

PROGRAMME "CHARGES CRITIQUES"

DOCUMENT



17571-92

**DETERMINATION ET CARTOGRAPHIE
DES CHARGES CRITIQUES EN POLLUANTS
ATMOSPHERIQUES DANS LES VOSGES**

Rapport scientifique

Année 1992

Jean-Paul PARTY ***, Anne PROBST *, Etienne DAMBRINE **

Présenté par

- le Centre de Recherches Forestières (CRF) de l'INRA NANCY sous la responsabilité scientifique de Etienne DAMBRINE **, Chargé de Recherche à l'INRA

- le Centre de Géochimie de la **Surface (CGS, UPR 06251 du CNRS)** de Strasbourg, sous la responsabilité scientifique de Anne PROBST *, Chargée de Recherche au CNRS

- l'Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie (ADEME)

Mars 1993

* CGS, 1 rue Blessig, 67084 STRASBOURG Cédex, Tél. 88 35 85 93 Fax 88 36 72 35

** INRA - CRF - Laboratoire Sols et Nutrition des Arbres Forestiers
54280 CHAMPENOUX Tél. 83 39 40 41, Fax 83 39 40 69

*** SOL-CONSEIL, 8 rue Faisan 67000 STRASBOURG, Tél. 88 36 25 36, Fax 88 36 67 96

PLAN	page
PLAN	1
LISTE DES FIGURES	3
1. INTRODUCTION	
11. La demande et les besoins des pouvoirs publics	4
12. Objectifs et limites du présent travail	5
2. LE MATERIEL DISPONIBLE ET LES METHODES MISES EN ŒUVRE	
21. Etat des connaissances sur les charges critiques en 1992	6
211. Les "charges critiques" : définitions	
212. Les méthodes d'évaluation actuellement utilisées	
213. Les travaux réalisés en France	
22. Méthodes d'analyses appliquées au milieu Vosgien	10
221. Les conséquences des apports atmosphériques : les sources du Donon	
* Le constat et ses conséquences	
* Orientation du choix de méthodes d'approche	
222. La disponibilité des sources d'information	14
223. La méthode de prospection mise en œuvre	17
* Recensement des bassins versants "utiles"	
* Les prélèvements réalisés sur le terrain	
* Les méthodes d'analyses géochimiques au laboratoire	
3. LES RESULTATS OBTENUS POUR 1992	
31. Les récepteurs de l'environnement : spécificités des critères retenus	24
311. Nature chimique des roches : conséquences pour les sols et la végétation	
* Hiérarchie simplifiée des géosystèmes (roches et formations superficielles)	
* Conséquences sur la pédogénèse et la végétation	
312. Les eaux de surface : caractéristiques géochimiques	30
* L'acidité des ruisseaux des Vosges	
• Le pouvoir tampon des ruisseaux	
* Les zones sensibles du massif Vosgien	
313. Typologie de sensibilité des bassins versants	38
32. Le principal agent de déstabilisation : le dépôt atmosphérique acide	43
33. Les indicateurs de la perturbation	
331. Aperçu de l'évolution de l'état des ruisseaux de 1988 à 1992	44
332. Les observations du dépérissement forestier (DEFORPA) avant 1988	48

4. LES PERSPECTIVES DE RECHERCHES	page
41. Charges critiques d'acidité du modèle Européen	50'
411. Problèmes d'adéquation au système montagneux Vosgien	
412. Les principales questions qui restent à résoudre	51
* Les sols et les arènes : connaissance du complexe d'altération, bilans quantitatifs	
* Bilan de fertilité et mesures de croissance des peuplements forestiers	
* L'extrapolation des mesures de dépôts atmosphériques	
42. Compléments de travaux nécessaires (programme 1993)	52
421. Analyse chimique et minéralogique des roches des Vosges	
422. Evolution historique des eaux de sources des Vosges	
423. Analyse détaillée de l'acidification sur bassins versants types	53
424. Calcul des charges critiques d'acidité réelles	
43. Les bases d'un suivi avec un système d'information géographique	55
5. CONCLUSION	57
REMERCIEMENTS	61
BIBLIOGRAPHIE	62
ANNEXES	68

