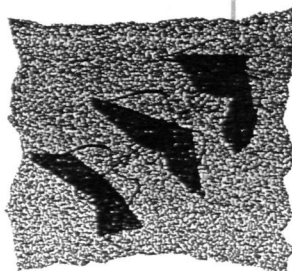




Agence de l'eau  
Rhin-Meuse



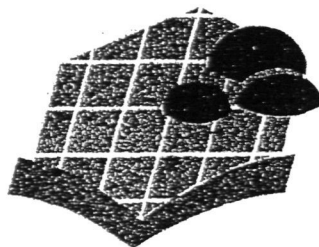
région  
**lorraine**



DIRECTION RÉGIONALE DE

**L'ENVIRONNEMENT**

LORRAINE



CONSEIL GÉNÉRAL DES VOSGES

**EVALUATION DE L'ETAT D'ACIDIFICATION DES  
COURS D'EAU DU DEPARTEMENT DES VOSGES**

convention n° 14/95 C

**Etude réalisée par:**

**Université de Metz, C.R.E.U.M**

**CNRS, Vandoeuvre-lès-Nancy, Centre de Pédologie Biologique,**

**Institut National Polytechnique de Lorraine, Vandoeuvre-lès-Nancy, E.N.S.A.I.A.,**

**Université Henry Poincaré de Nancy, Laboratoire de Biologie des Insectes**



n° 21032-3

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE (CNRS)  
CENTRE DE PEDOLOGIE BIOLOGIQUE  
17, rue Notre Dame des Pauvres  
B.P. 5  
F-54501 - VANDOEUVRE-LES-NANCY Cedex - France  
Téléphone : 03 83 51 08 60 - Télécopie : 03 83 57 65 23

CENTRE DE RECHERCHES ECOLOGIQUES  
DE L'UNIVERSITE DE METZ (CREUM)  
LABORATOIRE D'ECOTOXICOLOGIE  
1 rue des Récollets  
B.P. 4116  
F-57040 - METZ Cedex 1 - France  
Téléphone : 03 87 74 54 39 - Télécopie : 03 87 37 04 61

UNIVERSITE HENRI POINCARRE  
DE NANCY  
LABORATOIRE DE BIOLOGIE DES INSECTES  
B.P. 239  
F-54506 - VANDOEUVRE-LES-NANCY Cedex - France  
Téléphone : 03 83 91 20 00

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE  
DE LORRAINE  
E.N.S.A.I.A. - LABORATOIRE SOLS ET ENVIRONNEMENT  
B.P. 172  
F-54505 - VANDOEUVRE-LES-NANCY Cedex - France  
Téléphone : 03 83 59 59 59

## EVALUATION DE L'ETAT D'ACIDIFICATION DES COURS D'EAU DU DEPARTEMENT DES VOSGES

convention N° 14/95 C

### Rapport de synthèse

F. Guérold<sup>1</sup>, J.P. Boudot<sup>2</sup>, D. Merlet<sup>2</sup>, J. Rouiller<sup>2</sup>, D. Vein<sup>3</sup>, G. Jacquemin<sup>4</sup>

<sup>1</sup> CENTRE DE RECHERCHES ECOLOGIQUES DE L'UNIVERSITE DE METZ, LABORATOIRE D'ECOTOXICOLOGIE

<sup>2</sup> CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE, CENTRE DE PEDOLOGIE BIOLOGIQUE

<sup>3</sup> INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE, E.N.A.S.A.I.A., LABORATOIRE SOLS ET ENVIRONNEMENT

<sup>4</sup> UNIVERSITE HENRI POINCARRE DE NANCY, LABORATOIRE DE BIOLOGIE DES INSECTES

# **Rapport de synthèse de l'étude relative à: l'évaluation de l'état d'acidification des cours d'eau dans le département des Vosges**

**Convention n°14/95C**

**(le rapport original comprend 63 pages, 31 figures, 9 tableaux)**

## **Introduction**

Depuis l'essor industriel du 19ème siècle, l'homme n'a cessé de brûler des combustibles fossiles (pétrole et ses dérivés, gaz, charbon...). Depuis donc plus d'un siècle maintenant, nous émettons sans cesse dans l'atmosphère des polluants, parmi lesquels les oxydes de soufre ( $SO_2$ ) et les oxydes d'azote ( $NO_x$ ), pour ne citer que les principaux, sont des précurseurs d'acides forts, tels que l'acide sulfurique et l'acide nitrique. Une fois émis dans l'atmosphère, ces polluants peuvent être entraînés sur de très longues distances, et retomber au sol, loin de leur lieu d'émission. Ce phénomène de déposition au sol est internationalement connu sous le nom vulgarisé de « pluies acides ». En fait, les pluies acides comprennent non seulement les dépôts humides (pluie, neige, brouillard....) mais également les dépôts secs ou occultes, beaucoup plus difficilement quantifiables.

