

Editorial

La phase d'état des lieux initial est presque terminée - début des projets pluridisciplinaires de valorisation du réseau

Il aura fallu près de 5 ans pour mettre en place ce grand réseau et 4 à 5 ans de plus pour terminer les évaluations mono-disciplinaires des résultats de près de 28 millions de données brutes. En même temps, une des grandes bases de données écologiques françaises continue de s'enrichir.

Les projets pluridisciplinaires prennent à présent une part de plus en plus importante. La complexité du fonctionnement des écosystèmes forestiers en est la principale raison.

Deux exemples de projets :

1) Avec les mesures de dépôts atmosphériques dans 27 sites, il a été possible de tenter une spatialisation de l'estimation de ces dépôts pour la période 1993 à 1998 sur l'ensemble du territoire français. La méthode de spatialisation est originale et unique en la matière ;

2) Des modèles hydrologiques simples, pour les sites du réseau avec le niveau d'investigation le plus élevé, sont en voie de développement. Ils utilisent des données météorologiques, pédologiques et hydrochimiques. L'objectif est de pouvoir prédire à moyen terme les sorties en eau et en minéraux des écosystèmes concernés et de déterminer les risques éventuels d'appauvrissement minéral important selon l'écosystème concerné.

Sommaire

L'impact des tempêtes sur le réseau	page 1
Les concentrations d'ozone dans l'air	page 2
Indicateurs nationaux des dépôts atmosphériques	page 3
Stocks de calcium dans les sols forestiers	page 4

Impact des tempêtes

Au total, 53 des 102 placettes permanentes d'observation ont été touchées, dont 17 à plus de 30% et 8 à plus de 80%. Une bonne moitié des travaux de remise en état a été effectuée en 2000. En proportion, ces dégâts sont supérieurs à la moyenne de la forêt française, les placettes du réseau étaient essentiellement constituées de peuplements adultes, dont beaucoup étaient situés dans les couloirs des vents les plus forts (voir carte).

Les objectifs du réseau ne sont pas remis en cause

Pour mémoire, les objectifs du réseau sont :

- 1) établir des relations de causes à effets concernant les dysfonctionnements éventuellement observés ;
- 2) approfondir les connaissances sur l'évolution des écosystèmes forestiers français sur une durée d'au moins 30 ans (tendances, variations, cycles nutritifs) ;
- 3) aider à déterminer le niveau des charges critiques en polluants susceptibles de déstabiliser les forêts ;
- 4) aider à mieux interpréter les observations du réseau systématique européen de suivi de l'état sanitaires des forêts (environ 500 sites d'observation) ;
- 5) améliorer les connaissances scientifiques de base sur les forêts notamment sur leur hétérogénéité.

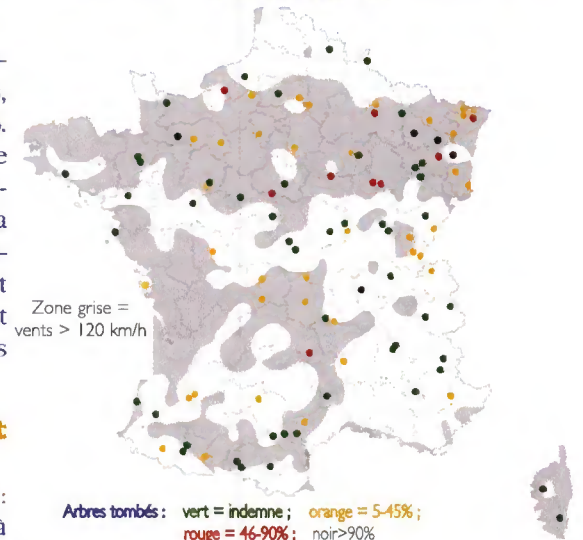
Les sujets étudiés au sein du réseau pourront être diversifiés

On pourra réaliser dès la deuxième campagne d'échantillonnage des sols (2003-2005, la première campagne ayant eu lieu en 1993-1995) une comparaison de l'évolution de la chimie des sols perturbés (mise en lumière et donc décomposition rapide de l'humus, etc.) et non perturbés. On pourra comparer l'évolution de la composition floristique des sites perturbés avec celle, plus lente, des peuplements restés intacts. Dans les peuplements rasés, on pourra à très long terme comparer la croissance du nouveau peuplement avec celle de l'ancien, afin de vérifier les hypothèses sur l'augmentation de la croissance due au changement climatique. Une opportunité est offerte également dans le domaine de l'analyse foliaire, où la nutrition minérale de tous les peuplements a été suivie depuis 7 ans. Dans les peuplements à régénérer, on pourra comparer les niveaux de nutrition des anciens peuplements avec ceux des jeunes arbres. On pourra ainsi connaître les besoins nutritifs de la même espèce à des âges différents et ajuster les seuils de carence ou seuils optimaux de nutrition minérale pour certaines espèces, car les seuils actuellement connus sont plutôt valables pour des jeunes arbres, à partir d'essais contrôlés.

Perspectives : le suivi à long terme doit s'adapter aux événements naturels extrêmes

Lors de la mise en place du réseau on n'avait pas prévu des événements de cette nature et de cette ampleur, car la métropole avait été épargnée depuis plusieurs siècles. Un suivi "à long terme" qui a pour ambition d'informer le public de manière réaliste sur le devenir des écosystèmes forestiers français doit donc intégrer de telles catastrophes naturelles.