LISTE DES FIGURES

page

CHAPITRE 2

Fig.1	Répartition des charges critiques acides potentielles en France (modèle Suédois)	7
Tab.I	Valeurs seuils de concentration dans les eaux de drainage proposées en Europe	8
Fig.2	Etendue de l'acidification des ruisseaux dans les Vosges en 1988/1989	9
Fig.3	Acidification des eaux de sources des maisons forestières du Donon	11
Fig.4	Agents, récepteurs et indicateurs de l'acidification des écosystèmes	13
Fig.5	Décompte des bassins versants des Vosges indemnes de pollution autre qu'atmosphérique à partir des cartes IGN au 1/25 000ème (série Bleue)	19

CHAPITRE 3

Tab. II	Classement acide-base des principales roches cristallines des Vosges	23
Fig.6	Carte des caractères géochimiques des roches des bassins versants répertoriés 1. Teneurs en Fe_2O_3 et $CaO + MgO$	25
Fig.7	Carte des caractères géochimiques des roches des bassins versants répertoriés 2. Rapport K/c_a , Mg et teneurs en K_2O , CaO et MgO	27
Fig.8	Teneurs des granites en fer et alcalino-terreux et évolution des sols	29
Fig.9	Carte de l'évolution pédogénétique des sols des bassins versants répertoriés 3. Types de sols probables selon Fe_2O_3 et $CaO + MgO$ des roches	31
Fig.10	Cane de la végétation des bassins versants répertoriés 4. Séries de végétation et zones d'influence du pin sylvestre et de l'épicéa	32
Tab.III	Décompte des bassins versants inventoriés par secteur géographique des Vosges selon le pH des eaux de surface mesuré sur le terrain	33
Fig.1 1	Cane de l'acidité des ruisseaux des Vosges à l'automne 1992 5. pH mesurés sur le terrain	35
Fig.12	Relation entre l'alcalinité GRAN et le pH mesurés au laboratoire pour 150 ruisseaux des Vosges	36
Fig.13	Carte de l'alcalinité de 150 ruisseaux des Vosges à risques d'acidification 6. Pouvoir tampon et relations avec quelques facteurs du milieu importants	37
Tab.IVa	Décompte des bassins versants inventoriés par famille de roches des Vosges selon le pH des eaux de surface mesuré sur le terrain	39
Tab.IVb	Décompte des 150 bassins versants échantillonnés (pH c 6,8) selon leur alcalinité	39
Tab.V	Décompte des bassins versants acides ou susceptibles d'acidification par famille de roches des Vosges selon le pH des eaux de surface	41
Tab.VI	Typologie de sensibilité des bassins versants à l'acidification	42
Fig.14	Distribution du dépérissement forestier dans les Vosges en 1987	47

CHAPITRE 4

Tab.VII	Valeurs seuils de concentration dans les eaux de drainage proposées pour les systèmes montagneux en France	50
Tab.VIII	Répartition des bassins versants types à étudier dans les Vosges	53
Tab.IX	Les bassins versants susceptibles d'être retenus dans les Vosges	53

1. INTRODUCTION

11. La demande et les besoins des pouvoirs publics

Les représentants de l'ADEME et du Ministère de l'Environnement sont directement impliqués dans les négociations internationales à propos des réductions des émissions atmosphériques polluantes et de leurs effets sur les écosystèmes terrestres ou aquatiques. Face à cela, les pays européens septentrionaux ont développé des programmes de recherches importants ces 15 dernières années permettant de mesurer les apports de polluants et leurs effets sur les écosystèmes (ECE/UN, 1991 ; Nordic Council of Ministers, 1988). Parmi ces pays, certains ont orienté leurs travaux de façon à préciser la quantité de pollution maximale admissible avant que des dégâts n'apparaissent sur les principaux écosystèmes inventoriés dans ces pays. C'est ce qu'on appelle les "charges critiques". L'objectif de cette méthode est de fournir des bases techniques et scientifiques pour négocier une réduction adéquate des émissions atmosphériques polluantes en fonction de ses effets sur l'environnement. Ces réductions sont envisagées par étapes en fixant des charges cibles qui seront périodiquement réexaminées.