Lorsque les écosystèmes terrestres présentent certaines caractéristiques (roches acides, sols podzoliques, peuplements de résineux), les dépôts acides provoquent une acidification des sols et consécutivement des eaux de surface, ces dernières constituant l'ultime récepteur.

Ce phénomène qui se manifeste aussi bien en plaine qu'en montagne, est malheureusement bien connu de nombreux pays de l'hémisphère nord et plus particulièrement en Amérique du Nord (Canada, Etats-Unis) et en Europe (Norvège, Suède, Finlande, Russie, Royaume-Uni, Allemagne, République Tchèque, Pays-Bas, Belgique, Suisse, Italie... ). Plus près de nous, en France, ce problème n'est actuellement connu que du massif vosgien. Des phénomènes d'acidification des eaux ont été démontrés ponctuellement en Moselle (Vosges du Nord), en Meurthe et Moselle (vallées du val, du Châtillon, de la Plaine), dans le Haut-Rhin (haute vallée de la Thur) mais c'est surtout dans le département des Vosges que les problèmes ont retenu l'attention.

L'une des conséquences directes et marquantes de l'acidification des cours d'eau, résulte sans nul doute, dans la disparition du cheptel piscicole, mais aussi des nombreux organismes aquatiques inféodés à ces milieux. De plus, il peut exister potentiellement des problèmes de santé publique, ne serait-ce qu'en raison de la corrosion accélérée des conduites d'adduction d'eau.

## Historique régionale

Au début des années 80, une association de pêche du département des Vosges attire l'attention sur la disparition de la truite dans des rivières pourtant situées en amont de toutes activités anthropiques. Durant la même période, deux allemands et un norvégien (Schoen et al., 1983) au cours d'une campagne d'évaluation de l'acidification sur le territoire allemand, viennent dans les Vosges et constate des anomalies de pH dans certains secteurs, mais les données restent imprécises.

En fait, il faut attendre 1985, pour qu'une première étude sérieuse soit entreprise dans la région de Cornimont (bassin versant du Rouge-Rupt) et mette en évidence les premiers ruisseaux acides dans lesquels la truite a totalement disparue (Massabuau et al., 1987). Depuis différentes études ont montré que d'autres secteurs des Vosges étaient touchés pour l'acidification des eaux courantes (Probst et al., 1989, 1990) et que dans les cours d'eau atteints, la biodiversité était considérablement réduite (Guérol et al., 1992, 1993, 1995).

Dater l'apparition des premiers phénomènes d'acidification des eaux courantes dans les Vosges, demeurent difficile compte tenu de l'absence d'analyses chimiques dans le passé. Toutefois, selon la mémoire collective, il semble que dès la fin des années 1960 de nombreux cours d'eau étaient déjà dépourvus de truites. Aussi n'est-il pas rare lorsque l'on discute avec d'anciens forestiers, d'entendre le discours: « ... dans le temps quand on travaillait en forêt, on attrapait une ou deux truites pour le casse-croûte de midi, mais maintenant il n'y a plus de poissons ... ».

Par contre, il est acquis que dès 1973-74, les précipitations présentaient dans les Vosges, un pH anormalement bas (Bourrié, 1976). En effet, Bourrié en mesurant le pH de pluies et de neiges, a démontré qu'en moyenne, le pH de ces précipitations était proche de 4.2 au lieu de 5.4-5.6, ce qui correspond globalement à une acidité près de 16 fois trop forte par rapport à la normale. Précisons également que l'auteur a mesuré des valeurs extrêmes de pH = 3.59 dans des pluies ce qui signifie une acidité plus de 100 fois supérieure à la valeur normale.

## Contenu de la présente étude

Deux approches complémentaires ont été adoptées pour appréhender l'étude de l'acidification dans le département des Vosges: une approche physico-chimique et une approche biologique.

A cet effet, dans un premier temps, 756 cours d'eau ont été présélectionnés après examen de cartes géologiques et en fonction de leur environnement géologique, pédologique et géographique.

