

Les Charges Critiques de pollution : un outil de référence pour raisonner la réduction des émissions

Anne Probst¹, David Moncoulon¹
Jean-Paul Party², Laurence Galsomiès³

¹ Laboratoire des Mécanismes et Transferts en Géologie
UMR 5563 CNRS/UPS/IRD Toulouse

² Sol Conseil, 67000 Strasbourg

³ ADEME Département AIR

L'impact de la pollution atmosphérique en Europe

Les « pluies acides » dans le « Triangle noir » en Europe centrale
Allemagne – Pologne – République Tchèque



20 ans après le pic d'émissions

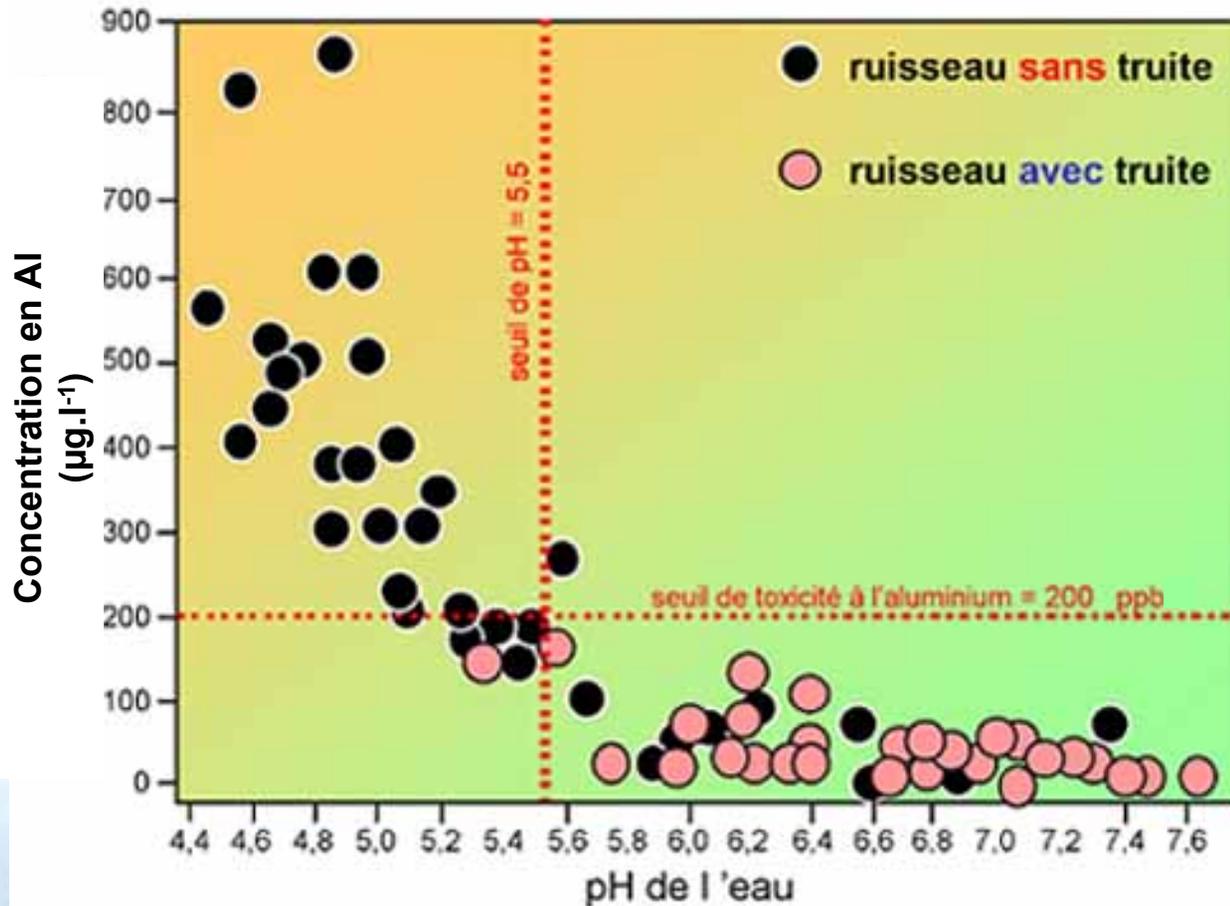


Photo Giant Mountains (République Tchèque) **juin 2005**

L'impact de la pollution atmosphérique en France

Acidification des eaux de surface dans les Vosges

L'aluminium est toxique pour les truites



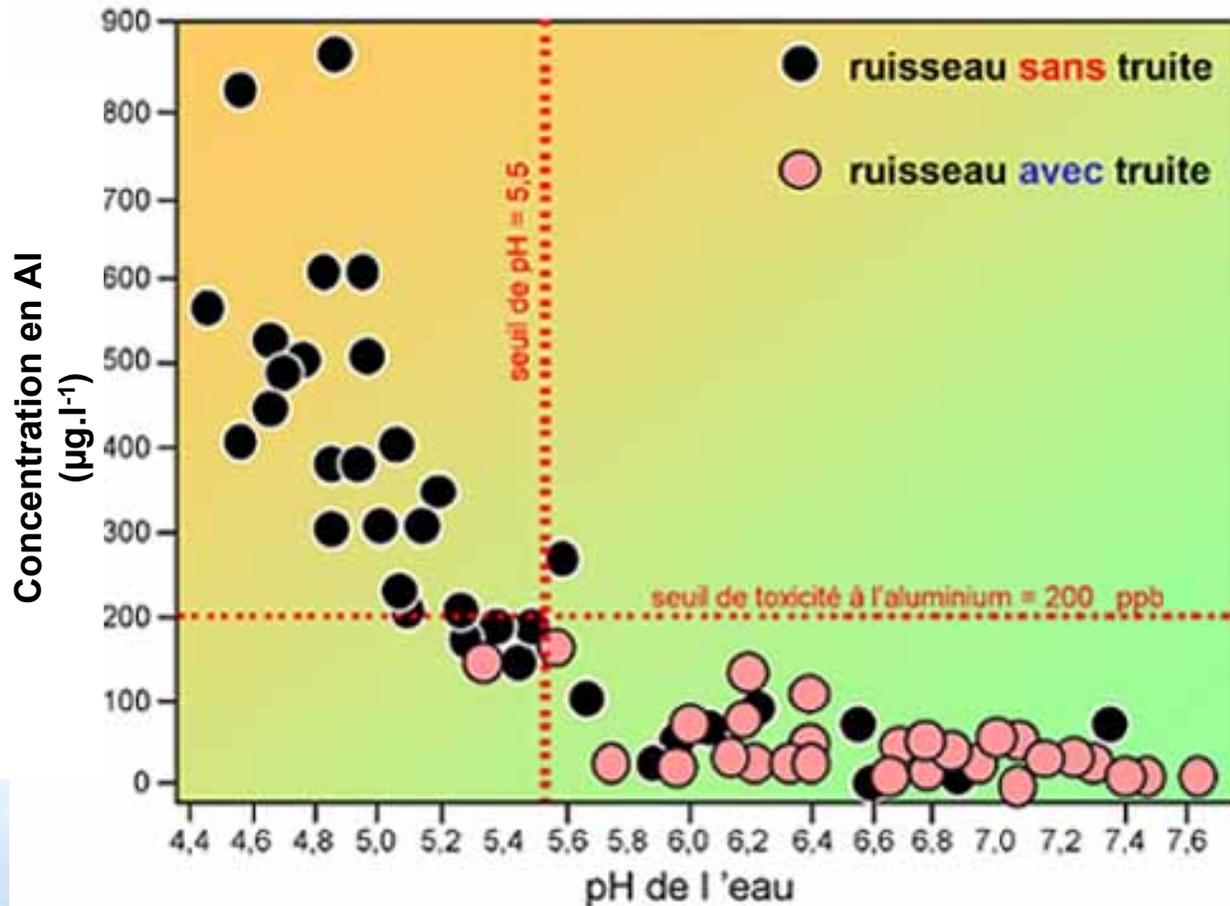
Source : Probst et al. (1990)