En France, comme dans les autres pays d'Europe, de nombreuses recherches se sont développées de façon à étudier l'impact des polluants atmosphériques acides sur les écosystèmes forestiers (dépérissement forestier, LANDMANN, 1992) et aquatiques (PROBST et al., 1990). Par contre, les résultats concernant la détermination de valeurs limites permettant la réduction des émissions restent limités et fragmentaires. En 1992, ils permettent à peine à nos représentants au niveau européen d'argumenter une position technique et ne permettent pas de justifier les choix effectués qui reposent encore en grande partie sur des avis d'expert.

Ces institutions, en particulier l'ADEME, souhaitent donc renforcer les recherches dans le domaine des "charges critiques" afin de développer une capacité d'expertise dans le milieu scientifique français sur ce sujet à l'égal de ce qui est réalisé chez nos principaux voisins européens.

En effet, il est aujourd'hui urgent de donner des valeurs seuils de dépôts de polluants et de produire des documents de synthèse cartographique élaborés dans 2 directions :

1. pour mesurer les effets actuels des polluants atmosphériques sur les écosystèmes, leur évolution passée et à venir,
2. pour exploiter et gérer en temps réel l'information en termes de charges critiques à l'aide d'un système d'information géographique (SIG).

Le présent rapport permet de répondre en partie au 1er volet ; il présente la démarche, les premiers résultats et le calendrier de recherches nécessaire pour traiter globalement des problèmes les plus importants qu'il soulève. Enfin, il met en évidence les strates pertinentes de l'information à exploiter, leur disponibilité et leur validité spatiale.

Ce travail est d'abord effectué sur le massif des Vosges pour 3 raisons :

1. sa situation géographique qui le soumet à une pollution atmosphérique acide,
2. la multiplicité des types de substrats granitiques récepteurs a priori sensibles,
3. les résultats scientifiques présents dans tous les domaines nécessaires.

Ceci devrait être étendu à terme aux autres régions françaises après mise au point d'une méthode allégée.

12. Objectifs et limites du présent travail

Le travail présenté ici porte sur un espace connu et limité, les Vosges. A partir des informations et des travaux existants sur le massif, il a 3 objectifs simples :

1. faire l'inventaire des données existantes utilisables en termes de charges critiques acides et donner un aperçu des apports de leur exploitation,
2. acquérir des données complémentaires pour juger de l'évolution et de l'extension géographique du phénomène d'acidification (premières cartographies synthétiques de massif concernant la chimie des roches, la végétation et les eaux de surface),
3. déduire les recherches à poursuivre, proposer un programme et un calendrier pour le calcul précis des charges critiques dans les Vosges et pour l'extension au territoire français dans le cadre de l'Europe.

Ce travail sera par la suite complété et affiné par l'exploitation des milliers de données qui existent notamment en géologie et en hydrologie, mais qui demandent encore plusieurs mois de stockage et de validation. Ce travail est en cours et fera l'objet d'un 2ème rapport pour l'année 1993. De même, un travail de détail sur le terrain et en laboratoire pour la modélisation des charges critiques doit faire l'objet d'une thèse à partir de l'année 1993/1994. Il prolongera les travaux engagés en 1992. Enfin, les résultats acquis pourront constituer la base de travail pour l'élaboration d'un organigramme de base de données "charges critiques" et son exploitation infographique pour lequel une autre réflexion est en cours (DARRACQ, DUPOUEY - INRA/CRF Nancy, 1993 à paraître).

