

ACIDIFICATION DES EAUX DE SOURCE ET SATURNISME DANS LE MASSIF VOSGIEN

E. DAMBRINE - J.-P. PARTY - B. POLLIER - M. NICOLAÏ
A. PROBST - Ch. ROZIN - M. DUC

CADRE GÉNÉRAL

Acidification des eaux

Les caractéristiques chimiques des eaux des sources forestières dépendent de la composition des précipitations, des sols et roches à travers lesquelles elles s'infiltrent, et de la gestion forestière. Les eaux de source issues de sols et roches pauvres en calcium (Ca) et magnésium (Mg) sont naturellement très douces, c'est-à-dire très diluées et faiblement alcalines. Leur faible concentration en calcium et magnésium provient de ce que les sols et roches en sont peu pourvus. Leur faible pH est pour l'essentiel lié à la présence d'acide carbonique, résultant de la dissolution du gaz carbonique produit par les racines et les micro-organismes des sols, mais les précipitations acides peuvent accroître cette acidité. Le massif des Vosges, en grande partie formé de grès et de granites acides, produit ce type d'eau comme de larges portions du Massif central, de la Bretagne ou de l'Ardenne.

Au cours des années 80, le dépérissement forestier dans le Massif vosgien a suscité d'importantes recherches sur le rôle possible des dépôts acides (Landmann et Bonneau, 1995). Dans un certain nombre de sites, des études approfondies ont montré que les dépôts acides, et la sylviculture, avaient directement contribué à une acidification des sols (Bonneau *et al.*, 1991) et des eaux de surface (Probst *et al.*, 1990). Les mécanismes ont été pour l'essentiel élucidés. Sous le couvert des peuplements résineux du massif gréseux vosgien, le pH des précipitations est voisin de 4,2 (Dambrine *et al.*, 1994). Cette acidité est liée au dépôt d'acide sulfurique et, dans une moindre mesure, d'acide nitrique dilués. L'acide apporté et généré dans les sols lessive les sols de leur calcium et magnésium échangeable. Sulfate (provenant de l'acide sulfurique déposé), nitrate (provenant en partie de l'acide nitrique déposé et de celui formé dans les sols), calcium et magnésium (du sol) sont drainés ensemble et ce processus aboutit à un appauvrissement progressif des sols en calcium et magnésium. D'autre part, l'exploitation forestière appauvrit les sols en calcium et magnésium. L'appauvrissement est d'autant plus probable que les minéraux des sols et des roches sont pauvres en calcium et magnésium, que les dépôts sont acides, et que l'exploitation forestière est intense. Au fur et à mesure que les sols s'appauvrissent, leur pH s'abaisse ainsi que celui des eaux drainées (Dambrine *et al.*, 1998).

Saturnisme

Le saturnisme est la pathologie du système nerveux causée par l'absorption de quantités excessives de plomb. Par ordre de gravité croissante, les symptômes sont l'asthénie, les maux de ventre (colique de plomb), les troubles génitaux, la paralysie et le délire.

La dissolution du plomb des canalisations par les eaux douces et acides et ses conséquences en matière de saturnisme ont été très tôt décrites. On trouve déjà dans Pline et Vitruve des allusions à la corrosion des canalisations en plomb par l'eau et ses conséquences néfastes sur la santé. Au XVIII^e siècle, la colique sèche des marins est attribuée à la conservation d'eaux pluviales dans des récipients en plomb. Cette pathologie s'étend lors de la mise en place des réseaux d'adduction d'eau. À Rennes et Vitré, malgré des interrogations réitérées dès 1887 sur le bien-fondé de l'utilisation des canalisations en plomb, leur installation au début du XX^e siècle provoque près de 150 décès dans les trois années suivantes (Ferrier, 1909). Des épidémies analogues se produisent également dans les autres pays européens et donnent lieu, comme en France, à de larges débats politiques et scientifiques. Ainsi, l'usage du plomb a-t-il été interdit en Moselle et en Alsace par les autorités allemandes dès le début du siècle. L'analyse scientifique complète montrant l'importance de l'acidité et de la concentration en CO₂ de l'eau est principalement due à l'école allemande de Tillmans (1932). Malgré le recensement de nombreux cas de saturnisme hydrique dans le Massif vosgien par les D^r Didier (1932) et Harmand (1941), les autorités françaises ne jugent pas utile d'interdire le plomb. Après guerre, on croit cette maladie disparue mais de nombreux cas de saturnisme hydrique sont encore détectés au cours des années 1960, 70, 80 et 90 dans le Massif vosgien, et en particulier dans les communes de Meurthe-et-Moselle et des Vosges alimentées en eau par des captages situés soit sur le grès vosgien, soit sur les granites acides (Duc et Abensur, 1982 ; Barbier et Chaput, 1984 ; Duc *et al.*, 1986 ; Sesmat, 1991). La cause de cette épidémie paraît se trouver simplement dans l'acidité naturelle de l'eau (figure 1, p. 176) et la persistance de nombreuses canalisations en plomb, soit au niveau de la distribution communale, soit au niveau des raccordements avec les particuliers (le saturnisme hydrique est inconnu en Moselle). Un programme de rénovation des réseaux communaux et de neutralisation des eaux est engagé au cours des années 60 mais le coût des installations freine les communes (Drapéri, 1978). Des unités de neutralisations dont l'objet est de remonter le pH sont mises en place mais fréquemment court-circuitées. L'évolution rapide de la situation date du début des années 90 lorsque l'Agence de Bassin Rhin-Meuse associée aux services des Directions départementales et régionales à l'Action sanitaire et sociale et des Directions départementales de l'Agriculture et de la Forêt accélèrent le mouvement grâce à un ensemble de subventions assorties de contraintes (Marchand et Hartemann, 1990). Enfin, en 1995, une loi interdit l'usage du plomb dans la distribution d'eau.