**Seuil
d'écotoxicité**
pH=5,5 ou
[Al]=200 ppb
pour les truites
dans l'eau des
ruisseaux

L'impact de la pollution atmosphérique en France

Acidification des eaux de surface dans les Vosges

L'aluminium est toxique pour les truites



Source : Probst et al. (1990)

Quel **dépôt**
atmosphérique
acidifiant
maximal est
tolérable pour
ne pas
dépasser ces
seuils ?

Pollution transfrontalière : illustration

Valeurs pour l'année **2000** (source : **UNECE-ECE, 2003**)

Polluant	Total des émissions en France 	Principaux pays récepteurs	Total des dépôts en France 	Principaux pays émetteurs
Soufre	329 600 T Dont 33% se déposent en France	Allemagne, Russie, Belgique, Italie	316 300 T Dont 34% proviennent de France	Espagne, UK, Etats-Unis, Canada

D'où l'intérêt d'un programme international !

Définition d'une charge critique

Nilsson et Grennfelt, 1986

"Valeur d'exposition à un ou plusieurs polluants en dessous de laquelle des effets significatifs indésirables portant sur des éléments sensibles de l'environnement n'apparaissent pas..."

En l'état actuel des connaissances...

Organisation en France

Le « National Focal Centre » en France

Programme coordonné par l'ADEME depuis 1992

→ **INRA Nancy et CNRS Strasbourg puis Toulouse**

- ➔ **Centralisation et production des données scientifiques,**
- ➔ **Apports méthodologiques,**
- ➔ **Modélisation et cartographie des charges critiques pour la France,**
- ➔ **Interface avec le Centre Coordinateur Européen (CCE)**

Méthodologie

Définition d'un milieu récepteur au sein de l'écosystème (sol, eaux de surface)

Choix d'un indicateur biologique cible

Concentration critique en polluant

Transferts physico-chimiques dans le milieu récepteur

MODELISATION
ETAT STATIONNAIRE

**CHARGE
CRITIQUE**
quantité maximale
admissible de dépôt du
polluant

Calcul des charges critiques

Méthode de calcul : balance des masses à l'état d'équilibre

- pour le soufre et azote acidifiants :

$$CL_{\max}(S+N) = \underbrace{BC_w}_{\text{Altération}} + \underbrace{BC_{\text{dep}}}_{\text{Dépôt}} - \underbrace{BC_{\text{upt}}}_{\text{végétation}} + Q \left(\underbrace{[AI]_{\text{crit}}}_{\text{Lessivage critique}} + \underbrace{[H]_{\text{crit}}}_{\text{Lessivage critique}} \right) + N_i + N_u$$

- pour l'azote eutrophisant

$$CL_{\text{nut}}(N) = \underbrace{N_i}_{\text{Azote immobilisé}} + \underbrace{N_u}_{\text{végétation}} + \underbrace{N_{\text{le(crit)}}}_{\text{Lessivage critique}} + \underbrace{N_{\text{de}}}_{\text{dénitrification}}$$

- pour les métaux :

$$CL(\text{Pb}) = \underbrace{Pb_u}_{\text{végétation}} + \underbrace{Pb_{\text{le(crit)}}}_{\text{Lessivage critique}}$$

Intégrer ces paramètres à l'échelle de la France, puis de l'Europe !

