laboratoire démontrent que la capacité de stockage par unité de surface de feuilles de

chêne est beaucoup plus grande que celle du hêtre : on compte quelque 64 g d'eau par mètre carré de feuilles de hêtre (après égouttage) contre 110 g pour le chêne.

Sur base d'une étude des retombées foliaires dans ce peuplement⁴, la surface foliaire totale d'un arbre moyen (C130 = 100 cm) est estimée à 129 m² pour le chêne et à 205 m² pour le hêtre. Ainsi, les quantités d'eau stockées à saturation à la surface des feuilles (face supérieure uniquement) de tels arbres sont très proches : 14,2 litres pour un chêne et 13,1 litres pour un hêtre.

Enfin, les capacités de stockage du feuillage évoluent également à la baisse, comme on pouvait l'imaginer, avec l'augmentation de la vitesse maximale du vent durant la précipitation.

LA COMPOSITION CHIMIQUE DES PRÉCIPITATIONS

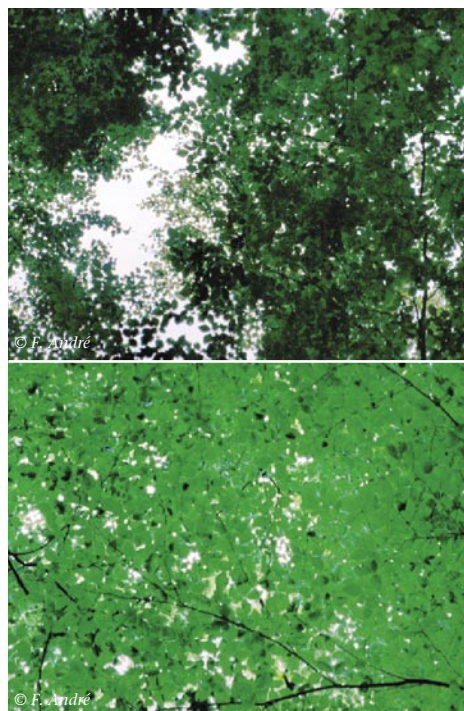
Les composants inorganiques de la pluie sont étudiés depuis plus de 150 ans. Les premières études ont été initiées pour déterminer la part de ces précipitations dans la source de nutriments pour les cultures. La vague de dépérissement observée dans les forêts d'Europe centrale dans le courant des années '80 a considérablement relancé l'intérêt pour la question.

Les apports en éléments nutritifs par la pluie apparaissent indispensables au maintien de la fertilité des écosystèmes forestiers. En effet, les forêts sont pour la plupart cantonnées sur des sols relativement pauvres et ne bénéficiant pas en général d'intrants anthropiques directs (engrais et amendements). Par ailleurs, outre les pertes éventuelles de nutriments par lessiva-

ge profond dans le sol, par ruissellement ou par érosion, une part non négligeable d'éléments nutritifs est exportée lors des exploitations forestières⁵⁻⁶. Dès lors les retombées atmosphériques permettent de compenser, du moins en partie, ces pertes pour l'écosystème.

D'autre part, outre les nutriments, les précipitations contiennent également des composés acidifiants ayant un effet dommageable sur les forêts, non seulement lorsqu'ils entrent en contact directement avec la végétation mais aussi de par leur action négative sur la fertilité des sols.

Couvert mélangé clair et dense (26 juillet 2002).



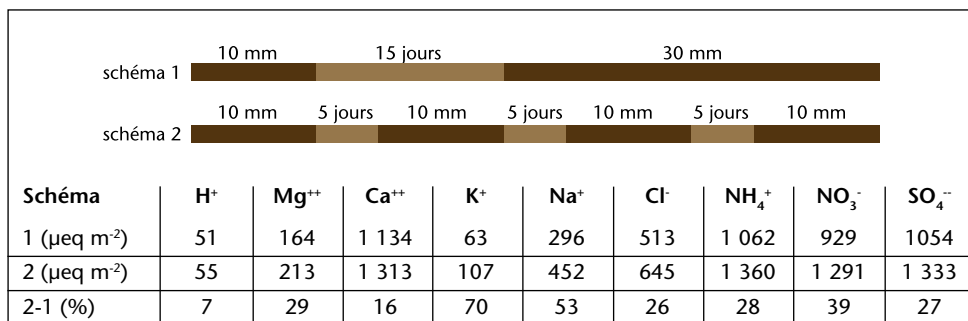


Figure 3 – Influence de l'alternance entre périodes pluvieuses (en brun foncé) et sèches (en brun clair) sur la composition des retombées hors couvert.