Avertis d'une possible acidification des eaux, nous avons tenté de cartographier, dans le Massif vosgien, quelles étaient les zones à risque. Pour ce faire, nous avons analysé l'ensemble des ruisseaux vosgiens (Party *et al.*, 1993) et rassemblé les analyses d'eau de sources effectuées depuis une trentaine d'années pour le compte des Directions départementales à l'Action sanitaire et sociale (DDASS). Nous nous sommes alors intéressés aux relations entre l'acidité et la teneur en plomb des eaux de source, l'hypothèse étant qu'une acidification des eaux de source était probable et pourrait avoir entraîné une augmentation des teneurs en plomb au robinet et donc du risque de saturnisme.

ÉVOLUTION DE L'ACIDITÉ DES EAUX DE SOURCE DU MASSIF VOSGIEN

Nous nous sommes intéressés aux analyses d'eaux de source alimentant soit des maisons forestières, soit des communes du Haut-Rhin, de Moselle, de Meurthe-et-Moselle et des

Vosges. Lorsqu'elles étaient disponibles, ces données ont été collectées dans les archives des divisions de l'Office national des Forêts, dans les mairies, et dans les DDASS des quatre départements. Les analyses de pH, titre alcalimétrique complet (TAC), titre hydrotimétrique (TH), nitrate (NO_3) et sulfate (SO_4) ont été effectuées une à plusieurs fois par an par des laboratoires d'analyses agréés (à Nancy, Épinal, Metz et Strasbourg), dès le début des années 60. Dans le département des Vosges, les séries analytiques commencent beaucoup plus tardivement, ou sont inexistantes, et n'ont donc pu être prises en compte.

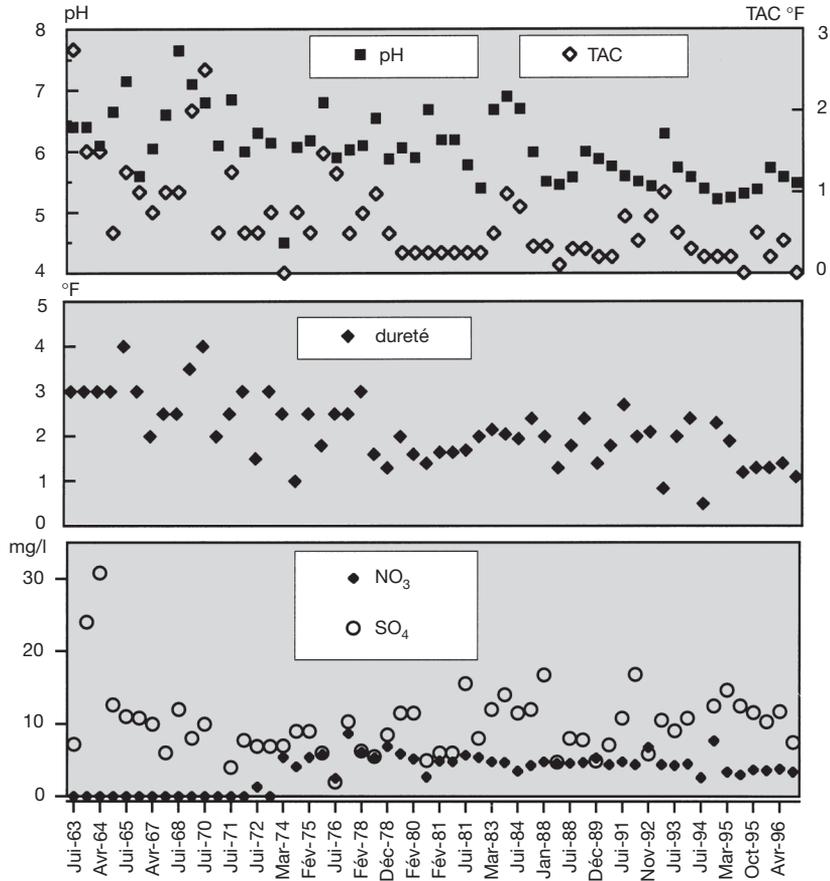
Le pH indique l'acidité ou l'alcalinité de l'eau. Par convention, une eau est dite acide lorsque son pH est inférieur à 5,6, et alcaline au-dessus de cette valeur. Plus le pH est bas, plus l'eau est acide, moins elle est alcaline. Le TAC est le titre alcalimétrique complet ou alcalinité, et représente le bicarbonate (HCO_3^-). Il illustre la capacité d'une eau à résister à une acidification et on le mesure d'ailleurs par titration acide. Une eau acide ne contient pas de bicarbonate, et plus une eau contient de bicarbonate, plus elle est alcaline. Sur les bulletins d'analyse, le TAC est généralement exprimé en degré français, mais d'autres unités sont utilisées : 1 degré français = 12,2 mg de bicarbonate (HCO_3^-), ou 200 microéquivalents par litre ($\mu\text{eq/l}$), ou 5,6 mg/l de CaO . Le TH est le titre hydrotimétrique et représente la dureté de l'eau. Il correspond approximativement à la somme de Ca et Mg. Il est aussi exprimé en degré français. 1 degré français = 4 mg/l de calcium (Ca) ou 2,4 mg/l de magnésium (Mg). Calcium et magnésium peuvent aussi s'exprimer en microéquivalents par litre ($\mu\text{eq/l}$). 1 mg/l de Ca correspond à 50 $\mu\text{eq/l}$. 1 mg/l de Mg correspond à 82 $\mu\text{eq/l}$. Les concentrations en sulfate (SO_4) et en nitrate (NO_3) sont données directement sur les bulletins d'analyse en mg/l. À 1 mg/l de SO_4 et NO_3 correspondent respectivement 21 $\mu\text{eq/l}$ de SO_4 et 16 $\mu\text{eq/l}$ de NO_3 .