Source : Mapping Manual 2004, ICP Mapping, UN - ECE

Méthodologie

Définition d'un milieu récepteur au sein de l'écosystème (sol, eaux de surface)

Choix d'un indicateur biologique cible

Concentration critique en polluant

Transferts physico-chimiques dans le milieu récepteur

MODELISATION
DYNAMIQUE

MODELISATION
ETAT STATIONNAIRE

CHARGE CIBLE

Charge critique intégrant un délai de restauration

CHARGE CRITIQUE

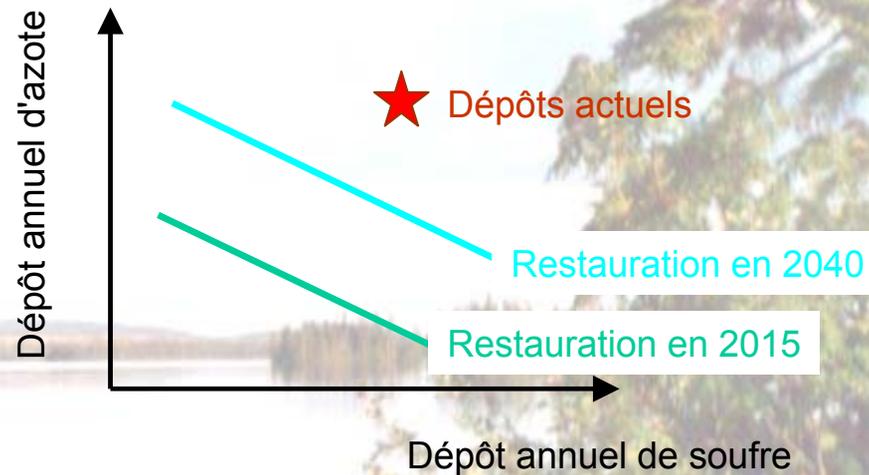
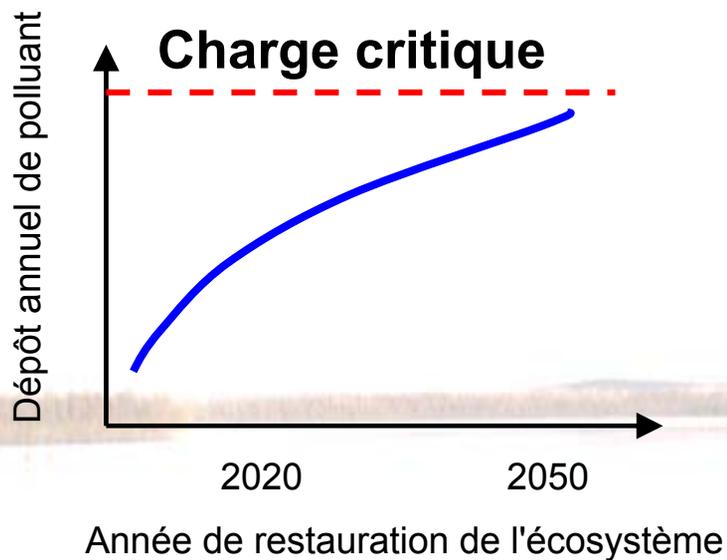
quantité maximale admissible de dépôt du polluant

Dépôts de polluants sur le récepteur étudié

Réduction des Émissions

Excès ?