Un certain nombre d'entre eux a été éliminé en raison des modalités d'accès, de

l'environnement paysager et de l'état de pollution, autre qu'atmosphérique, du site. Les 394 ruisseaux restant se distribuent régulièrement sur l'ensemble des roches acides ou faiblement carbonatées du département. *Toutes les stations de prélèvement sont situées en amont d'activités anthropiques qu'elles soient urbaines, agricoles ou industrielles. Ainsi, les cours d'eau étudiés ne subissent, en amont des sites de prélèvement, aucune autre perturbation que celle engendrée par les retombées atmosphériques.*

### *Etude chimique*

Afin de réaliser un bilan chimique de l'état d'acidification du réseau hydrographique du département des Vosges, l'étude des caractéristiques physico-chimiques des cours d'eau s'est déroulée en plusieurs étapes, d'octobre 1995 à novembre 1996:

\* La première campagne de terrain, réalisée entre le 1<sup>er</sup> octobre 1995 et le 16 janvier 1996, a porté sur l'analyse chimique de 394 ruisseaux en période de basses eaux, période durant laquelle la qualité des eaux est à son optimum.

\* Une seconde campagne portant sur un échantillonnage plus réduit de 119 ruisseaux, a ensuite été effectuée au printemps en période de fonte des neiges, période reconnue critique pour la qualité de l'eau.

\* Enfin, des campagnes ultérieures ont porté sur 60 à 80 ruisseaux, en tenant compte des conditions hydro-météorologiques.

A chaque campagne, les paramètres chimiques analysés comprennent aussi bien des paramètres classiques (pH, alcalinité totale, composition en cations et anions totaux), que des paramètres à visée plus écotoxicologique (estimation d'une toxicité due à l'aluminium, existence de carences en calcium ou en sodium, etc.).

A partir des données physico-chimiques, une première évaluation du linéaire de cours d'eau touché par l'acidification dans le département des Vosges a été réalisée.

### *Etude biologique*

En fonction des données chimiques obtenues durant les deux premières campagnes d'analyses, une quarantaine de ruisseaux ont été étudiés d'un point de vue biologique. Pour cela, deux campagnes de prélèvements de la macrofaune benthique ont été réalisées au cours du printemps 1996 et durant l'automne 1996.

Ces prospections biologiques visaient d'une part à déterminer la toxicité des eaux acides sur des organismes vivants, et d'autre part, à mettre au point une méthode d'évaluation de la qualité des eaux dans le cas de rivières acidifiées.

## Résultats

### Etude de la qualité des eaux en période d'étiage

L'étude des 394 cours d'eau en période d'étiage, c'est à dire lorsque la qualité de l'eau est optimum, a permis de montrer l'amplitude et l'étendue du phénomène d'acidification dans le département des Vosges.

Les 394 ruisseaux analysés couvrent une large gamme de pH (3,9–8) et d'alcalinité (de -120  $\mu\text{eq./L}$  à + 2700  $\mu\text{eq./L}$ ). **Malgré le régime d'étiage qui prévalait lors de cette campagne, de nombreux ruisseaux présentaient un pH < 5,5 (figure 1) et un plus grand nombre encore avait une alcalinité inférieure au seuil des 100  $\mu\text{eq./L}$  nécessaires pour qu'ils puissent échapper, en principe, à un stress acide en période de crue (figure 2).** De tels ruisseaux à alcalinité insuffisante existent dès que le pH descend en dessous de 6,8, et sont actuellement très nombreux dans les Vosges sur roche acide. Les ruisseaux dont le pH est inférieur à 5,5 sont ceux où l'acidité conduit à la présence d'aluminium en solution. On constate aisément que, même en période d'étiage, de tels ruisseaux ne constituent pas une exception cantonnée à de rares bassins versants isolés, mais sont au contraire très répandus sur toute la façade est du département, où ils atteignent 40 % des ruisseaux étudiés. Par contre, les ruisseaux typiques (neutres ou faiblement alcalins: pH > 6,8) restent très minoritaires (9 %), même en période d'étiage.

Au total, 40 % des ruisseaux étudiés sont carencés en Calcium et 6 % le sont en sodium, tandis que près de 30 % d'entre eux contiennent plus de 200  $\mu\text{g/L}$  d'aluminium, valeur seuil officielle de potabilité des eaux pour la consommation humaine. Des concentrations extrêmement élevées en aluminium, ont en outre été observées dans le nord du département (massif du Donon), où elles atteignent 1400  $\mu\text{g/L}$ . Force est de constater que 78 % des ruisseaux des Vosges cristallines, gréseuses et volcaniques sont susceptibles d'être atteints par des stress d'acidité, au moins en période de forte pluviosité ou de fonte des neiges.