La figure 1 (p. 176) montre un exemple typique, celui de l'alimentation communale de Val-et-Châtillon (Meurthe-et-Moselle). Sur le graphe supérieur se trouvent présentées en fonction de l'année (axe horizontal) les valeurs de pH et d'alcalinité (TAC). Ces deux variables baissent, ce qui indique une acidification progressive des eaux. Sur le graphe médian, on note que le TH baisse aussi au cours du temps. Enfin, l'évolution du NO_3 et du SO_4 apparaît sur le graphe inférieur. Le SO_4 baisse de 1963 à 1972 puis augmente légèrement. Le NO_3 baisse lentement de 1975 à 1996. Les valeurs nulles avant 1972 correspondent probablement à des problèmes de dosage, la méthode ayant changé au début des années 1970.

Cette acidification n'est pas due à une action sylvicole ponctuelle. Une coupe rase aurait en effet pu entraîner une forte minéralisation de l'azote déclenchant un fort drainage de nitrate et une acidification. Mais aucune coupe rase n'a été effectuée dans les sapinières couvrant ces sources pendant la période observée.

Cette acidification progressive n'est pas une exception : nous avons observé des tendances semblables pour les communes de Bertrambois, Cirey, Parux et Petitmont en Meurthe-et-Moselle, dont les eaux drainent le même massif forestier. Nous l'avons observé de manière identique sur six sources issues du grès vosgien alimentant des réseaux villageois en Moselle (Probst *et al.*, 1999). Cette tendance nous semble généralisée à toutes les communes dont l'alimentation se trouve exclusivement sur l'étage géologique du grès vosgien. Il ne s'agit pas d'un problème de changement de méthode d'analyse ou d'opérateur. La même tendance a été mesurée par des laboratoires indépendants à Metz, Strasbourg et Nancy. Par ailleurs, cette tendance n'a pas été observée dans d'autres communes où les étages géologiques des grès intermédiaires ou arkosiques affleurent largement dans les bassins d'alimentation des sources. Cette différence de comportement s'explique aisément : le grès vosgien est constitué à plus de 92 % de sable de quartz, et ne peut neutraliser l'acidité des précipitations tandis que les grès intermédiaires et arkosiques sont plus riches et y parviennent.

Figure 1 **VARIATION DU pH, DU TITRE ALCALIMÉTRIQUE COMPLET (TAC) ET DE LA DURETÉ (TH)**
 (exprimés en degrés français)
DU NITRATE (NO₃) ET DU SULFATE (SO₄)
 (exprimés en milligrammes par litre), dans l'eau de source de la commune de Val-et-Châtillon (Meurthe-et-Moselle)
 entre 1963 et 1996



Un autre exemple de cette tendance, soulignant l'influence de la géologie, nous est fourni par les sources des maisons forestières du massif du Donon (figure 2, p. 177-178). Ces 9 maisons forestières se situent entre 500 et 700 m d'altitude et sont alimentées par des sources propres. Les principales roches des bassins versants sont soit relativement riches en Ca et Mg comme le grès de Senones (Windeck, Coucou et Bambois) et le grès arkosique (La Falle, Les Odons), soit très pauvres en Ca et Mg, comme le grès vosgien (Saint-Pierre) et des brèches siliceuses complexes (Haut-Donon, Bas-Donon, Les Minières).

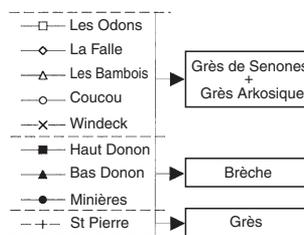
L'évolution du pH de ces sources entre 1972 et 1997 (pour la plupart) montre : une stabilité relative du pH entre 6,5 et 7 ou une très légère baisse du pH (entre 1976 et 1979) des sources sur grès de Senones et grès arkosique ; une baisse du pH d'environ 6,5 à 5,8 sur brèche siliceuse, sauf aux Minières où elle est peu marquée, et une stabilité relative (depuis 1979) autour de pH 5 sur grès vosgien. L'évolution du TAC suit globalement celle du pH. Le nitrate suit partout une évolution similaire avec des valeurs plus élevées au cours de la décen-

nie 1976-87. Les concentrations élevées en nitrate s'observent sur les substrats pauvres. Les teneurs en sulfate sont peu différentes entre les sources sauf celle des Minières, beaucoup plus basse pour une raison inconnue.