Etablissement des charges cibles



Classification des écosystèmes

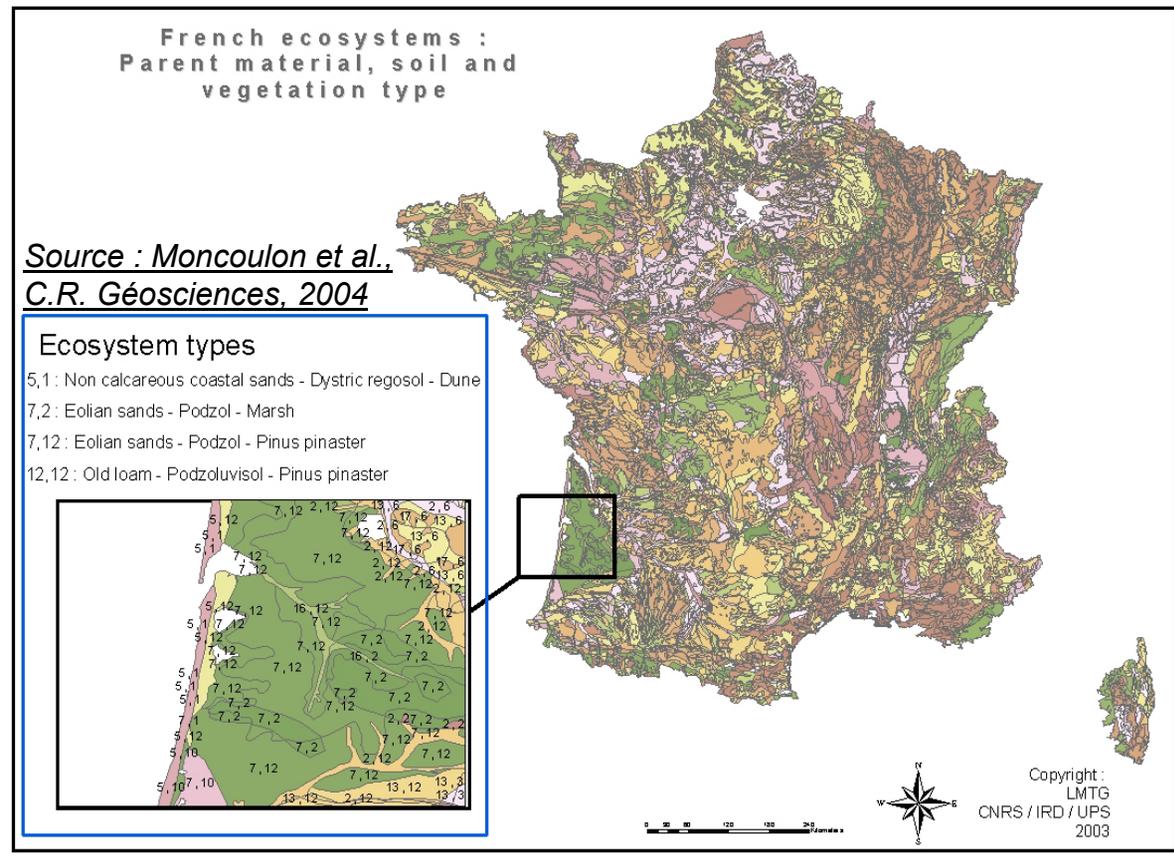
Un écosystème =

1 type de matériau parental x 1 type de sol x 1 type de végétation

En 1999 : 31 types

Mise à jour :
depuis 2003,
281 types
d'écosystèmes

Source : Moncoulon et al.,
C.R. Géosciences, 2004



Base de données Charges Critiques

1 533 612 Données dans 11 tables (sauf SIG...)!!

Données pédologiques

102 placettes du réseau RENECOFOR (ONF)

600 placettes du réseau CEE (DSF)

Données de dépôts atmosphériques

Réseau RENECOFOR (27 sites CATAENAT - ONF)

Réseau EMEP– MERA en France (Ecole de Mines)

Données de description de la végétation

Inventaire Forestier National (productivités)

Corine Land Cover (végétation actuelle)

Données hydrologiques et climatiques

Météo France (précipitations, températures)

BRGM (pluies efficaces)