Il apparaît dès lors important de connaître la composition chimique de la pluie et de comprendre l'action des facteurs qui la régissent.

La composition de l'eau de pluie est la résultante de deux séries de mécanismes. Tout d'abord, lors de la condensation de l'eau, certains éléments sont intégrés aux microgouttelettes qui forment les nuages. Par après, ces nuages captent physiquement des éléments au niveau de l'atmosphère tandis que certains gaz réagissent au contact du nuage et l'alimentent en éléments.

Le second processus est le phénomène de lessivage atmosphérique qui se produit lorsque les gouttes de pluies tombent. Durant leur chute, elles capturent et dissolvent des particules et des gaz.

La composition de la pluie est donc la résultante de la composition des aérosols et des gaz au stade de la formation du nuage et de la nature des particules et gaz que les gouttes d'eau entraînent lors de leur chute vers le sol.

Au vu de cela, il apparaît que l'origine des masses d'air et donc la direction du vent

sont des paramètres importants à prendre en considération pour expliquer la composition chimique des pluies en fonction de la localisation et l'importance des sources d'éléments naturelles (mers, volcans, etc.) et anthropiques (industries, trafic, fertilisation, etc.). Plus encore, le volume de la précipitation est un paramètre essentiel puisqu'il détermine le degré de lessivage de l'atmosphère et affecte donc la concentration globale de la pluie en éléments. Des relations entre la fréquence des précipitations et leur composition chimique ont également été mises en évidence.

Enfin, le laps de temps séparant deux événements pluvieux joue également un rôle important puisqu'il influence le niveau de rechargement de l'atmosphère en éléments en suspension et en gaz.

L'ensemble de ces facteurs ont été considérés lors d'une expérience menée sur le même site de Chimay. Le but était d'établir des liens entre les dépôts de neuf éléments majeurs via les précipitations (H⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, NH₄⁺, Na⁺, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄⁻) et des variables météorologiques, principalement le volume de l'événement pluvieux, la longueur de la période sèche

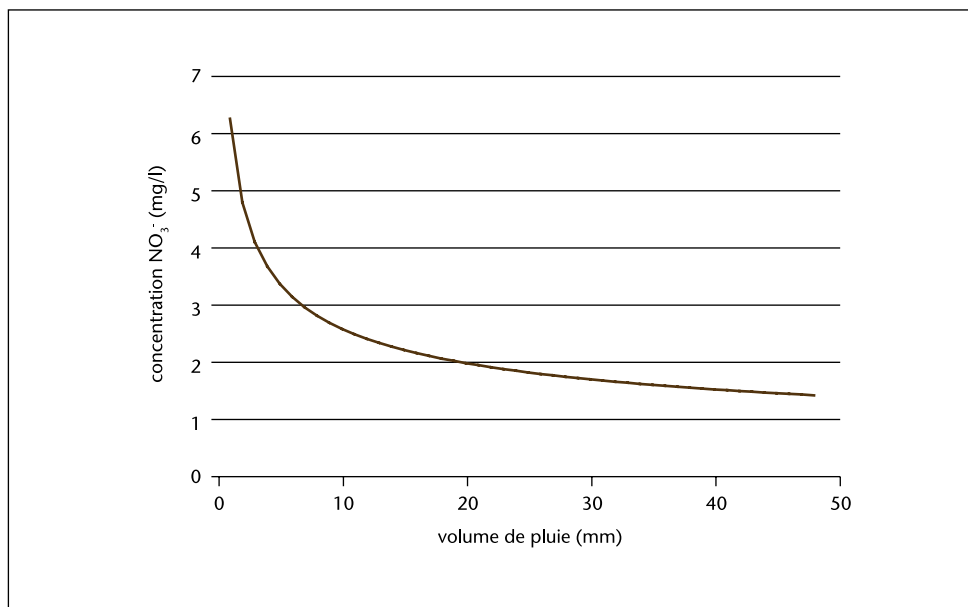
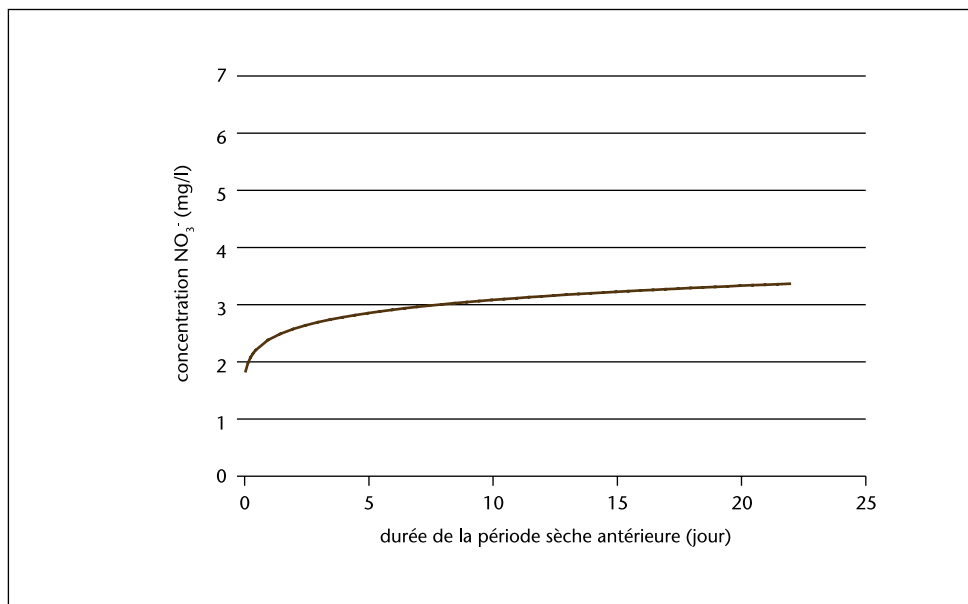