5. CONCLUSION : rappel des résultats et des perspectives

L'objectif de la méthode des "charges critiques" est de fournir des bases scientifiques pour négocier une réduction des émissions atmosphériques polluantes en fonction de ses effets sur l'environnement, En Europe, ces réductions sont envisagées par étapes en fixant des charges cibles qui seront périodiquement réexaminées. En France, les recherches ont été développées de façon à étudier l'impact des polluants atmosphériques acides sur les écosystèmes forestiers (LANDMANN, 1992) et aquatiques (PROBST et al., 1990a, b). Cependant, les résultats concernant la détermination de valeurs seuils restent limités et fragmentaires. Dans le cadre de cette négociation européenne, il est aujourd'hui urgent de donner des valeurs seuils de dépôts de polluants et de produire des documents de synthèse cartographique afin de mesurer les effets actuels, passés et à venir de la pollution atmosphérique acide sur les écosystèmes. C'est ce travail qui a débuté en 1992 dans les Vosges, Il sera étendu dans les 3 prochaines années aux autres régions françaises, puis discuté avec les résultats de pays voisins actuellement plus avancés sur ce sujet et enfin, intégré au modèle européen.

Le présent rapport correspond au 1er volet de ce programme, à savoir la synthèse des données existantes valorisables en termes de charges critiques dans le massif vosgien. Il concerne surtout les charges critiques acides et les correspondances entre phénomènes avant lieu dans les eaux de surface et dans les altérites à l'interface sol / roche.

* LE CONSTAT

La détection de ruisseaux acides dans les Vosges date de la fin des années 80. Par la suite, un inventaire partiel des ruisseaux basé sur la disparition récente de la truite sans raison apparente a permis de constater une perte de pouvoir tampon des eaux sous l'influence des apports atmosphériques acides et l'inaptitude de certaines roches et sols à neutraliser ces apports météoriques. En parallèle, l'observation des tendances dans les concentrations des eaux des sources des maisons forestières du Donon montraient toutes des baisses de pH significatives.

* LA METHODE

Dans un premier temps nous avons procédé à un recensement exhaustif des bassins versants des Vosges utiles à notre objectif de travail, soit 1 000 bassins versants, puis contrôlé l'état d'acidification des ruisseaux de tous ces bassins sur le terrain et au laboratoire (pH et alcalinité). Dans un deuxième temps, une sélection de bassins versants analysés de façon complète en 1988-1989 a été reconduite en 1992 pour juger des évolutions dans différents cas types. Dans un troisième et dernier temps, l'ensemble de ces nouvelles données a été mis en relation avec les principaux facteurs de l'environnement à savoir les roches, leurs caractéristiques géochimiques et minéralogiques, les formations superficielles, les sols et leur évolution pédogénétique probable, la végétation et le dépérissement forestier,

* LES RESULTATS

1. Une hiérarchie simplifiée des géosystèmes

Les roches ont été classées par type géologique (granites, granitoïdes, gneiss et migmatites, ...) et selon la richesse en bases susceptibles d'assurer un pouvoir tampon, afin de permettre une interprétation pédologique des résultats dans la séquence sols bruns acides à podzoliques.

De ce fait, les teneurs suivantes ont été retenues pour l'établissement des différentes classes :

- 3 seuils ont été fixés pour Fe₂O₃ : 1.3, 2.2 et 4.3 %,
- 3 autres pour CaO + MgO : 2.0, 5.0 et 10.0 %.

Ces classements ont permis l'établissement de cartes au 1/500 000ème pour les 1000 bassins versants inventoriés qui font déjà apparaître les secteurs du massif prédisposés aux risques d'acidification (Fig. 6, 7 et 9 p. 25, 27, 31).

2. L'état d'acidification des ruisseaux des Vosges (pH et alcalinité des eaux)

De l'inventaire systématique des bassins versants, il ressort que les Vosges présentent environ 7,5 % de bassins comportant des eaux de surface acidifiées (pH < 5,6) et environ 12 % à risque d'acidification potentiel (pH de 5,6 à 6,2).