Dégâts observés dans le réseau à la suite des tempêtes de fin décembre 1999



L'ozone dans l'air en forêt : est-ce une menace ?

Le constat : des niveaux d'ozone non négligeables en forêt

La gamme des concentrations moyennes sur 15 jours (dans 28 sites en 2000, dont deux au Grand-Duché de Luxembourg) s'étend de 26 à 185 microgrammes d'ozone par mètre cube d'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Ces moyennes cachent des gammes de concentrations minimales et maximales journalières bien plus larges encore.

Les niveaux sont plus élevés dans les sites des Alpes du Nord et du Sud, dans le Sud des Cévennes et dans l'Est des Pyrénées. On observe une diminution des concentrations vers la fin de la saison de végétation. L'année 2000 a été très pluvieuse. Des périodes de forte pluviosité sont souvent le facteur déclenchant la diminution de la teneur en ozone. La pluie purge alors l'atmosphère non seulement des poussières mais aussi des précurseurs gazeux de la production d'ozone. Les fortes hausses observées durant une seule période au Mont Aigoual (HET 30) et en Corse (PL 20), sont liées à une très faible pluviosité et à un ensoleillement important, apportant l'énergie nécessaire pour produire l'ozone. Au cours d'années plus sèches et d'étés plus chauds, les concentrations sont généralement plus importantes qu'en 2000.



Photo : E. Ulrich

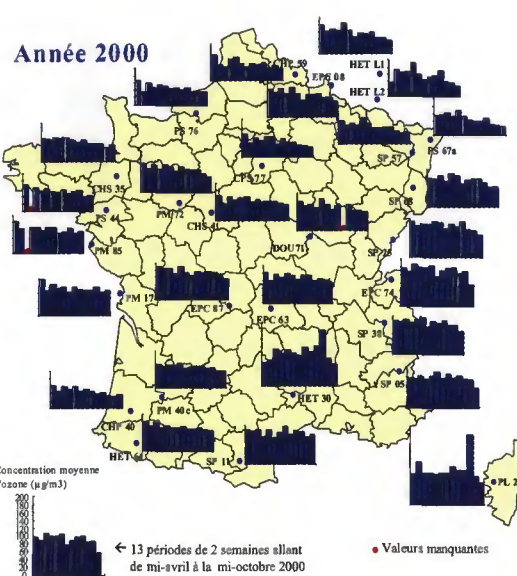
Mise en place (à 3 mètres de hauteur) du capteur passif d'ozone en forêt domaniale de Boscodon (Hautes-Alpes, SP 05)

L'enjeu : l'ozone est nocif pour l'homme et pour les plantes ; ses concentrations dans la troposphère¹ ont augmenté fortement depuis le début du siècle

L'ozone (O_3) oxyde tout ce qui entre en contact avec lui. En règle générale on le trouve à des concentrations allant de 20 à 300 microgrammes d'ozone par mètre cube d'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Au-dessus de 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ on peut sentir l'ozone et il est alors déjà très nocif pour l'homme. A des concentrations inférieures (100-200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), il peut déjà être nocif pour les personnes ayant des problèmes respiratoires, déclenchant asthmes, maux de tête, etc. L'ozone s'attaque en premier à toutes les muqueuses.

Lorsque les plantes respirent, elles font également entrer de l'ozone dans leurs feuilles. L'ozone oxyde et détruit ensuite, selon sa concentration, des parties plus ou moins importantes pour la survie des feuilles. Lors de concentrations élevées, on observe des nécroses sur les feuilles ou aiguilles, provoquant leur chute parfois très précoce. Il existe des espèces résistantes² même à des fortes concentrations, mais ce n'est pas le cas de la plupart des espèces forestières. Pour les espèces forestières sensibles³ on peut s'attendre à une diminution de production du bois allant jusqu'à 10-20%. Cette réduction se superpose à l'augmentation de croissance, observée depuis un demi-siècle et que l'on attribue à l'augmentation du CO_2 dans l'atmosphère. Ce n'est donc pas tant la réduction de la production qui est inquiétante, mais beaucoup plus l'effet déstabilisateur à long terme d'écosystèmes forestiers entiers, incluant les plantes herbacées au même titre que les arbres.

Si l'augmentation des concentrations en ozone persistait, nous serions un jour confrontés à des niveaux compromettant non seulement la vie des plantes, mais également celle de l'homme.



Perspectives : lutter pour une diminution des émissions provoquant la production d'ozone en troposphère et continuer à surveiller ces niveaux

Les émissions catalysant principalement la production d'ozone sont les oxydes d'azote (émanant surtout de la circulation routière) et les hydrocarbures (industries et transport). Au niveau national, mais également mondial, on devrait développer des technologies permettant de réduire ces émissions (par exemple : meilleur rendement des moteurs à combustion et donc plus faible consommation), et garder constant ou réduire le nombre de véhicules. Ce dernier a malheureusement connu une augmentation très forte depuis 40 ans. Les moyens de transports alternatifs devraient également être développés.

Un site WEB du réseau en préparation

Pour offrir aux amateurs d'Internet la possibilité de visiter nos placettes et les résultats nationaux du réseau à partir de leur bureau, nous développons des pages WEB à l'intérieur du site ONF (www.onf.fr). Rendez-vous en juin 2001. Pour plus d'information voir le prochain Flash (n°4).