Figure 4 – Évolution de la concentration de la pluie en NO₃⁻ en fonction du volume de l'événement pluvieux (durée de période sèche antérieure fixée à 5 jours).

Figure 5 – Évolution de la concentration de la pluie en NO₃⁻ en fonction de la durée de la période sèche antérieure (volume de pluie fixé à 10 mm).



précédant cet événement, le volume du précédent événement et les caractéristiques du vent avant et pendant la précipitation. Les précipitations ont été récoltées régulièrement de mai 2002 à octobre 2005, sous la forme « d'événements ». Un événement étant une averse d'au moins 1 mm, précédée d'une période sèche de minimum 12 heures.

Le modèle global

La figure 3 est issue d'un modèle et présente deux schémas temporels de précipitations : la durée d'observation (15 jours) et la quantité totale de précipitations (40 mm) sont égales, seuls changent l'importance de chacun des événements pluvieux et le laps de temps les séparant. Le schéma temporel de précipitations numéro 2 présente quatre petites averses séparées par des périodes sèches de 5 jours alors que le schéma numéro 1 inclut une large période sèche de 15 jours suivie d'un événement pluvieux de 30 mm.

Pour les neuf éléments considérés, les quantités totales apportées par l'ensemble des événements pluvieux sont plus importantes dans le schéma temporel numéro 2 avec des différences allant de 7 à 70 %.

L'explication de ces différences tient principalement à l'efficacité du lessivage atmosphérique, au travers de l'importance de l'événement pluvieux, la longueur de la période de sécheresse précédant l'événement, etc.

La longueur de l'événement pluvieux

Il est intéressant de remarquer la réduction exponentielle des concentrations en NO_3^- de la pluie en fonction de l'import-

tance de la précipitation (figure 4). La très forte décroissance s'explique par le lessivage des masses atmosphériques situées sous les nuages et l'évaporation des gouttes de pluie du début de l'averse.

Au-delà d'une certaine quantité de pluie, le lessivage est de moins en moins fructueux, l'atmosphère étant de plus en plus propre. À ce moment, c'est la pluie, elle seule, qui détermine les quantités de NO_3^- et non plus le lessivage de l'atmosphère ; la concentration de la pluie se rapproche progressivement de celle des nuages.

La longueur de la période sèche

Nous avons également, comme d'autres auteurs, pu mettre en évidence une corrélation entre la concentration en éléments et la durée de la période sèche : plus celle-ci est longue, plus l'atmosphère se charge en éléments qui seront lessivés par la pluie.