### Suivi en continu de la qualité des eaux

Les caractéristiques des eaux de surface sont réputées être très changeantes en fonction du régime d'écoulement. Les pH et les alcalinités les plus faibles sont généralement notées durant les périodes de crue, alors que les régimes d'étiage sont réputés être caractérisés par des eaux peu acides.

Dans le cas présent, ce schéma n'est pas toujours respecté. On observe en fait des familles de ruisseaux aux comportements très différenciés. Certains ont un pH qui reste relativement stable, soit à un niveau élevé, soit à un niveau moyen, soit à un niveau très bas, et ceci quelque soit le régime hydrique de leur bassin versant. D'autres par contre sont soumis à de fortes variations en période de crue, comme cela a été le cas à la fonte des neiges au printemps 1996 et plus encore lors des fortes précipitations de l'automne 1996 (figure 3).

Le printemps 1996 a été marqué par une baisse de pH assez générale au dessus de

Figure 1 - Carte de répartition des ruisseaux en fonction du pH mesuré en période d'été. Seuls les cours d'eau dont le pH est >6.8 sont susceptibles d'échapper à un stress acide (394 cours d'eau).

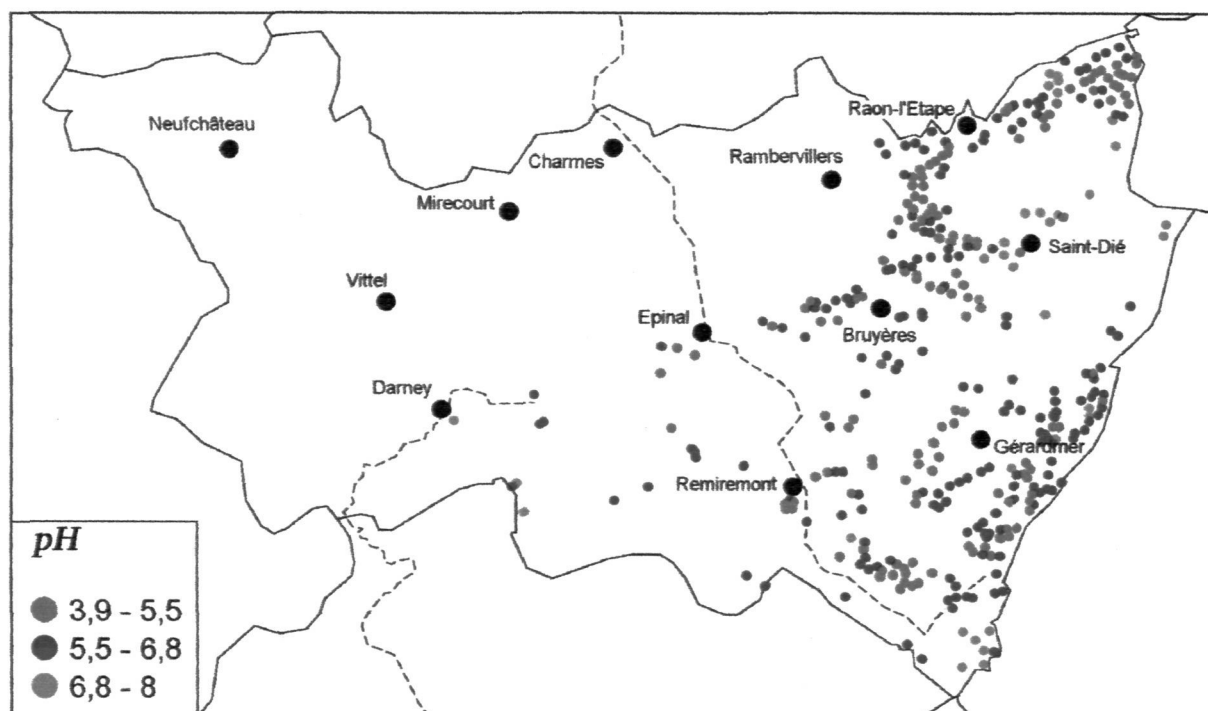
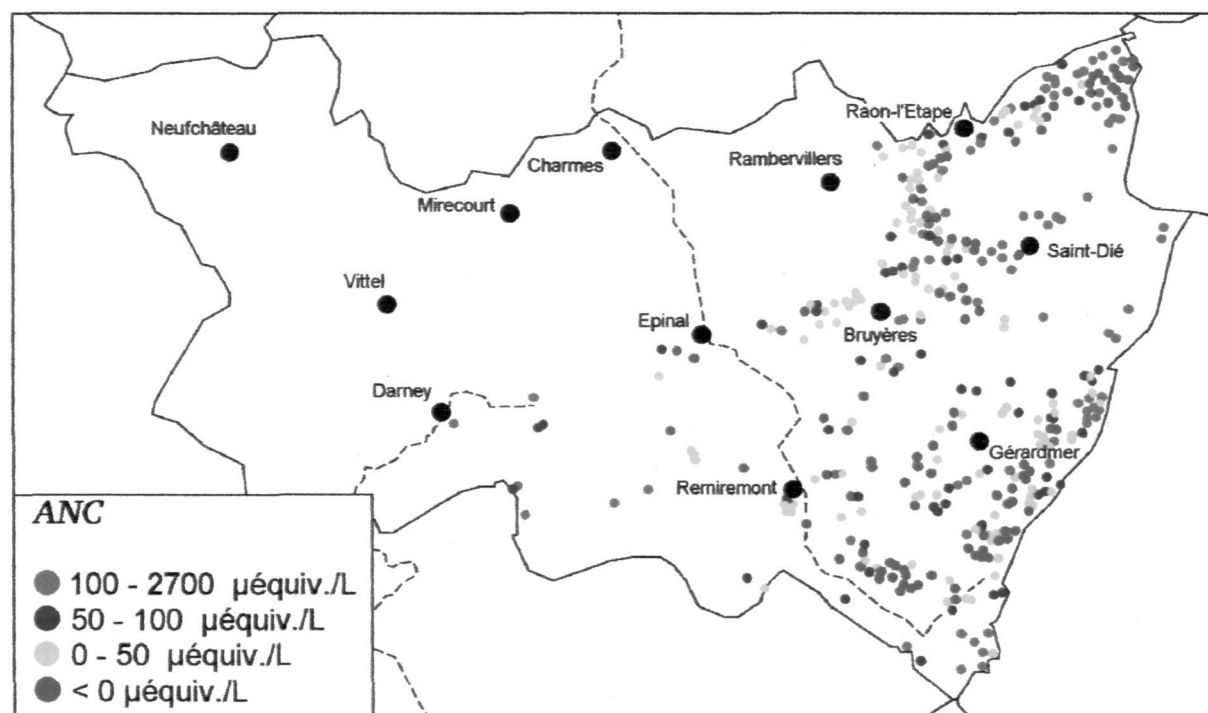