Dans cet environnement relativement homogène sur le plan du climat et de la pollution atmosphérique, l'évolution du pH apparaît très liée à la composition des roches. Les roches les plus riches en Ca et Mg (grès de Senones et grès arkosique) sont à même de neutraliser l'acidité et produisent des eaux neutres, avec des valeurs de TAC élevées et pauvres en nitrate. Les brèches siliceuses produisent des eaux riches en nitrate et paraissent incapables de neutraliser l'acidité des précipitations. Les sols perdent peu à peu leur Ca et Mg et s'acidifient : le pH des sources s'abaisse. Le cas de la source des Minières est intéressant dans la mesure où le faible drainage de sulfate (probablement liés à une rétention locale dans le sol) maintient un pH neutre. On distingue ainsi l'importance du sulfate sur l'acidité des eaux. La forte concentration en nitrate de la source sur roche très pauvre (grès vosgien) conditionne un pH déjà très bas en 1980, et probablement en équilibre avec l'acidité reçue. L'élévation générale des teneurs en nitrate au cours de la période 1976-87 pourrait être liée à la baisse momentanée de croissance forestière et au dépérissement occasionnés par les sécheresses répétées de cette période. Les dépérissements, plus marqués dans cette zone sur les substrats les plus pauvres, ont pu entraîner une minéralisation de l'azote des sols et augmenter le drainage de nitrate et l'acidité.

On sait que le plomb des canalisations se dissout d'autant plus facilement que les eaux sont acides (Morlot et Cabridenc, 1996). Si les eaux se sont acidifiées au cours des trente dernières années, il est probable que la concentration en plomb des eaux ait augmenté et en conséquence le risque de saturnisme. Pour tester cette dernière hypothèse, nous avons progressivement augmenté le pH d'une eau de source en la mélangeant avec une proportion croissante d'eau neutralisée, et nous avons suivi l'effet de cette élévation de pH sur la teneur en plomb au robinet chez des particuliers.

Figure 2
VARIATION DU pH, DU TITRE ALCALIMÉTRIQUE COMPLET (TAC), DU NITRATE (NO₃) ET DU SULFATE (SO₄)
 dans les sources de 9 maisons forestières du massif du Donon (Bas-Rhin) entre 1971 et 1996



Sources Maison forestières
 District de SCHIRMECK

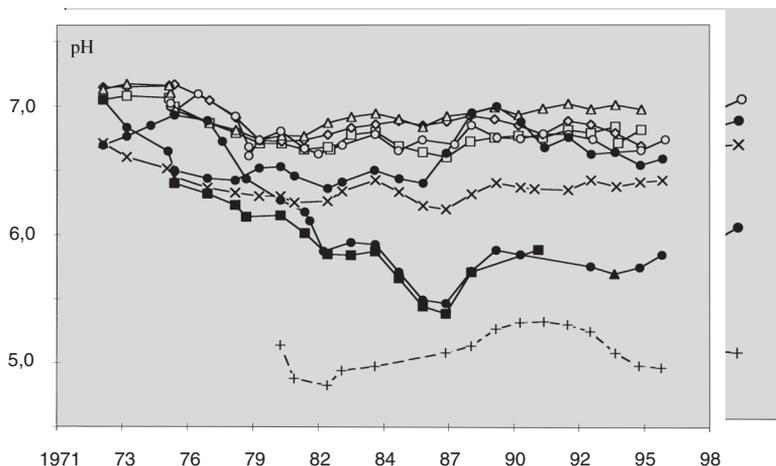
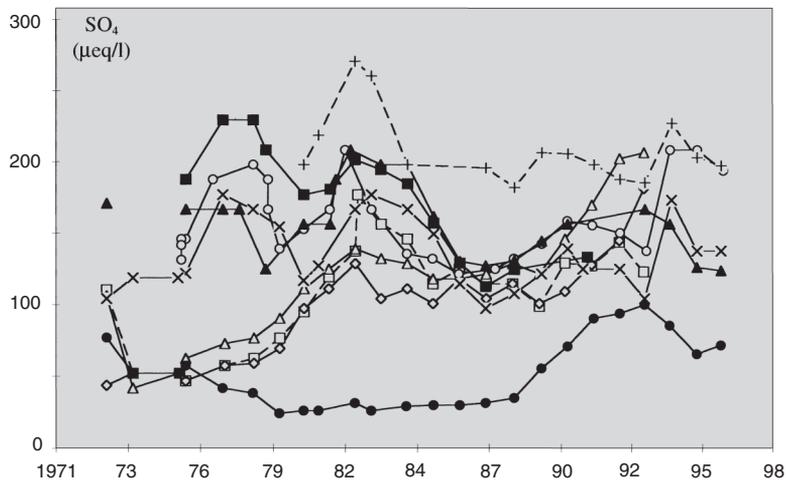
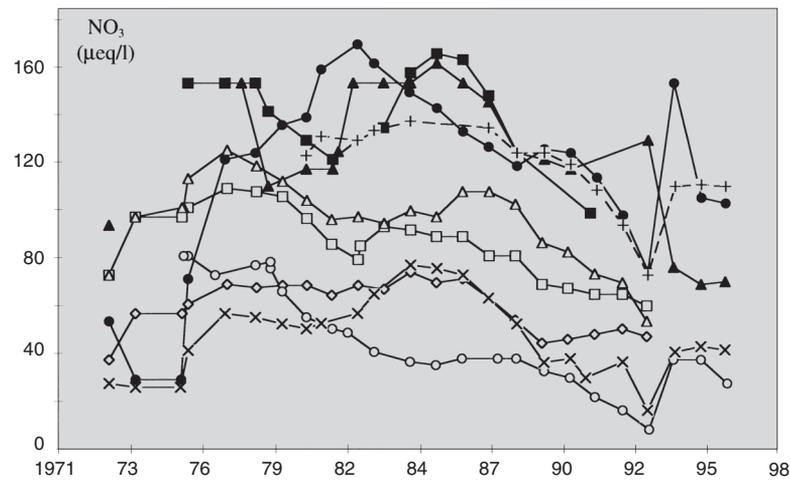
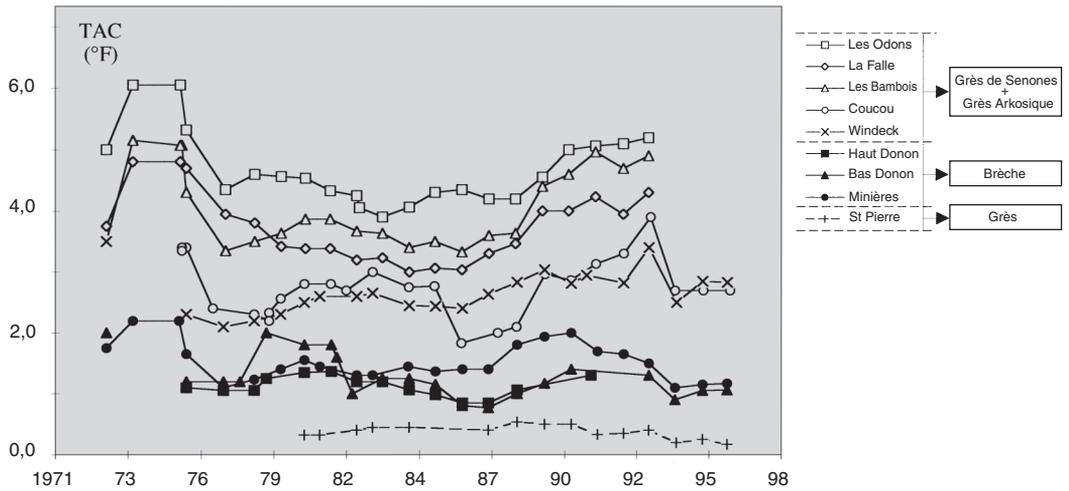