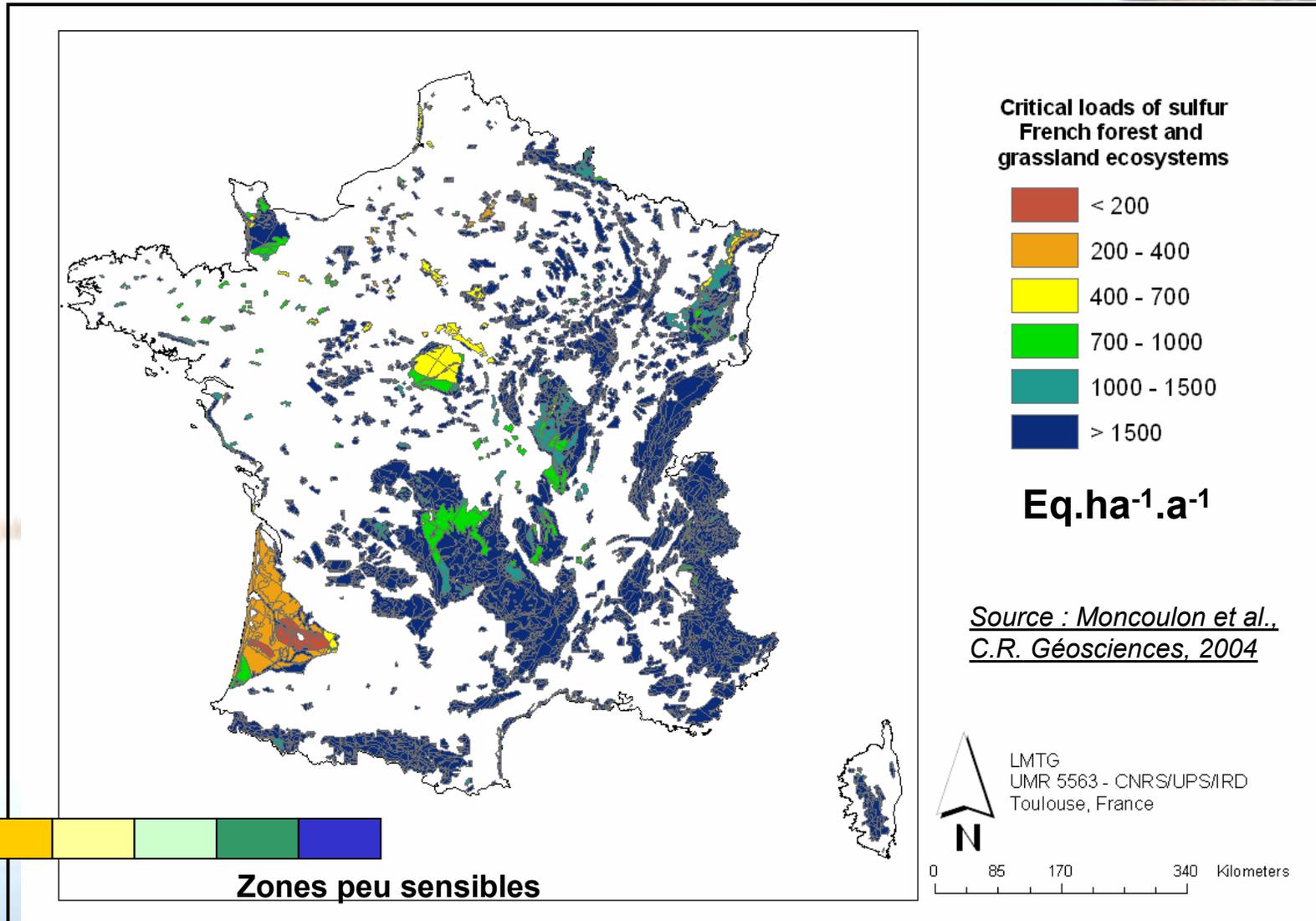
Données géochimiques et de minéralogie

CNRS / INRA : suivi de petits bassins versants

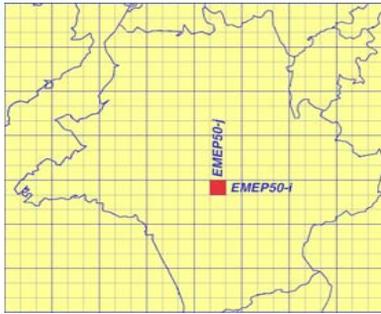
Synthèses bibliographiques

Charges critiques d'acidité

Le soufre sur les écosystèmes forestiers

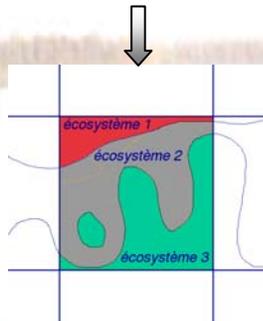
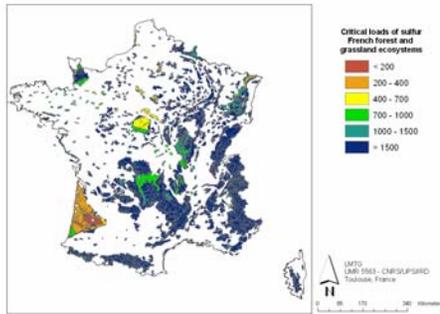
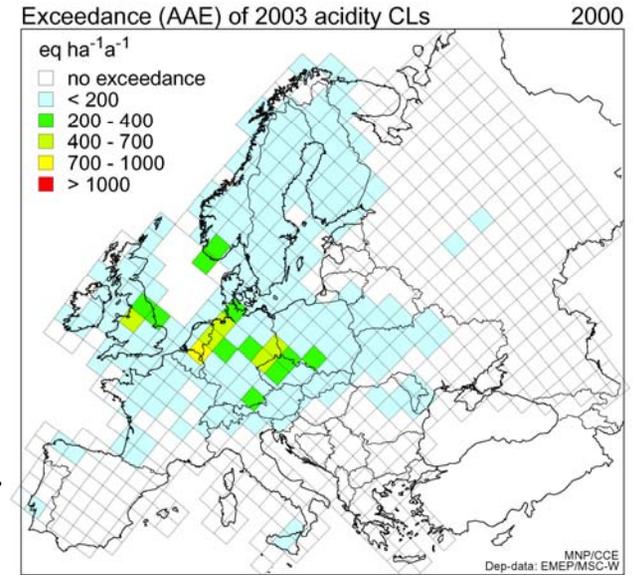