Figure 2. - Carte de répartition des cours d'eau en fonction de l'alcalinité en période d'été. Seuls les cours d'eau dont l'alcalinité est supérieure à 100  $\mu\text{equiv./L}$  peuvent être considérés comme typiques de la région (394 ruisseaux).





600 m d'altitude du fait de la fonte des neiges, alors que les ruisseaux situés en dessous de cette altitude ont eu, en moyenne, un pH en légère augmentation du fait de la faiblesse des précipitations hivernales et de la diminution de leur débit qui s'en est suivi. A l'inverse, les fortes précipitations généralisées de novembre 1996 ont provoqué une diminution parfois très importante du pH des ruisseaux aussi bien en plaine que dans le massif vosgien. **Dans ce dernier cas, et par rapport aux caractéristiques chimiques des eaux à l'étiage de l'automne 1995, on constate sur un sous-échantillonnage de 83 sites, que les ruisseaux de pH inférieur à 5,5 passent de 37 à 66 %, que ceux qui avaient un pH compris entre 5,5 et 6,8 passent de 58 à 33 % et que ceux qui avaient un pH supérieur à 6,8 passent de 5 à 1 %**. Enfin, on constatera que si pour conserver un pH supérieur à 5,5 en période de crue, un ruisseau doit en moyenne avoir une alcalinité supérieure à 100  $\mu\text{eq/L}$ , l'hétérogénéité de la réponse à la crue fait que pour être certain de ne pas descendre à un tel pH, le cours d'eau doit avoir une alcalinité en réalité bien supérieure ( $\geq 300 \mu\text{eq/L}$ ). Cette fourchette est celle qui est généralement admise dans la littérature internationale comme représentant la "valeur cible" à atteindre dans toute mesure de restauration de la qualité des cours d'eau par chaulage.