Figure 2
(suite)



AUGMENTATION DES TENEURS EN PLOMB DE L'EAU DE BOISSON LIÉE À L'ACIDIFICATION

Trois sources alimentent le village de Val-et-Châtillon depuis 1924, Noire-Basse, Longval, et Fontaine-Lefevre (Cornibé, 1995). Leurs pH, mesurés en janvier 1997, sont proches, et valent respectivement 5,4, 5,05 et 5,4. L'eau de ces sources est rassemblée dans un réservoir de 200 m³, qui alimente par gravité les particuliers et les fontaines. La consommation journalière d'eau correspond approximativement au tiers de la capacité du réservoir.

L'unité de neutralisation (Société Bellorini, Saint-Michel-sur-Meurthe) est placée en amont de ce réservoir. Elle se compose de deux bacs filtrants remplis de maërl (neutralite). En utilisant le circuit de détassage du maërl, nous avons court-circuité partiellement la neutralisation, et mélangé l'eau brute à une proportion croissante d'eau neutralisée. Les proportions de mélange ont été ajustées empiriquement en manœuvrant les vannes de manière à obtenir deux paliers approximatifs à pH 6,5 et 7,2 dans le réservoir, puis le court-circuit a été fermé de façon à obtenir une neutralisation complète de l'eau. Chaque palier a été maintenu pendant deux semaines.

Dans trois foyers du village situés respectivement à l'entrée, au milieu et à une extrémité du réseau de distribution, des habitants volontaires ont collecté pendant 8 semaines la dernière eau du soir. Ces foyers sont reliés au circuit communal de distribution en fonte par 3 à 6 mètres de canalisation en plomb de 1,5 cm de section intérieure. Dans chaque foyer, un certain volume d'eau (généralement 1 à 2 litres) correspondant au volume estimé de canalisation terminale en cuivre a été tiré puis rejeté. Puis 1 litre d'eau ayant séjourné au contact du plomb a été tiré. Afin de conserver des conditions les plus semblables entre les différents foyers, la chasse d'eau a été tirée avant le prélèvement au robinet. Par ailleurs, l'eau traitée, issue du mélange, a été recueillie chaque jour à partir du réseau principal juste avant l'entrée du village. Les eaux ont été collectées chaque semaine, immédiatement filtrées (porosité de 0,45 microns), et le pH et le TAC (titration par l'acide chlorhydrique suivant la méthode de Gran) ont été mesurés. Ca, Mg, K, Na et S ont été dosés par Spectroscopie de plasma induit (ICP, Jobin-Yvon) et Cl, NO₃ et SO₄ par Chromatographie ionique (Dionex) à l'INRA de Nancy. Le plomb a été dosé par couplage d'un spectromètre de plasma induit à un spectromètre de masse (ICP-MS) au Laboratoire d'Hygiène et de Recherche en Santé publique (LHRSP, Vandœuvre).