Méthode

Les mesures sont faites à l'aide de petits capteurs passifs, qui contiennent des pastilles imbibées avec une solution. Cette solution réagit de manière sélective avec l'ozone (l'air contient plusieurs centaines de composés gazeux). Le produit de cette réaction peut ensuite être analysé en laboratoire. Les capteurs utilisés actuellement proviennent du laboratoire suédois IVL. Ils ont été exposés entre mi-avril et mi-octobre 2000 durant des périodes successives de deux semaines. Après leur exposition ils sont envoyés pour analyse en Suède. La méthode des capteurs passifs permet d'obtenir des concentrations moyennes sur la période exposée et ceci à un faible coût.

¹La troposphère se trouve entre 0 et 12 km d'altitude en moyenne. Elle est délimitée par la tropopause. Suit la stratosphère, entre 12 et 50 km d'altitude environ. La tropopause empêche les échanges gazeux entre la troposphère et la stratosphère. La couche d'ozone, dont les concentrations diminuent (effet des gaz destructeurs de l'ozone), se trouve dans la stratosphère et se distingue nettement de la troposphère, dans laquelle on observe une augmentation des concentrations d'ozone.

²Par exemple épicéa, hêtre, chêne

³Par exemple pins, mélèze, feuillus à feuilles tendres

Tendance sur 7 ans des principaux composés acidifiants contenus dans les précipitations en France ; utilisation d'indicateurs nationaux

Le constat : une amorce de diminution à moyen terme

Parmi les 3 composés les plus acidifiants, on observe de 1993 à 1999 (voir graphique) :

- pour le soufre (sous forme de sulfate) une baisse constante de l'ordre de 2,7% par an sur 7 ans et statistiquement très significative ;
- pour l'azote ammoniacal également une légère baisse de l'ordre de 2,4% par an, mais qui est statistiquement bien moins significative ;
- pour l'azote sous forme de nitrate une constance depuis 7 ans.

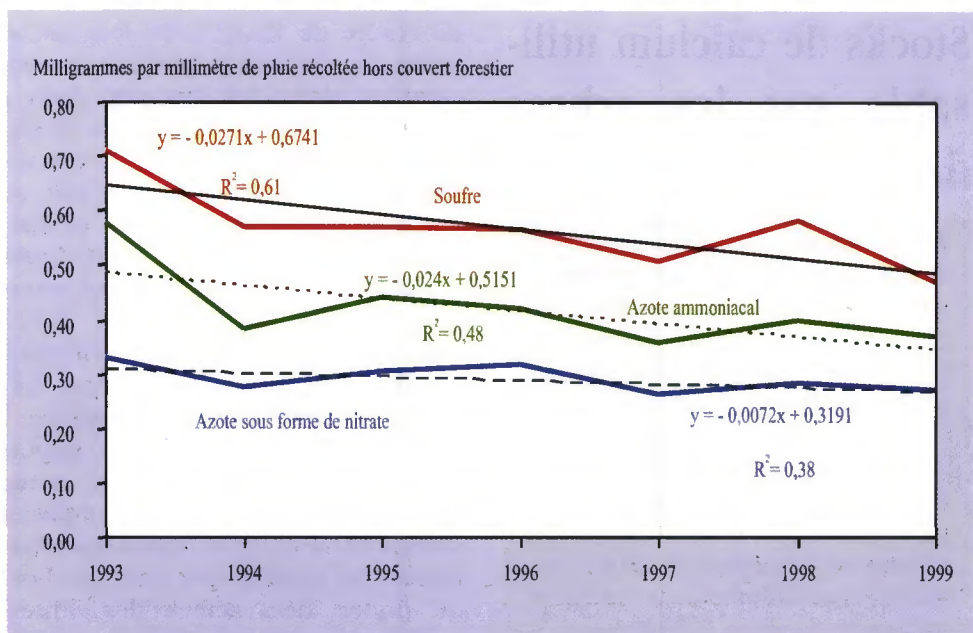


Photo : M. Lanier

Site d'échantillonnage des précipitations hors couvert et station météorologique automatique près de la forêt domaniale de Saint-Hugon (Isère, SP 38)

L'enjeu : la diminution des émissions de composés acidifiants permettra indirectement le rétablissement des sols forestiers anormalement acidifiés

La diminution des concentrations de soufre dans les précipitations fait



suite aux importantes réductions des émissions industrielles réalisées depuis les années 70 en Europe. En France, ces émissions ont diminué de près de 50 à 60% par rapport au niveau atteint à la fin des années 70. En comparaison de ces importantes réductions, les baisses observées dans les concentrations des précipitations semblent faibles. La raison est que nos mesures de pluie ont débuté en 1993, soit une vingtaine d'années après le début des réductions d'émissions ; l'essentiel de la baisse de concentration avait alors déjà eu lieu. Si l'on applique une baisse de 2,7% à partir des années 70, on obtient tout de même l'ordre de grandeur de la réduction observée pour les émissions.

La source principale des émissions d'ammoniac est l'agriculture (élevage intensif et engrais azotés). On n'observe pas de diminution des effectifs de bovins, de porcs, etc. Par contre, il y a probablement eu une évolution dans la gestion des effluents d'élevage, provoquant une moindre perte d'ammoniac vers l'atmosphère. Il est cependant difficile d'expliquer totalement la baisse de la concentration

ammoniacale dans les précipitations. De plus, les tendances observées ne sont pas très significatives.