### **Etude des peuplements de macroinvertébrés aquatiques**

Les peuplements de macroinvertébrés benthiques sont profondément affectés par les processus d'acidification des eaux de surface. **Des modifications dans la composition des peuplements interviennent très tôt, en fait dès que le pH mesuré à l'étiage descend en dessous de 6,5 (figure 4).**

**En dessous de pH = 6,0 la perte de taxons varie de 40 % à 75%. Ainsi, seuls 6 cours d'eau parmi les 41 étudiés, présentent une richesse taxonomique typique des cours d'eau de cette région. De nombreuses espèces, voire même des groupes faunistiques entiers (Mollusques, Crustacés, Ephéméroptères), disparaissent des ruisseaux acidifiés.** En fait, on assiste à une véritable « stérilisation » des ruisseaux, en terme de production d'invertébrés et de poissons. Cet appauvrissement drastique intervient dans des rivières qui par leur situation (en amont de toutes activités anthropiques), devraient au contraire servir de référence de qualité.

Ce compartiment fondamental des écosystèmes d'eau courante, s'avère plus sensible que celui des poissons. La disparition des invertébrés aquatiques est inquiétante et pose un problème majeur. En effet, une population de Salmonidés ne peut se maintenir et surtout se développer que si la nourriture, c'est à dire les invertébrés aquatiques sont nombreux en terme d'espèces et abondants. De plus, s'il est relativement aisé et envisageable de réintroduire certaines espèces de poissons, il est beaucoup plus difficile de réaliser la même opération avec des invertébrés. Le compartiment des invertébrés aquatiques revêt donc une importance capitale dans le bon fonctionnement des écosystèmes aquatiques.

La méthode de l'indice d'acidification que nous avons mise au point et affinée durant cette étude, s'avère sensible et adéquate pour mettre en évidence des problèmes d'acidification. Cette méthode peut représenter un outil très intéressant notamment lorsqu'elle est appliquée en période d'étiage, période durant laquelle, les analyses physico-chimiques ne sont pas toujours efficaces pour caractériser ces problèmes. **Une telle méthode est actuellement la seule**



Figure 3 - Exemple de variations temporelles du pH. Notez les importantes baisses de pH enregistrées à la suite des fortes pluies de novembre 1996.

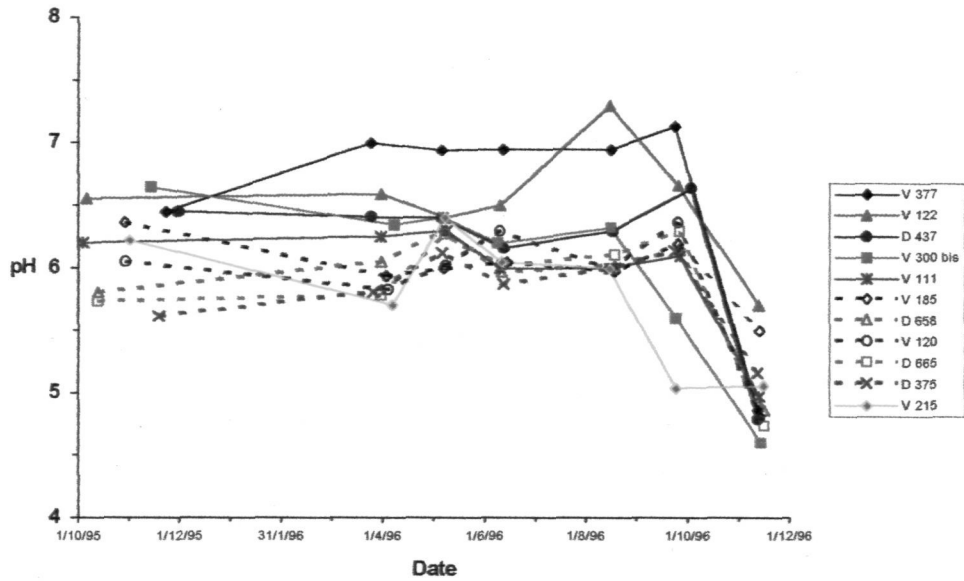
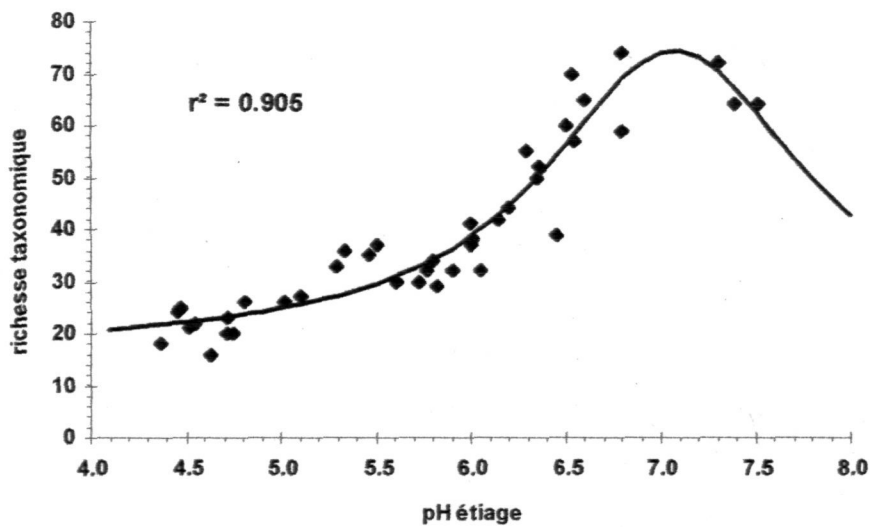