RÉSULTATS

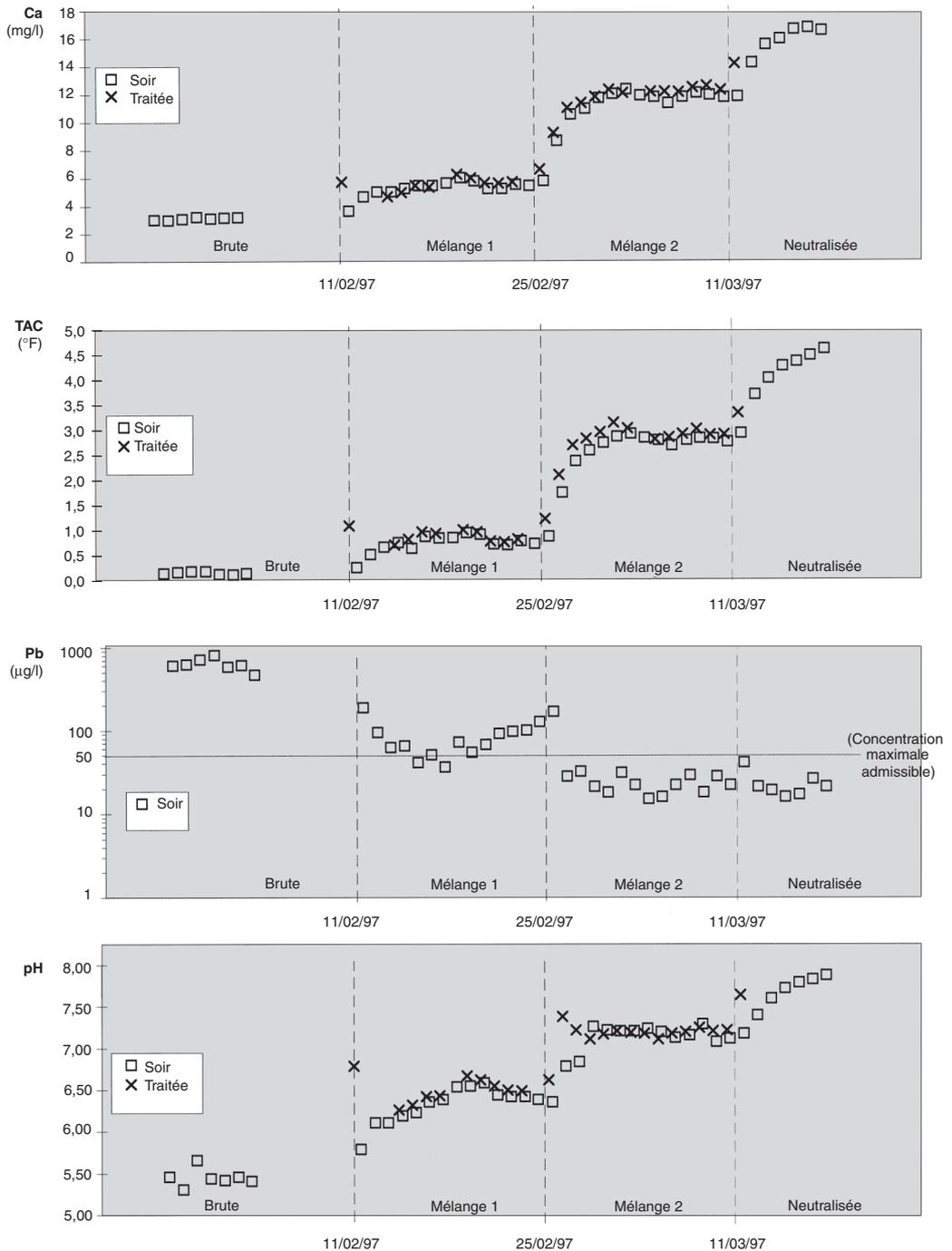
L'ensemble des résultats est très homogène de sorte que nous ne commenterons que ceux issus d'un foyer (figure 3, p. 180).

Évolution du calcium et du magnésium

Les teneurs en Ca et Mg de l'eau brute sont respectivement égales à 3 et 1,2 mg/l. Ces teneurs s'élèvent et se stabilisent rapidement, respectivement à 6 et 1,4 mg/l lors du premier palier, à 12 et 2,4 mg/l lors du deuxième palier, puis à 17 et 2,7 mg/l lors de la neutralisation complète. Cette augmentation provient de la dissolution du maërl, constitué essentiellement de Ca et Mg. Connaissant la composition de l'eau brute et sachant que l'eau neutralisée contient 17 et 2,7 mg/l, on en déduit les proportions de mélange correspondant aux différents paliers : environ 80 % d'eau brute et 20 % d'eau neutralisée pour le premier palier, 30 % d'eau brute et 70 % d'eau neutralisée pour le second.

Figure 3

VARIATION DU CALCIUM (Ca), DU TAC, DU PLOMB (Pb) ET DU pH DANS L'EAU
 du réseau de Val-et-Châtillon au cours d'une neutralisation progressive expérimentale,
 avant (traitée) et après (soir) son passage dans la canalisation en plomb d'une maison individuelle



Évolution du pH et de l'alcalinité

Collectée dans le réservoir avant l'expérience, l'eau brute et l'eau collectée le soir ont un pH moyen de 5,5 et un TAC voisin de zéro, correspondant aux valeurs moyennes des années 1990-95. pH et TAC s'élèvent progressivement (parallèlement à la teneur en Ca, c'est-à-dire à la proportion d'eau neutralisée) à des valeurs moyennes de 6,4 et 0,7 °F (°F = degré français) au cours du premier palier. Ces valeurs correspondent aux concentrations mesurées au cours des années soixante. Au cours du deuxième palier, le pH et l'alcalinité de l'eau traitée et de l'eau du soir se stabilisent au bout de quelques jours à des valeurs de 7,2 et 2,5 °F respectivement. L'eau neutralisée a un pH voisin de 8 et un TAC de 4,5 °F.