La baisse des composés acidifiants dans les précipitations permettra aux sols forestiers de garder leurs éléments alcalins (surtout calcium, magnésium et potassium), au lieu de les perdre par drainage, après avoir neutralisé les acides. L'élément phare de la "bonne santé" des sols forestiers est certainement le calcium dont vous trouverez un aperçu à la page suivante.

Perspectives : une diminution continue de certaines émissions, mais pas de toutes...

Les pays industrialisés se sont entendus sur la poursuite de la réduction des émissions. Cette politique est plus facile à mener pour les grandes industries (émissions soufrées : filtration centralisée) que pour les émissions diffuses (oxydes d'azote émis par le transport et ammoniac par l'agriculture). Pour ces dernières on peut s'attendre à un moindre succès à moyen terme et donc à des dépôts atmosphériques azotés restant à un niveau plus ou moins stable et élevé. Une évolution à suivre et ... à mesurer...

Méthode

Les concentrations présentées sur le graphique ci-dessus sont les moyennes annuelles des concentrations, pondérées par la pluviosité, mesurées dans chacun des 27 sites de mesure du réseau RENECOFOR. Ainsi, il est possible d'exprimer la concentration "nationale" par millimètre de précipitation. Pour calculer cet indicateur national, il est important que pendant toute la période (1993-1999), toutes les stations aient fonctionné sans aucun manque d'échantillon ou de donnée. Cet indicateur national cache bien sûr des différences régionales importantes du niveau des concentrations et parfois également de leur tendance.

Stocks de calcium utilisable par les arbres dans les sols forestiers

Le constat : une gamme très large de stocks et un nombre élevé de sols très pauvres

Le stock de calcium disponible pour la végétation dans l'horizon minéral jusqu'à 40 cm de profondeur varie de 18 kg/ha à 21 t/ha. Le calcium représente au moins 50% de la totalité des bases des sols dans 85% des placettes du réseau. Comme le montre le graphique à droite, les stocks sont répartis de manière inégale en fonction des espèces. Ce ne sont pas obligatoirement les espèces à plus forte croissance (douglas et pins) qui bénéficient des plus grands stocks. La présence du calcium, tant qu'elle n'est pas excessive, n'a que des effets bénéfiques. Elle compense l'effet des acides. Dans les sols pauvres en bases, ce sont les cations dits "acides" qui prennent le relais : l'aluminium, le fer, le manganèse et les protons (acidité directe). Ceci pose un grand problème de nutrition pour les arbres, qui ont besoin avant tout des bases.

L'enjeu : les sols à très faible stock en calcium sont les plus menacés

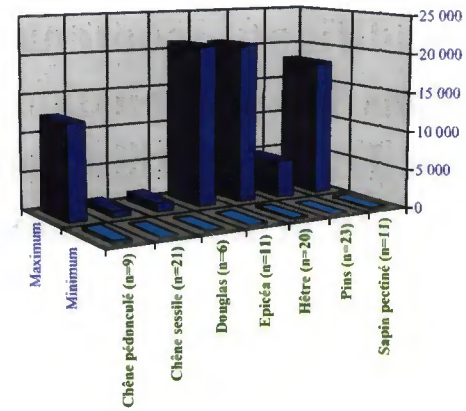
Le calcium est l'élément clé de la plupart des sols forestiers : quand le calcium est abondant, d'autres éléments nutritifs sont souvent présents. La teneur des végétaux en calcium est

de l'ordre de 1 à 2 % de leur masse sèche. Le calcium a tendance à s'accumuler dans les organes âgés : feuillage, bois et écorce. Dans le sol, il participe entre autres à la neutralisation des acides provenant soit de l'activité microbologique ou racinaire, soit des dépôts atmosphériques acidifiants, qui ont été très importants ces dernières décennies. Il existe deux sources d'apport de calcium, comme pour beaucoup d'autres éléments nutritifs dans l'écosystème : l'altération des roches et les dépôts atmosphériques. La première source suffit le plus souvent pour remplacer dans le sol le calcium immobilisé dans le bois ou entraîné par drainage hors de portée des racines des arbres. Parfois, le calcium disponible suffit juste pour alimenter les plantes. La nutrition minérale des arbres est alors compromise, surtout si le calcium est perdu par drainage après avoir neutralisé les dépôts acidifiants. Les dépôts en calcium d'origine atmosphérique permettent alors de corriger tout ou partie de ce déficit.

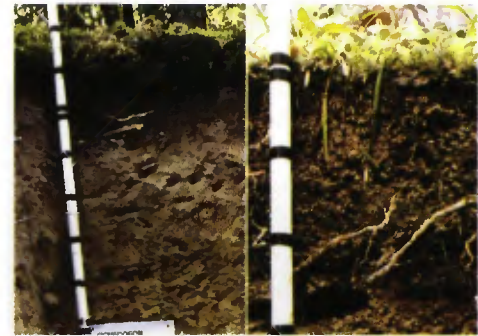
Perspectives : un rétablissement des réserves en bases des sols n'est possible que si les émissions continuent à être réduites

En Allemagne, plusieurs centaines de milliers d'hectares de forêts ont été amendés en calcium (apport par soufflerie à partir du sol, ou par hélicoptère), afin de leur permettre de se rétablir partiellement jusqu'à ce que les émissions des polluants acidifiants soient suffisamment réduites pour ne plus pouvoir rendre l'acidification naturelle des sols forestiers encore plus rapide. En France, quelques

Kilogramme de calcium par hectare dans les premiers 40 cm de l'horizon minéral



dizaines d'hectares ont à l'heure actuelle bénéficié d'un tel traitement. La proportion des sols nettement acides est certes plus faible en France qu'en Allemagne, mais on connaît toutefois mal leur capacité à résister sur la durée. Des programmes d'apport de calcium mériteraient d'être développés dans plusieurs régions sur la base de diagnostics préalables.