La figure 5 montre, sur base d'un modèle, l'évolution de la concentration en magnésium d'une pluie de 5 mm en fonction de la durée de la période sèche. La concentration croît tout d'abord assez rapidement à mesure que la longueur de la période sèche augmente puis tend à se stabiliser progressivement au-delà de 5 jours sans pluie. Cette évolution de la concentration de la pluie avec la période sèche est semblable pour tous les éléments étudiés (à l'exception du H^+) et est le reflet de l'évolution de la concentration de l'atmosphère. En effet, directement après une pluie, l'atmosphère « nettoyée » recommence à se charger en particules et en gaz. Dans un premier temps, les concentrations atmosphériques en ces composés augmentent fortement pour atteindre après quelques jours un niveau proche de la saturation.

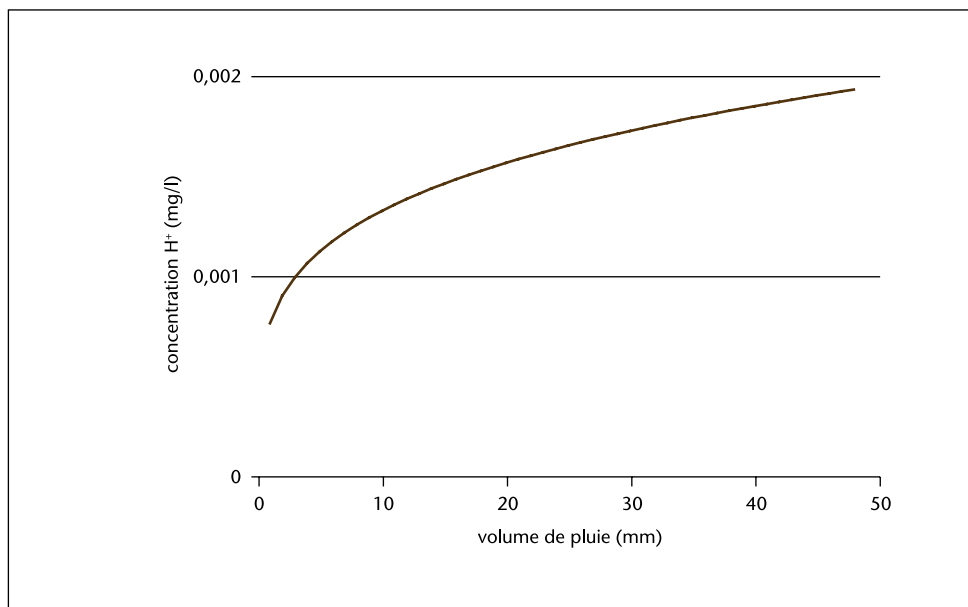
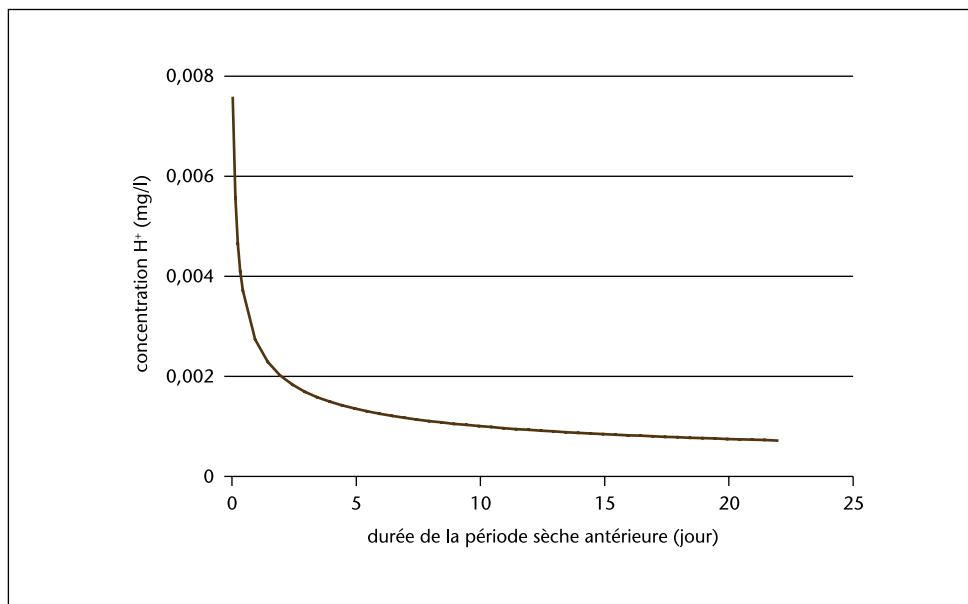


Figure 6 – Évolution de la concentration de la pluie en H⁺ en fonction du volume de l'événement pluvieux (durée de la période sèche antérieure fixée à 5 jours).