Parmi ceux-ci, on constate que quelques ruisseaux en limite de neutralité en 1988 passent dans le groupe des ruisseaux acides et que certains ruisseaux déjà acides continuent de s'acidifier de façon significative. Les résultats de ces mesures de pH ont aussi fait l'objet d'une carte au 1/500 000ème (Fig.1 p. 35). Elle met en évidence une répartition spatiale bien localisée :

- 15 % des bassins des Vosges gréseuses,
- 24 % des bassins inventoriés sur le versant Lorrain du socle,
- 2 % des bassins inventoriés sur le versant Alsacien du socle.

Ce classement selon le pH a été associé à une évaluation du pouvoir tampon car il peut y avoir perte d'alcalinité sans pour autant baisse de pH. Nous avons donc mesuré l'alcalinité sur 150 échantillons prélevés lorsque le contrôle du pH sur le terrain montrait une valeur inférieure à 6,6. La courbe de t.itration "grandeur nature" obtenue (Fig.12 p. 36) montre bien la meilleure fiabilité de la mesure de l'alcalinité et surtout que selon le pouvoir tampon du système, on peut déjà observer une perte d'alcalinité sans que le pH soit modifié. Ce constat conduit à une nouvelle cartographie qui met en évidence les bassins versants à risque d'acidification potentiel et la relation de cette acidification avec les principaux facteurs du milieu (Fig.13 p. 37).

3. Les zones sensibles du massif Vosgien

Dans les Vosges du Nord, les secteurs sensibles correspondent aux terrains gréseux les plus acides, caractère souvent renforcé par une végétation à base de pin sylvestre et de callune.

Sur le versant Lorrain des Vosges du socle, au Nord Ouest du massif, on retrouve des terrains gréseux analogues aux précédents, dans la vallée de la Plaine, à St Dié ou vers Epinal. Les bassins à risques les plus accentués se situent sur les terrains granitiques acides que recouvrent pour l'essentiel des formations glaciaires appelés "crassins", vers Remiremont, Gérardmer et La Bresse, dans les zones forestières à épicéa pur.

Sur le versant alsacien des Vosges du socle, les rares bassins touchés sont abrités des vents ayant amené des saupoudrages de loess jusqu'à l'amont des vallées alsaciennes, ce qui modifie le fonctionnement géochimique des versants. Toutefois, certains secteurs des vallées de la Bruche ou de la Fecht présentent tous les facteurs qui pourraient conduire à une acidification rapide des écosystèmes. Ainsi, la mise en correspondance simultanée des facteurs géologiques, géomorphologiques et forestiers à la carte d'acidification potentielle des eaux de surface montre bien les relations spatiales entre les 3 ensembles (eaux, végétation, type de roche et de sol). De plus, ces zones sont la plupart du temps associées aux zones de dommage important du dépérissement forestier (Fig. 14 p. 47).

4. Une typologie de sensibilité des bassins versants

Sur la base du pH de terrain comme de l'alcalinité des eaux, les bassins versants à risque potentiel d'acidification concernent pour 95 % d'entre eux 2 ensembles :

- les bassins versants comportant des grès vosgiens ou d'autres grès pour 70 à 75 %,
- les bassins versants comportant des granites acides pour 20 à 25 % d'entre eux.

Dans les grès, sur un total de plus 300 bassins versants, 1 sur 3 environ présente des risques d'acidification. Pour les granites acides, sur plus de 100 bassins répertoriés, 1 sur 4 présente des risques d'acidification. Ceux-ci sont souvent liés aussi à une végétation acidifiante (séries du pin sylvestre ou de l'épicéa pur).

Dans l'ordre des risques d'acidification les plus importants, les granites acides touchés sont les suivants :

- les granites fondamental et associés, granite d'Epinal ou de Remiremont,
- les granites du Bramont et de Ventron ,
- les granites du Valtin et du Brézouard,
- les granites du Kagenfels, de la Roche des Fées et de Dambach,
- les granites des crêtes et du Tholy, le plus souvent associés à des formations superficielles périglaciaires.