Sols du réseau avec le stock de calcium le plus faible dans les premiers 40 cm à gauche (forêt domaniale de Lamotte-Beuvron, PS 41) et le plus important à droite (forêt communale de Chaux du Dombief, EPC 39a)

Photo : A. Brêthes (à gauche)
Photo : E. Ulrich (à droite)

Méthode

Les estimations se basent sur un échantillonnage systématique dans chacune des profondeurs 0-10 cm, 10-20 cm et 20-40 cm dans 25 mini-fosses sur un demi-hectare. Les lieux de prélèvement sont repérés sur le terrain ce qui permet d'y revenir pour les échantillonnages décennaux. Le prélèvement, entre 1993 et 1995, de plus de 5000 échantillons aura nécessité plus de 1000 hommes-jours. Les analyses ont été réalisées par le laboratoire d'analyses des sols de l'INRA-Arras.

Coordonnées du centre de coordination du réseau : E. Ulrich et M. Lanier, ONF - DT-RD, Boulevard de Constance, 77300 Fontainebleau ; Tél. : 01 60 74 92 21 ; Fax : 01 64 22 49 73 ; E-mail : erwin.ulrich@onf.fr ou marc.lanier@onf.fr

Editeur du "Flash RENECOFOR" : ONF, Département Recherche et Développement, ISSN 1298-9142, tirage : 12 000 exemplaires. Dépôt légal 1^{er} semestre 2001.

Copies supplémentaires du "Flash" à commander auprès de : ONF, Département Recherche et Développement, Service de documentation, Boulevard de Constance, 77300 Fontainebleau

Editorial

Initial survey phase nearly completed - pluri-disciplinary studies to optimise the Network have begun

It took nearly 5 years to set up such a large Network and between 4 and 5 more years to carry out the mono-disciplinary assessments of the results obtained from nearly 28 million pieces of raw data. This work simultaneously allowed one of the largest French ecological data bases to be continuously enriched. Now, pluri-disciplinary projects are becoming a more and more important part of the programme. The complexity of forest ecosystems is the main reason for this reorientation.

Two examples of pluri-disciplinary projects:

- 1) Using the atmospheric deposition measurements gathered from 27 sites, the deposition from 1993 to 1998 was estimated and extrapolated to all of the French territory. An original method was used which had never been tried before.
- 2) Simple hydrological models are being developed for the sites in the Network where the most measurements have been taken. The models combine meteorological, hydrochemical and pedological data in order to make middle-range predictions of water and mineral loss and to assess any possible risks of mineral deficiency in the ecosystems under study.

Table of Contents

Storm Damage in the Network	_____	page 1
Ozone Concentrations in the Air	_____	page 2
National Atmospheric Deposition Indicators	_____	page 3
Calcium Stored in Forest Soils	_____	page 4

Storm Damage

In all, 53 of the 102 permanent observation plots in the Network were affected: 17 with a damage rate of more than 30% and 8 with more than 80%. The damage in the Network was proportionately higher than the national average because the plots are adult stands for the most part, many of which are located in the path of the strongest winds (see map). Slightly more than half of the clean-up work was finished in the year 2000.

The Network's goals remain unchanged

As a reminder, the Network's main objectives are to:

- 1) determine the causes of any dysfunctions observed;
- 2) broaden our knowledge of the changes in French forest ecosystems over a period of at least 30 years (trends, variations, nutrient cycles);
- 3) help define critical load levels for pollutants which may upset the forest ecosystem balance;
- 4) make possible a better interpretation of the observations carried out in the European Systematic Network for the Assessment of Forest Health (with approximately 500 observation plots in France);
- 5) improve our basic scientific knowledge of forests, and especially their heterogeneity.

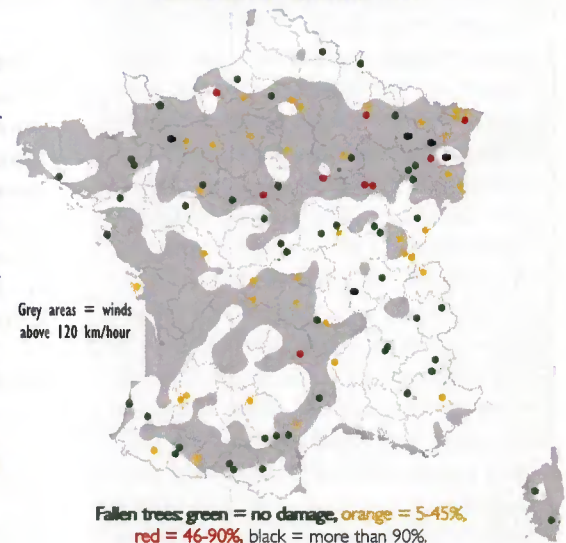
Subjects of study within the Network may be diversified