Figure 7 – Évolution de la concentration de la pluie en H⁺ en fonction de la durée de la période sèche antérieure (volume de pluie fixé à 10 mm).



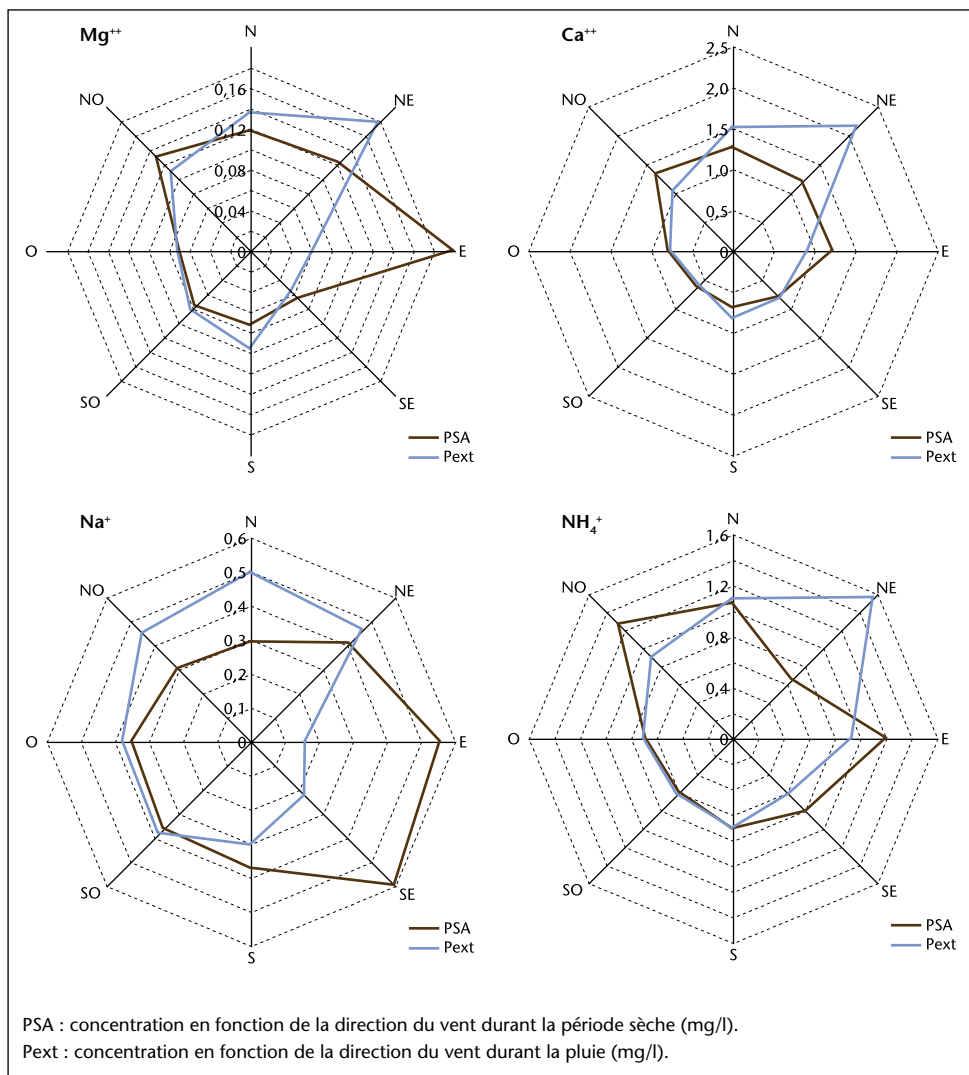


Figure 8 – Concentrations moyennes de la pluie en fonction de la direction dominante du vent durant la période sèche et durant la pluie.

Le volume de l'événement pluvieux précédent

Enfin, il convient également de noter que le volume de l'événement pluvieux précédent joue un rôle dans la concentration puisque de celui-ci dépendra l'état, appelons-le de « propreté », de

l'atmosphère avant la période sèche de recharge.