Il faut y ajouter,

- les migmatites de Kaysersberg et de Gerbépal, et exceptionnellement les gneiss du Val d'Ajol

* LES PERSPECTIVES

1. Les questions qui restent posées, les incertitudes à lever à moyen terme

Le calcul des charges critiques d'acidité du modèle Européen se révèle en partie inadapté aux systèmes montagneux. En particulier, les niveaux critiques retenus sont trop forts pour la France ; nous proposons de les ramener aux valeurs suivantes :

Composé	Sols	Eaux de surface
Al ³⁺ (meq/l)	?	< 0,005
Al/Ca	1,2	
pH	4,5	5,6
Alk (meq/l)	?	0,03

Par ailleurs, pour ce calcul, il faut acquérir des données originales encore rares : bilan d'altération des roches, valeurs des dépôts atmosphériques, bilan de fertilité vis-à-vis de la végétation et données historiques fiables vis-à-vis de l'évolution des sols et des eaux.

Dans ce sens les eaux de sources analysées depuis 1972 par les DDASS, la banque d'analyses géochimiques du CRPG de Nancy constituée dans les années 60 et les données de l'Inventaire Forestier National depuis la même époque seront exploitées. La typologie des bassins versants pourra alors être nettement améliorée en utilisant des analyses factorielles appropriées.

Les mesures de dépôts atmosphériques quant à elles ont donné des résultats importants sur 4 années (1989-1993). Elles ont permis de mieux connaître les apports météoriques aux écosystèmes vosgiens. Ces données sont d'autant plus précieuses que le réseau installé doit être arrêté en Juin 1993 faute de crédits. Si une solution n'est pas trouvée rapidement, ceci empêchera à l'avenir toute validation statistique et climatologique des données puisqu'il faut pour cela des séries de 10 à 20 ans au moins.

2. Etude de cas. Surveillance et contrôle des évolutions géochimiques

Toutes ces données devront être validées sur bassins versants types. Compte tenu de la typologie élaborée, un choix de 20 à 30 bassins versants est déjà fait. Les bassins versants reconnus et suivis antérieurement ou situés au plus près des stations d'analyse du dépôt atmosphérique ont été retenus en priorité.

Quelques-uns d'entre eux (au maximum 10) seront étudiés dans le détail sur la base d'expériences antérieures (Strengbach, Ringelbach, Rougerupt), après mise au point d'une méthodologie plus allégée. Cet ensemble pourrait constituer la base d'un réseau fixe léger d'observation des évolutions de quelques paramètres rapidement extrapolables à l'ensemble des Vosges. Il pourrait être associé à un réseau de surveillance plus étendu, soit les 150 bassins versants prélevés en 1992 pour des mesures périodiques de pH et d'alcalinité (tous les 4 ans par exemple).

3. Suivi à l'aide d'un SIG. Poursuite des travaux en France

Toute l'information répertoriée pour l'ensemble du travail de 1992 a fait l'objet d'un stockage systématique dans un gestionnaire de fichier informatique. Ces données concernent le dépouillement des cartes géologiques, la prospection des eaux de surface des 1 000 bassins versants des Vosges et leurs caractéristiques environnementales. Elles sont associées à l'atlas des cartes correspondantes. Cet ensemble sera complété par les fichiers plus élaborés concernant les analyses de roches, d'eaux de sources et de ruisseaux et les statistiques forestières,

Le transfert sous système d'information géographique (SIG ARC/INFO) est en cours.

Ce stockage exhaustif permettra de tester la banque de données minimale à acquérir pour les autres systèmes montagneux français dont les données sont souvent moins nombreuses que pour les Vosges. En effet, pour une extrapolation à la France, les secteurs géographiques sensibles (montagnes par exemple) seront les premiers endroits à investir car ce sont les principaux refuges des sites amont du cycle de l'eau où l'on peut détecter l'impact direct de la pollution atmosphérique sur les milieux terrestres et aquatiques.