Charges critiques de dépôts atmosphériques

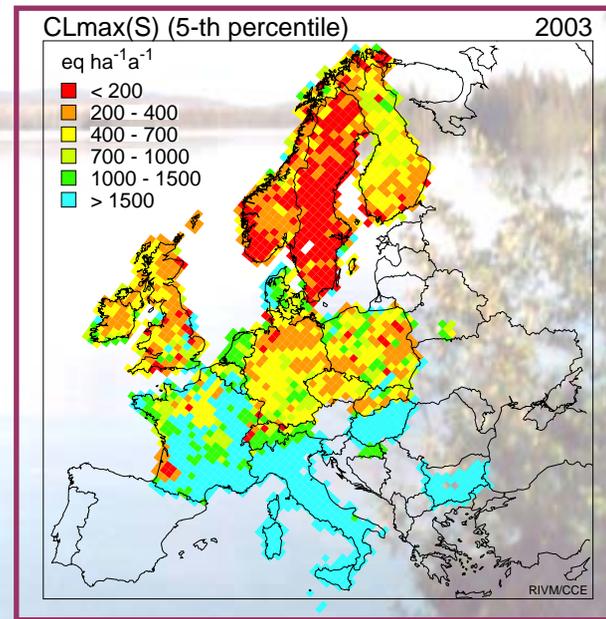


Dépassements Dépôts EMEP

Source : Posch, Hettelingh,
Slootweg, Downing (eds), 2003



Calcul de la charge critique médiane
ou 5^{ème} percentile sur la base des
écosystèmes présents dans 1 carré
EMEP



Carte de
charges
critiques en
souffre

Modélisation dynamique de la réaction des écosystèmes

Les dépôts acidifiants de soufre ont diminué.