Le cas particulier du pH

L'évolution de la concentration de la pluie en H⁺ contraste par rapport à celle des autres ions considérés. Ainsi, l'aci-

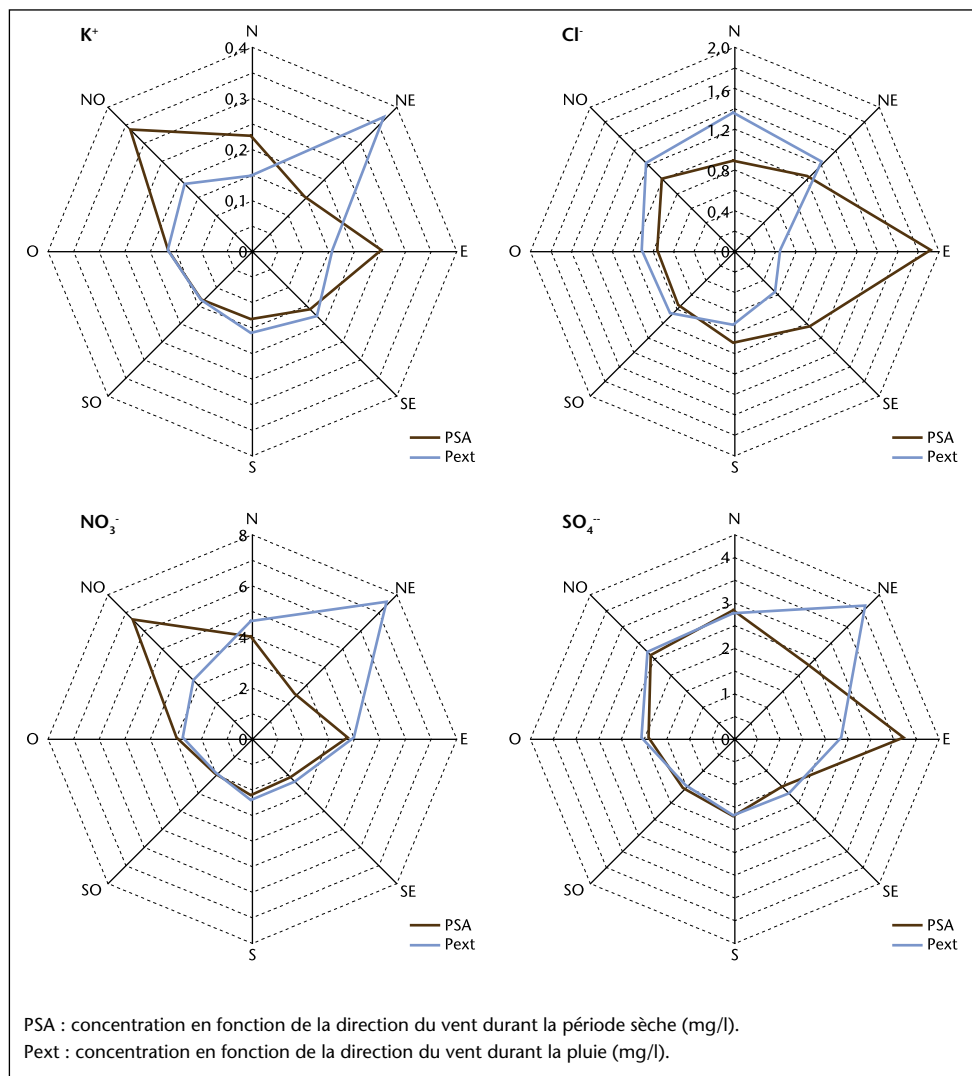


Figure 8 – Suite.

dité de la pluie tend à augmenter avec des volumes de pluie croissants (figure 6) et à diminuer à mesure que la durée de la période sèche augmente (figure 7). La variabilité de la concentration en H⁺ doit être interprétée au regard des autres éléments. En effet, le pH d'une pluie est la

résultante des réactions acides-bases qui s'opèrent entre les composés acides (tels HNO₃ et H₂SO₄ formés respectivement à partir des oxydes d'azote et de soufre atmosphériques) et les composés basiques (tels NH₃, CaCO₃, MgCO₃, etc.). Dès lors, lorsque la durée de la période sèche



Micro-station météorologique.

augmente, la concentration de l'atmosphère en composés capables de neutraliser l'acidité et la concentration en H^+ tend à diminuer. Inversement, à mesure que le volume de pluie augmente, la concentration de la pluie en composés basiques diminue de sorte que son acidité augmente et tend progressivement vers celle des nuages.