Évolution du plomb

Avant l'expérience, les concentrations en plomb des eaux varient entre 500 et 900 microgrammes par litre ($\mu\text{g/l}$) le soir, valeurs plus de dix fois supérieures à la concentration maximale admissible (50 $\mu\text{g/l}$). Elles sont proches de 2 000 $\mu\text{g/l}$ le matin, lorsque l'eau a séjourné pendant la nuit au contact du plomb. Lors du premier palier, ces concentrations diminuent fortement et varient entre 40 et 200 $\mu\text{g/l}$ en fonction du pH et de l'alcalinité. Au cours du deuxième palier, les concentrations dans les eaux du soir deviennent inférieures à la concentration maximale admissible. La neutralisation totale amène les concentrations de toutes les eaux en dessous de 20 $\mu\text{g/l}$. L'élévation du pH et de l'alcalinité de l'eau, c'est-à-dire la diminution de son acidité, entraîne donc une forte diminution de leur teneur en plomb. La baisse d'une unité pH environ au cours des trente dernières années (de 6,5 à 5,5 environ) des eaux issues du grès vosgien a donc conduit à une multiplication des teneurs en plomb par un facteur 8 à 10 pour l'eau du soir, qui représente le mieux l'eau consommée tout au long de la journée.

CONCLUSIONS

Le suivi analytique des eaux de source montre qu'une acidification s'est produite au cours des trente dernières années. Cette acidification est restreinte aux domaines couverts par des roches très pauvres en calcium et magnésium, grès vosgien et conglomérat, brèches siliceuses, granites très acides. Elle confirme très directement l'acidification des sols et des ruisseaux mesurée ou calculée par des techniques totalement indépendantes dans le Massif vosgien. Les causes de cette acidification sont diverses. En premier lieu, la pollution atmosphérique acide dépasse la capacité de neutralisation des sols et des arènes. En second lieu, le forestier, en favorisant le résineux aux dépens du feuillu, a volontairement augmenté la productivité et donc appauvri les sols, et involontairement accru le dépôt acide, plus largement capté par les couverts sempervirents. Enfin, les récentes sécheresses ont pu temporairement affaiblir la vitalité forestière et permettre l'expression d'une acidité produite par une nitrification excédentaire. Cependant, localement, les interactions entre ces facteurs sont complexes, et l'histoire forestière et climatique doit être considérée. Ainsi, un fort drainage de nitrate associé à une acidification profonde des sols sont fréquents sous les plantations résineuses de première génération fortement productives, indépendamment du niveau de dépôt atmosphérique.

Pour un foyer (en particulier forestier) possédant une canalisation privée en plomb, la baisse d'une unité pH environ des eaux au cours des trente dernières années (de 6,5 à 5,5 environ) a multiplié le risque de saturnisme. Ainsi n'est-il pas surprenant que de nombreux cas de saturnisme hydrique se soient déclarés au cours des années 1970 et 80, malgré l'élimination progressive du plomb des réseaux de distribution.

Les travaux de cartographie menés actuellement en France indiquent que les dépôts atmosphériques, les roches, les sols et les eaux les plus acides se trouvent essentiellement dans le Massif vosgien (Party *et al.*, 1997). Pour autant, ceci ne signifie pas qu'en dehors des Vosges, le risque de saturnisme soit nul. Les courbes présentées montrent clairement que des teneurs relativement élevées en plomb sont compatibles avec des eaux faiblement alcalines.

Mais la probabilité pour qu'une baisse du pH se soit produite au cours des dernières décennies est plus réduite.

Enfin, ces résultats ne remettent pas en cause l'excellente qualité générale de l'eau produite par les écosystèmes forestiers, mais les défauts de notre gestion de l'eau.

<p>E. DAMBRINE - B. POLLIER Unité Écosystèmes forestiers Équipe Cycles biogéochimiques INRA – Centre de Recherches de Nancy F-54280 CHAMPENOUX</p>	<p>J.-P. PARTY - A. PROBST CENTRE DE GÉOCHIMIE DE LA SURFACE (CGS) CNRS 1, rue Blessig F-67084 STRASBOURG</p>
<p>N. NICOLAÏ - Ch. ROZIN LABORATOIRE D'HYGIÈNE ET DE RECHERCHE EN SANTÉ PUBLIQUE (LHRSP) F-54500 VANDŒUVRE-LÈS-NANCY</p>	<p>M. DUC CENTRE HOSPITALIER UNIVERSITAIRE (CHU) Brabois F-54500 VANDŒUVRE-LÈS-NANCY</p>

Remerciements

Nous remercions chaleureusement le maire, M. Gérard, le fontanier, M. Becker et les familles Caro, Lambour et Bernard de Val-et-Châtillon, ainsi que l'ingénieur de la DDAF, M. Vinson, et le concepteur du dispositif de neutralisation, M. Bellorini, pour leur collaboration généreuse et amicale lors de la neutralisation expérimentale de l'eau de Val-et-Châtillon. La collaboration sympathique de l'ONF de Schirmeck nous a permis d'utiliser les données des sources des maisons forestières. Ce travail a été effectué dans le cadre du programme "Charges critiques" financé par l'ADEME.

BIBLIOGRAPHIE

- BARBIER (P.), CHAPUT (C.). — Le Saturnisme hydrique : à propos de 105 cas dépistés dans les Vosges en huit mois par un groupe de médecins praticiens. — *Concours médical*, 106-25, 1984, pp. 2359-2363.
- BONNEAU (M.), DAMBRINE (E.), NYS (C.), RANGER (J.). — Apports acides et cycles des cations et de l'azote : quelques réflexions à partir des dispositifs de Monthermé (Ardennes) et d'Aubure (Vosges). — *Science du Sol*, vol. 29, n° 2, 1991, pp. 125-145.
- CORNIBÉ (R.). — Val-et-Châtillon, son Passé, ses Gens. — Sarrebourg : Laser Informatique, 1995. — 160 p.