During the second soil analysis study phase (2003-2005, the first study phase having taken place from 1993-1995), a comparative study of chemical changes in disturbed soils (exposure to light with rapid humus decomposition, etc.) and undisturbed soils could be carried out. The changes in the floral inventory in disturbed sites could be compared with the slower changes in unaffected sites. In sites where the whole stand was wind-thrown, very long-term comparisons could be made between the growth of the new stand and that of the old stand to confirm hypotheses attributing an increase in growth rate to climate change. An opportunity is also available in the field of foliar analysis where the mineral nutrition of all the Network stands has been monitored for 7 years. In newly regenerated areas, nutrition levels in the old stands could be compared for the young trees. Thus, nutrition requirements for different age classes of a same species could be determined and deficit levels as well as optimum threshold levels could be adjusted for certain species for which data to date has been based on young trees in controlled trials.

Action Plan : Long-term monitoring should be adapted to extreme natural events

When the Network was set up, natural catastrophes of such magnitude were not taken into consideration since mainland France had been spared for several centuries. A long-term monitoring network set up to realistically keep the public informed on the future of French forest ecosystems must take such natural catastrophes into account.

Damage in the Network resulting from the storms at the end of December 1999



Ozone in forest air: Is there a risk?

The Facts: Non-negligible ozone levels have been found in the forest

Average concentrations over 15-day periods (in 28 sites including 2 in Luxembourg) range from 26 to 185 microgrammes of ozone per cubic meter of air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). These averages mask a much wider range in daily minimums and maximums. Levels are higher in sites located in the northern Alps, the southern Cevennes and the eastern Pyrenees. A decrease in concentration levels occurs toward the end of the vegetation period. The year 2000 was characterised by very heavy rainfall. Very rainy periods often trigger a decrease in ozone content. In fact, rain purges the air not only of dust but also of the gaseous compounds which are the precursors of ozone production. The sudden peaks observed during one 15-day period on the Mont Aigonal (HET 30) and in Corsica (PL 20) were linked to very low rainfall and substantial sunlight which provided the necessary energy to produce ozone. In drier years and during warmer summers, concentrations are generally higher than in 2000.

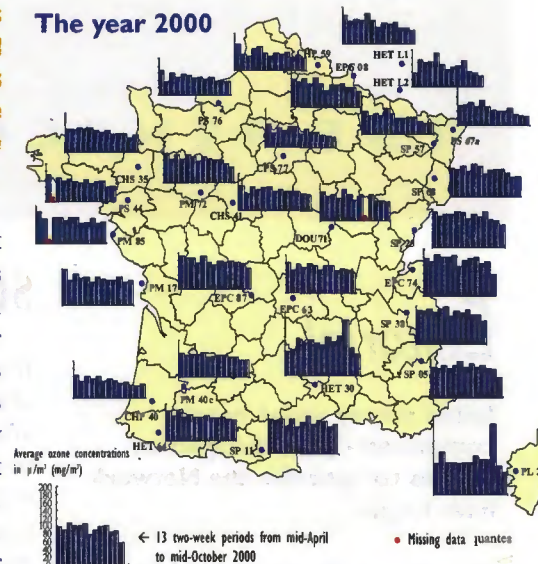
What's at stake? Ozone is harmful to both man and plants; ozone concentrations in the troposphere¹ have increased dramatically since the beginning of the century.

Ozone (O_3) oxydises any substance it comes into contact with. It is generally present at concentration levels of 20 to 300 microgrammes per cubic metre of air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Ozone is detectable by smell at concentrations above $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and is already very harmful to man at that level. Even at lower concentrations ($100 - 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ozone can cause asthma attacks, headaches, etc. in people who suffer from respiratory problems. Ozone directly affects mucous membranes.

When plants « breathe », they also take ozone up into the leaves. The ozone oxydises, then if concentrations are high enough, can destroy components which may be essential to the survival of the leaf. At high concentrations, necroses appear on the leaves or needles, sometimes causing premature leaf fall. Certain species are more resistant² even to high concentrations, but this is not the case for most forest trees. For sensitive species³, the resulting loss of wood production may be as high as 10 to 20%. This loss is partly offset by an overall increase in growth over the last 50 years which has generally been attributed to increased CO_2 levels in the atmosphere. Thus, the decrease in yield is not as disturbing as the long-term destabilising effects on entire forest ecosystems, including herbaceous plants as well as trees.

If ozone concentrations continued to increase, we would one day be confronted with life-threatening levels for both plants and man.

The year 2000



Action Plan: take steps to decrease emissions which cause ozone production in the troposphere and continue to monitor ozone levels closely

Nitrogen oxides (from automobile emissions) and hydrocarbons (from industries and transport) are the catalysing emissions which are mostly responsible for atmospheric ozone production. Technologies which will enable the reduction of these emissions should be developed on a global, not only nation, scale (for example, more efficient internal combustion engines to lower fuel consumption) and the number of vehicles should be stabilised or reduced. Unfortunately however, traffic has increased dramatically in the past 40 years. Alternative means of transport should also be developed.

RENECOFOR Website coming soon

To allow Internet users to visit our plots and access the Network's national results from their office, Web pages are being developed on the ONF site (www.onf.fr). The pages are scheduled to appear in Summer 2001. The next issue of the RENECOFOR Flash (N° 4) will keep you informed.