La direction du vent

La direction des vents durant l'événement pluvieux joue sur la composition de la pluie puisqu'elle marque l'origine des nuages dont la composition des gouttes est influencée par l'atmosphère. Mais la direction des vents durant la période sèche peut également avoir une influence puisqu'elle est à l'origine de la recharge des éléments atmosphériques qui seront lessivés. Ces données sont synthétisées au sein de la figure 8 pour une série d'éléments. On peut y lire l'importance des concentrations en fonction de la direction du vent pendant l'événement pluvieux et durant la période sèche le précédant.

Ainsi, une corrélation claire a été mise en évidence entre la concentration en Mg^{++} et le vent des secteurs Nord et Est, provenant d'une carrière et de l'érosion éolienne des terres de culture.

Dans notre exemple, l'influence de la carrière a été mesurée en comparant les mesures du site à celles d'une station française située à quelques kilomètres de là. On y a relevé des concentrations en Ca^{++} jusqu'à trois fois supérieures à celles observées à Chimay. Les concentrations les plus faibles en Ca^{++} ont été enregistrées pour des vents opposés à la carrière.

En ce qui concerne le NH_3 , les plus grandes concentrations sont observées pour des vents d'Est et de Nord, correspondant à la position des terres de pâturage dans l'environnement immédiat du site ainsi qu'à la localisation des élevages intensifs de porcs de Flandre.

Le Na^+ et le Cl^- ont présenté les concentrations les plus élevées pour des vents en provenance du Nord durant la pluie, dé-

montrant l'influence marquée de la mer. Les pics de concentration associés aux vents en provenance de l'Est sont assez intrigants ; ils pourraient être la conséquence de l'accumulation dans l'atmosphère de microcristaux de NaCl, résultat des grandes quantités de vapeur d'eau émises par la centrale de Chooz.

Le NO_3^- que l'on rencontre dans les pluies provient essentiellement de l'oxydation d'oxyde d'azote dont l'origine, dans les pays industrialisés est principalement anthropique. Il provient de la combustion de fuel (usine, avion, véhicule). Rien d'étonnant alors que l'on ait enregistré les concentrations les plus importantes pour les pluies provenant du Nord et de l'Est où se situent les grandes villes et autoroutes. Il en est de même pour le SO_4^{2-} , issu principalement de l'activité industrielle. ■

REMERCIEMENTS

Cet article est issu d'une étude co-financée par le Fonds pour la Formation à la Recherche dans l'Industrie et l'Agriculture (FRIA) et par l'Accord cadre de recherche et de vulgarisation forestières, Division de la Nature et des Forêts (MRW-DGRNE). Nous remercions vivement A. Barjasse, chef de cantonnement à Chimay et A. Laboureix, responsable du triage de Baileux pour leur collaboration ainsi que F. Plume, F. Hardy, K. Henin, L. Gerlache, C. Tilquin et M. Pierrard pour leur aide technique.

BIBLIOGRAPHIE

¹ THIMONIER A. [1998]. Variabilité spatio-temporelle des dépôts atmosphériques d'élé-

ments minéraux sous hêtraie. *Journal forestier suisse* **149** : 585-614.

² LOVETT G.M., NOLAN S.S., DRISCOLL C.T., FAHEY T.J. [1996]. Factors regulating throughfall flux in a New Hampshire forested landscape. *Canadian Journal of Forest Research* **26** : 2 134-2 144.

³ MCLAUGHLIN J.W., FERNANDEZ I.J., RICHARDS K.J. [1996]. Atmospheric deposition to a low-elevation spruce-fir forest, Maine, USA. *Journal of Environmental Quality* **25** : 248-259.

⁵ ANDRÉ F., PONETTE Q. [2003]. Comparison of biomass and nutrient content between oak (*Quercus petraea*) and hornbeam (*Carpinus betulus*) trees in a coppice-with-standards stand in Chimay (Belgium). *Annals of Forest Science* **60** : 489-502.

⁶ ANDRÉ F., PONETTE Q. [2004]. Vers une gestion plus raisonnée de la fertilité minérale dans les écosystèmes forestiers ? Une illustration dans le contexte d'une utilisation du bois à des fins énergétiques. *Forêt Wallonne* **69-70** : 26-29.

FRÉDÉRIC ANDRÉ

frederic.andre@uclouvain.be

Unité des Eaux et Forêts,
Université catholique de Louvain

Croix du Sud, 2 bte 9
B-1348 Louvain-la-Neuve