- DAMBRINE (E.), BONNEAU (M.), NOURISSON (G.). — Apports de pollution et de nutriments par l'atmosphère aux peuplements forestiers vosgiens : intensité, variations spatiales et historiques et conséquences sur la nutrition des forêts. — *Annales scientifiques de la Réserve biologique des Vosges du Nord*, 3, 1994, pp. 7-24.
- DRAPÉRI (J.). — Alimentation en eau potable du secteur de Baccarat-Badonviller-Cirey. Agressivité de l'eau du grès Vosgien, étude générale du problème. Rapport d'enquête. — Nancy : DDA, 1977. — 27 p.
- DUC (M.), KARMINSKY (P.), KAYL (P.), LEONE (J.). — Le Saturnisme hydrique : réflexions à partir des observations vosgiennes. — *Rev. Med. Liège*, vol. XLII, n° 12, 1986, pp. 616-627.
- DUC (M.), KARMINSKY (P.), KAYL (P.). — Le Saturnisme hydrique. Expérience d'un service de médecine générale de 1974 à 1984. — *Sem. Hop. Paris*, 62, 39, 1986, pp. 3043-3052.
- DUC (M.), ABENSUR (R.). — L'inquiétante persistance du saturnisme hydrique. — *Concours médical*, 104, 1982, pp. 6659-6672.
- FERRIER (O.). — Action des eaux peu minéralisées de la région bretonne sur les canalisations de plomb et de fer. — Paris : Faculté de Pharmacie, 1909 (Thèse).
- HARMAND (J.J.L.). — Contribution à l'étude du saturnisme hydrique. Une nouvelle méthode de dosage du plomb sanguin. L'intoxication saturnine par l'eau dans la région vosgienne. — Nancy : Berger-Levrault, 1941. — 333 p. (Thèse Faculté de Médecine de Nancy).
- LANDMANN (G.), BONNEAU (M.). — Pollution atmosphérique et dépérissement des forêts dans les montagnes françaises. Rapport DEFORPA. — Nancy : INRA, 1995. — 350 p.
- MARCHAND (F.), HARTEMANN (P.). — Notre Eau, Notre Santé, Penser Globalement, Agir Localement. — Nancy : DDASS Lorraine, 1990.
- MORLOT (M.), CABRIDENC (R.). — Aspects analytiques du plomb dans l'environnement. — Cachan : Lavoisier, 1996. — 500 p.
- PARTY (J.-P.), PROBST (A.), DAMBRINE (E.). — Détermination et cartographie des charges critiques en polluants atmosphériques dans les Vosges. — Rapport CNRS-INRA-ADEME, 1993. — 68 p.
- PARTY (J.-P.), PROBST (A.), FEVRIER (C.), DAMBRINE (E.), KING (D.), THOMAS (A.-L.). — Les Charges critiques en France. Données et références. — Paris : ADEME, 1997. — 57 p.
- PROBST (A.), MASSABUAU (J.-C.), PROBST (J.-L.), FRITZ (B.). — Acidification des eaux de surface sous l'influence des précipitations acides : rôle de la végétation et du substratum, conséquences pour les populations de truites. Le cas des ruisseaux des Vosges. — *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences Paris*, n° 311, 1990, pp. 405-411.
- PROBST (A.), PARTY (J.-P.), FEVRIER (C.), DAMBRINE (E.), THOMAS (A.-L.), STUSSI (J.-M.). — Evidence of springwater acidification in the Vosges mountains. Influence of bedrock buffering capacity. — *Water, Air, Soil, Pollution*, 1999 (accepté).
- SESMAT (A.). — Le Saturnisme hydrique à travers l'expérience d'un médecin généraliste. Canton de Cirey-sur-Vezouze. — Faculté de Médecine de Nancy, 1991. — 97 p. (Thèse).
- TILLMANS (J.). — Die Chemische Untersuchung von Wasser und Abwasser. — Halle : Knapp, 1932.

ACIDIFICATION DES EAUX DE SOURCE ET SATURNISME DANS LE MASSIF VOSGIEN (Résumé)

Les recherches menées à l'occasion du programme DEFORPA ont montré que les dépôts acides et la sylviculture avaient directement contribué à une acidification des sols et des eaux de surface du Massif vosgien. L'étude de la variation de l'acidité des eaux de source depuis 30 ans a confirmé une acidification progressive de l'eau captée sur les roches les plus pauvres, comme le grès vosgien. Nous avons expérimentalement vérifié que cette acidification a considérablement augmenté la teneur en plomb de l'eau chez les résidents dont les canalisations d'eau potable sont en plomb. Le nombre élevé de cas de saturnisme hydrique observés par les médecins au cours des années 1980 dans le Massif vosgien est attribué directement à cette acidification des eaux, et indirectement et pour partie à la pollution acide atmosphérique.

ACIDIFICATION OF SPRING WATER AND LEAD POISONING IN THE VOSGES MASSIF (Abstract)

Research conducted under the DEFORPA program has shown that acid deposition and sylviculture directly contributed to the acidification of soils and surface water in the Vosges mountains. The study of variations in acidity of spring water over the last 30 years has confirmed that water tapped from springs in the poorest rock such as Vosges sandstone has gradually become acidified. We experimentally verified that this acidification has considerably increased the lead content of drinking water supplied to residents through lead piping. The large number of cases of hydrosaturnism observed by doctors in the Vosges mountains in the 80's is directly attributed to this process of water acidification as well as partly and indirectly to acid air pollution.