Photo : E. Ulrich

Setting up the passive ozone samplers in the state forest of Boscodon (Hautes-Alpes, SP 05)

Methodology

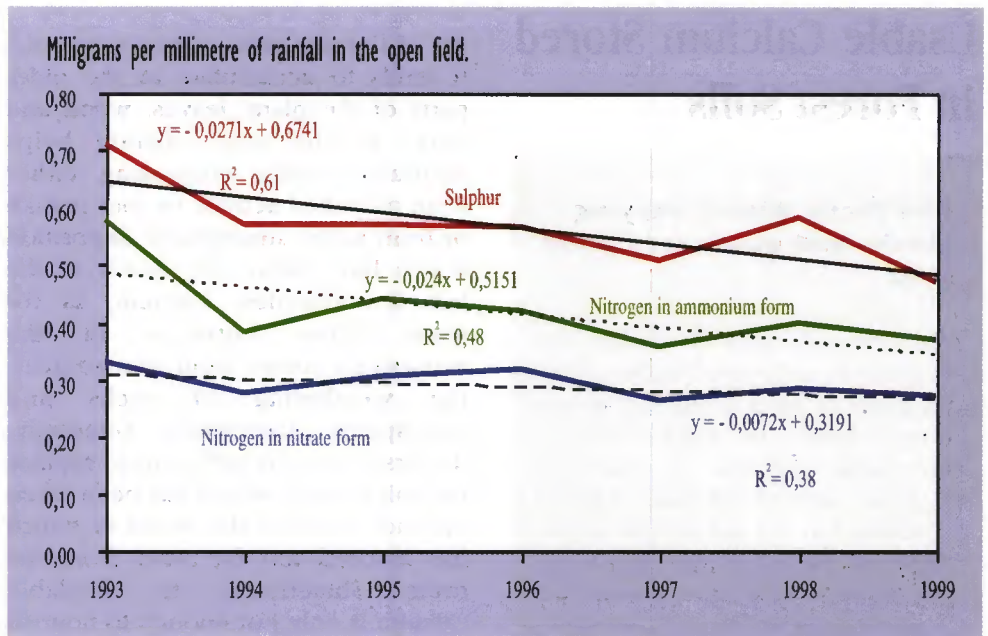
Measurements are taken using passive samplers which contain a filter saturated with a solution that reacts selectively with ozone (air contains several hundred gaseous components). The chemical substance produced by the reaction can then undergo laboratory analysis. The samplers currently in use were supplied by the Swedish laboratory IVL. They were exposed for successive two-week periods from mid-April to mid-October 2000. After the exposure period, the samplers were sent to Sweden for analysis. The passive sampler method enables the calculation of average concentrations over the exposure period at low cost.

¹ The troposphere is the lower layer of the earth's atmosphere immediately above the ground and rising to an altitude of about 12 kilometres on average. It is bordered by the tropopause, the next highest level. Then comes the stratosphere at an altitude of between 12 and 50 kilometres approximately. The tropopause prevents the exchange of gases between the troposphere and the stratosphere. The ozone layer, where concentrations are decreasing (effect of ozone-destructive gases), is located in the stratosphere and should be clearly distinguished from the ozone in the troposphere where concentrations are increasing.

² For example, spruce, beech and oak.

³ For example, pines, larch and tender-leaved hardwoods.

Seven-year trends for the main acidifying compounds contained in precipitation in France; use of national indicators



The Facts: A decline over the middle term is beginning
 Observations made from 1993 to 1999 of the three most acidifying compounds show the following results (see chart):

- for sulphur (found in the form of sulfate) there was a highly significant and constant decrease of approximately 2.7% per year over the 7-year period;
- for nitrogen in ammonium form, a slight decrease of around 2.4% per year was also recorded; however, the figure is much less significant than for sulphur;
- nitrogen in nitrate form remained constant over the 7-year period.



Precipitation sampling site in the open field and automatic weather station near the state forest of Saint-Hugon (Isère, SP 38).

substantial reduction in industrial emissions which has taken place in Europe since the 1970's. In France, these emissions have dropped by nearly 50 to 60% compared to the levels recorded at the end of the 1970's. The decrease observed in precipitation concentrations may seem small in relation to the substantial decrease in emissions. In fact, rainfall measurements began in 1993, 20 odd years after the first reductions in emissions; most of the decrease in concentration levels had already taken place. By assuming the same 2.7% per annum decrease from the 1970's to date, figures for concentration levels parallel those of the reduction in emissions.

The decrease in acidifying compounds in precipitation will allow forest soils to retain the alkaline elements (especially calcium, magnesium and potassium) instead of losing them through leaching after they have neutralised the acids. Calcium is certainly the best indicator of a " healthy " forest soil. An article related to calcium storage appears on the following page.

What's at Stake? The decrease in acidifying compound emissions will indirectly help to rectify the surplus acidity in forest soils.

The decrease in sulphur concentrations in precipitation is the result of the

The main source of ammonia emissions is agriculture (industrial meat production and nitrate fertilisers). No decrease in the number of cattle, pigs, etc. has been observed. However, there has probably been a change in the way animal waste is managed, so that less ammonia is being released into the atmosphere. It still remains difficult to completely explain the drop in ammonia concentrations in precipitation. What's more, the trend is not very significant.