Figure 4 - Evolution du nombre d'espèces de macroinvertébrés benthiques en fonction du pH à l'étiage. La relation est hautement significative.



permettant de mettre en évidence de façon claire et précise l'impact de la qualité des eaux courantes sur les invertébrés aquatiques.

### Evaluation du linéaire de cours d'eau touché par l'acidification

Les représentations cartographiques présentées dans le rapport, permettent de situer précisément les zones sensibles du département des Vosges. Mais cette approche spatiale ne rend pas compte du linéaire de cours d'eau affecté. Or cette donnée s'avère intéressante en terme de gestion des ressources naturelles et plus particulièrement en terme de pêche de loisir ou de tourisme halieutique. En outre, une telle évaluation précise l'ampleur du problème au niveau du département des Vosges.

Seul les ruisseaux présentant une alcalinité  $< 100 \mu\text{eq L}^{-1}$  en période d'étiage, ont été considérés comme étant atteints, à des degrés divers, par des processus d'acidification. Le tableau ci-dessous donne une évaluation du linéaire de cours d'eau touché en fonction de classes d'alcalinité

	alcalinité $\mu\text{eq L}^{-1}$					total
	$< 0$	0 - 30	30 - 50	50 - 70	70 - 100	
nb cours d'eau	112	87	31	26	34	290
linéaire (km)	88	100	37	35	48	308 km

L'estimation réalisée porte à **plus de 300 kilomètres le linéaire minimum de cours d'eau touché sur l'ensemble du département des Vosges, dont près de 190 km sont très sévèrement affectés.**

120 kilomètres de ruisseaux présentent une alcalinité trop faible (de 30 à  $100 \mu\text{eq L}^{-1}$ ) par rapport à ce qu'elle devrait être ( $> 100 \mu\text{eq L}^{-1}$ ). Les cours d'eau concernés peuvent évoluer dans un sens comme dans un autre, et leur suivi à long terme s'avère nécessaire.

Toutefois il est clair que cette *première évaluation* est approximative et, malheureusement, *sous-estime* fortement l'ampleur du phénomène pour les raisons suivantes:

- bien que la prospection ait été menée avec beaucoup de rigueur, tous les cours d'eau susceptibles d'être touchés non pas été étudiés

- n'a été pris en compte dans l'évaluation, que le linéaire situé en amont des stations de prélèvements

- les cartes topographiques utilisées (IGN, 1/25 000ème) sont souvent encore trop imprécises notamment en ce qui concerne la localisation des sources, qui généralement sont situées plus haut qu'il n'apparaît sur les cartes

- seules les données physico-chimiques mesurées en période d'étiage et en particulier le pouvoir tampon (alcalinité) ont été considérées. Or nous avons vu précédemment que pendant cette période la qualité de l'eau est à son optimum. Ainsi un cours d'eau qui à l'étiage présente une alcalinité supérieure à  $100 \mu\text{eq L}^{-1}$  n'a pas été considéré comme touché par l'acidification, alors même que son alcalinité peut descendre temporairement bien en dessous de cette valeur:

## Conclusions

**A l'issue de cet étude, il apparaît clairement que, dans le département des Vosges, les cours d'eau acides ne constituent pas une exception confinée à quelques bassins versants particuliers, mais sont au contraire très répandus sur roche acide, même en période d'étiage, situation pendant laquelle les eaux de surface sont pourtant à l'optimum en ce qui concerne leur qualité chimique. En période de crue, on assiste à une très nette pejoration de la chimie des eaux courantes, et de nombreux ruisseaux dont la qualité était acceptable en situation d'étiage deviennent alors franchement acides et contiennent de fortes concentrations d'aluminium. D'autres ruisseaux conservent au contraire approximativement leur niveau de pH antérieur.**