Future Perspectives: Continued drop in some, but not all, emissions

The industrialised nations have agreed to continue the policy of emission reduction. This is easier to apply to heavy industries (sulphur emissions: central filtration units) than for dispersed emissions (nitrogen oxides released by vehicles and ammonia from agricultural activities). In the second case, we can expect less success over the middle term; nitrogen-related atmospheric deposition will therefore be likely to remain at a fairly high and relatively less stable level. The trends must be closely monitored... and the levels measured.

Methodology
 The graph at the top of the page shows average yearly, precipitation-weighted, concentrations. Measurements were taken at each of the 27 RENECOFOR sites. It is therefore possible to calculate the " national " concentrations per millimetre of precipitation. To correctly calculate this national indicator, it is important to note that there must be no missing data and that sampling must be complete at all of the 27 sites for the entire period (1993-1999). Of course, the national indicator masks significant regional differences in concentration levels and sometimes shows a differing global trend.

Usable Calcium Stored in Forest Soils

The Facts: Widely varying stocks and many very poor soils

Amounts of calcium usable for vegetation and stored in the mineral horizon to a depth of 40 cm range from 18 kg/ha to 21 tonnes/ha. Calcium accounts for at least 50% of all base cations contained in the soil in 85% of the Network plots. As the graph on the right shows, the amount of stored calcium varies according to the species. The species with the highest growth rate (Douglas fir and pines) are not necessarily the ones that benefit from the most abundant stocks. Except when present in excessive amounts, calcium is always beneficial. It counteracts the effects of the acids. In soils where base cations are rare, so-called "acid" cations take over: aluminium, iron, manganese and protons (direct acidity). This is seriously detrimental to good tree nutrition which requires mostly base cations.

What's at Stake? The threat is greater for soils with low amounts of stored calcium

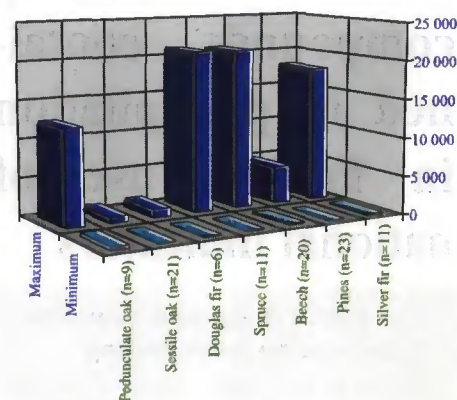
Calcium is the key element in most forest soils; when calcium is present, other nutrients are also often found. Calcium makes up approximately 1 to

2% of the dry mass of plant material. It tends to accumulate in the older parts of the plant: leaves, wood and bark. In the soil, calcium helps neutralise acids originating either from microbial activity or root uptake or from acidic atmospheric deposition which have been very heavy in the last few decades. Calcium, as for many other nutrients in the ecosystem, comes from two sources: the weathering of rocks and atmospheric deposition. Generally, the first source is sufficient to replace the soil calcium which has been taken up and stored in the wood or which has leached too far away from the roots. Sometimes, the available calcium is only just enough to nourish the herbaceous plants and trees. Tree mineral nutrition may be jeopardised in this case, especially if calcium is being lost through leaching after having neutralised the acid deposition. Atmospheric calcium deposition can correct all or part of the resulting deficit.

Future Perspectives: Base cation stocks in the soil can only be re-established if emissions continue to decrease

In Germany, several hundred thousand hectares of forest have received supplementary calcium (lime spread by using blowers on the ground or by helicopter) to help partially restore the soil until acidic deposition due to pollution can be sufficiently reduced and the natural acidification process in the forest soils can return to a normal pace. In France, several dozen hectares have

Kilograms of calcium per hectare in the first 40 cm of the mineral horizon



also been treated with lime. It is true very acidic soils are proportionately less frequent in France than in Germany; however, little is known about the resistance of soils to the effects of acidification over the long term. Liming programmes should be implemented in several regions and should be based on previous diagnoses.



(Left) Soils in the Network plot with the lowest calcium stocks in the first 40 cm of depth (state forest of Lamotte-Beuvron, PS 41) and (right) those with the highest stocks (municipal forest of Chau du Dombief, EPC 39a).

Photo : A. Brêthes (left)
Photo : E. Ulrich (right)

Methodology

Estimates are based on systematic sampling at 3 different levels: 0-10 cm, 10-20 cm and 20-40 cm - in 25 mini-trenches over a half-hectare area. The more than 5,000 samples taken between 1993 and 1995 required more than 1,000 man-days of labour. Analyses were carried out by the INRA-Arras soil analysis laboratory.

To contact the RENECOFOR Network Coordination Centre : E. Ulrich and M. Lanier, ONF - DT-RD, Boulevard de Constance, 77300 Fontainebleau ; Tel. : 01 60 74 92 21 ; Fax : 01 64 22 49 73 ; E-mail : erwin.ulrich@onf.fr - luc.croise@onf.fr marc.lanier@onf.fr

The "RENECOFOR Flash" is published by : ONF, Département Recherche et Développement, ISSN 1298-9142, printed number : 2 000. Dépôt légal 1^{er} semestre 2001.

Additional copies of "The Flash" may be ordered from : ONF, Département Recherche et Développement, Service de documentation, Boulevard de Constance, 77300 Fontainebleau

English translation : Vicki Moore