L'acidité observée dans ces ruisseaux est bien davantage liée à la présence d'anions minéraux forts issus de la pollution atmosphérique (surtout chlorures et sulfates) qu'à l'existence d'anions acides d'origine pédogénétique (nitrates et anions organiques pour l'essentiel). **Ceci signifie que ces ruisseaux sont acides non pas à cause de l'existence de sols acides dans leur bassin versant, mais bien en raison des retombées atmosphériques acides sur des sols déjà acides et pauvres en minéraux altérables.**

**L'acidification des cours d'eau se traduit par un appauvrissement très important en organismes aquatiques. De très nombreuses espèces d'invertébrés disparaissent en raison de la toxicité des eaux, ce qui ne fait qu'hypothéquer l'avenir de la truite dans de nombreux secteurs. De plus les normes de potabilité des eaux sont souvent dépassées, ce qui en terme de gestion des ressources en eau, ne fait que souligner l'importance du phénomène d'acidification. On le voit ici, il s'agit en fait d'une dégradation intense de la qualité des eaux du réseau hydrographique devant normalement constituer le réservoir d'eau potable de la région Lorraine.**

Compte tenu des décisions internationales prises en manière de réduction des polluants atmosphériques, le présent travail nécessiterait d'être poursuivi dans le futur selon diverses modalités:

- réalisation d'un suivi à long terme des caractéristiques physico-chimiques et biologiques d'une trentaine de ruisseaux représentatifs, suivi qui serait indispensable pour savoir si une restauration spontanée des ruisseaux est possible dans le cas de cours d'eau dont l'alcalinité est actuellement à peu près nulle.

- réalisation de placettes expérimentales de restauration "forcée" par chaulage du bassin de réception des ruisseaux les plus acides. Ce type d'expérimentation qui a déjà porté ses fruits dans d'autres pays, serait très souhaitable si l'on désire évaluer la faisabilité d'une telle procédure dans les sites les plus dégradés. Dans ce contexte, la restauration d'une alcalinité (pouvoir tampon permettant aux ruisseaux de résister aux stress acides) voisine de 300 µeq/L doit être recherchée.

#### Références bibliographiques

- Bourrié G. 1976. Acquisition de la composition chimiques des eaux en climat tempéré. Application aux granites des Vosges et de la Margeride. Thèse doctotat, Université de Strasbourg. 214p
- Guérolde F., Vein D., Jacquemin G. Pierre J.F. 1992. Impact de l'acidification des cours d'eau sur les peuplements de macroinvertébrés benthiques. Essais de mise au point d'une méthode de détermination de la qualité. Rapport Agence de l'Eau Rhin-Meuse. 27p + annexes
- Guérolde F., Vein D., Jacquemin G. and Moreteau J.C., 1993 - Impact de l'acidification des ruisseaux vosgiens sur la biodiversité de la macrofaune benthique. *C. R. Acad. Sci., Paris, Sci. Vie*, 316: 1388-1392.
- Guérolde F., Vein D., Jacquemin G. and Pihan J.C. 1995. The macroinvertebrate communities of streams draining a small granitic catchment exposed to acidic precipitations (Vosges Mountains, Northeastern France). *Hydrobiologia* 300/301: 141-148
- Probst A., Massabuau J.C., Probst J.L. and Fritz B., 1990 - Acidification des eaux de surface sous l'influence des précipitations acides : rôle de la végétation and du substratum, conséquences pour les populations de truites. Le cas des ruisseaux des Vosges. *C. R. Acad. Sci., Paris*, t. 311, Série II, 405-411.
- Probst A., Massabuau J.C., Probst J.L. and Fritz B., 1990. Etat d'acidification des ruisseaux vosgiens. Rapport d'étude Agence de l'Eau Rhin-Meuse. 30p + annexes.
- Massabuau J.C., Fritz B., and Burtin B., 1987 - Mise en évidence de ruisseaux acides (pH ≤ 5) dans les Vosges. *C. R. Acad. Sci., Paris*, t 305, Série III, 121-124.
- Schoen R., Wright R.F. and Kritter M., 1983 - *Regional survey of freshwater acidification in West Germany (FRG)*. NIVA report 0-82074: 4-10.