Les questions qui se posent sont :

- quels sont les mécanismes de restauration ?**
- quel délai pour la restauration du sol ?**

Choix de sites contrastés

Site 1 Grès Vosgiens
Station **RENECOFOR SP57**

Sables de Fontainebleau

Site 2 Sables des Landes
Station **RENECOFOR PM40c**

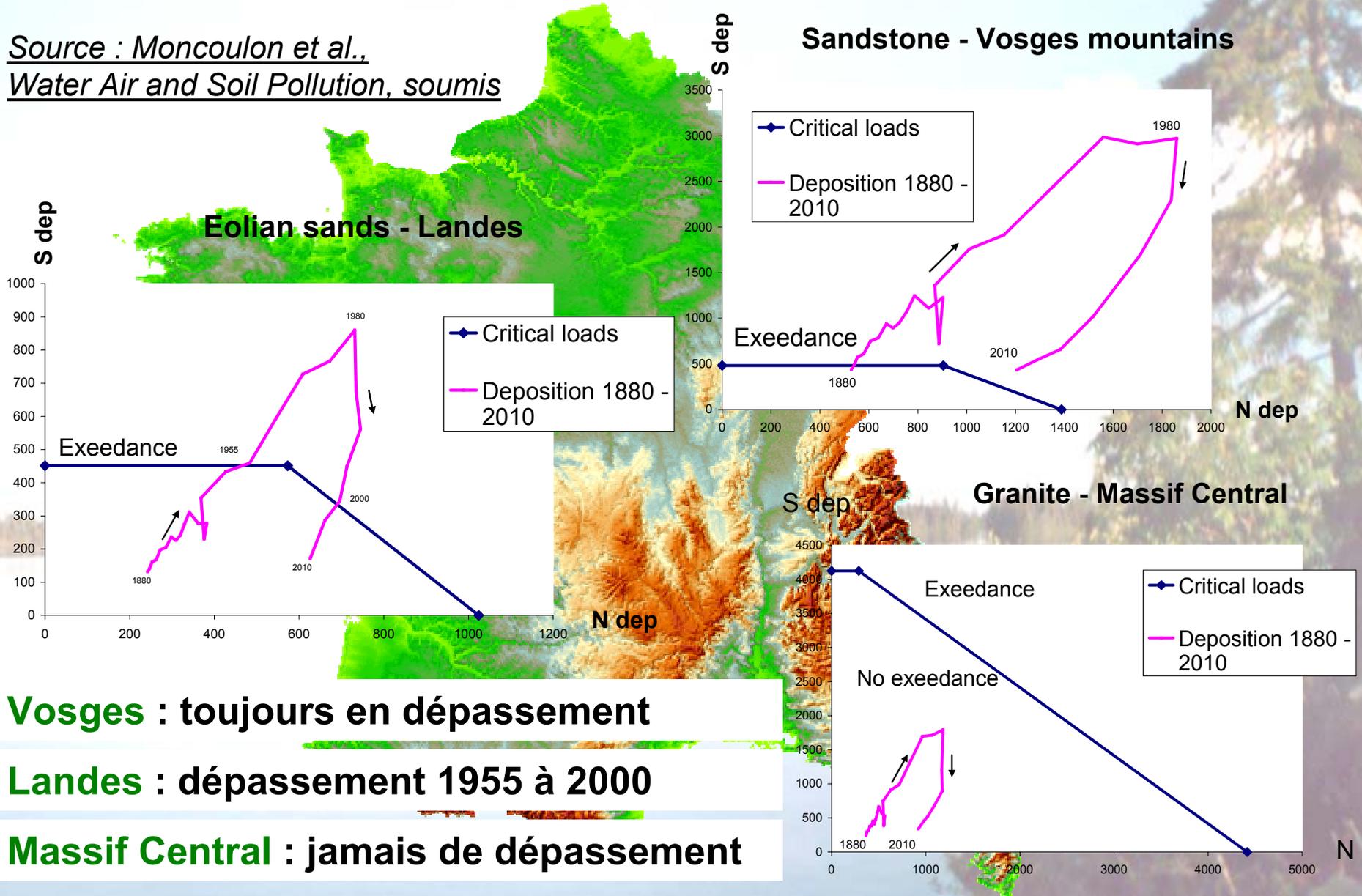
Basaltes du Massif Central

Site 3 Granites Massif Central
Station **RENECOFOR HET30**

Source : Moncoulon et al.,
Water Air and Soil Pollution, soumis

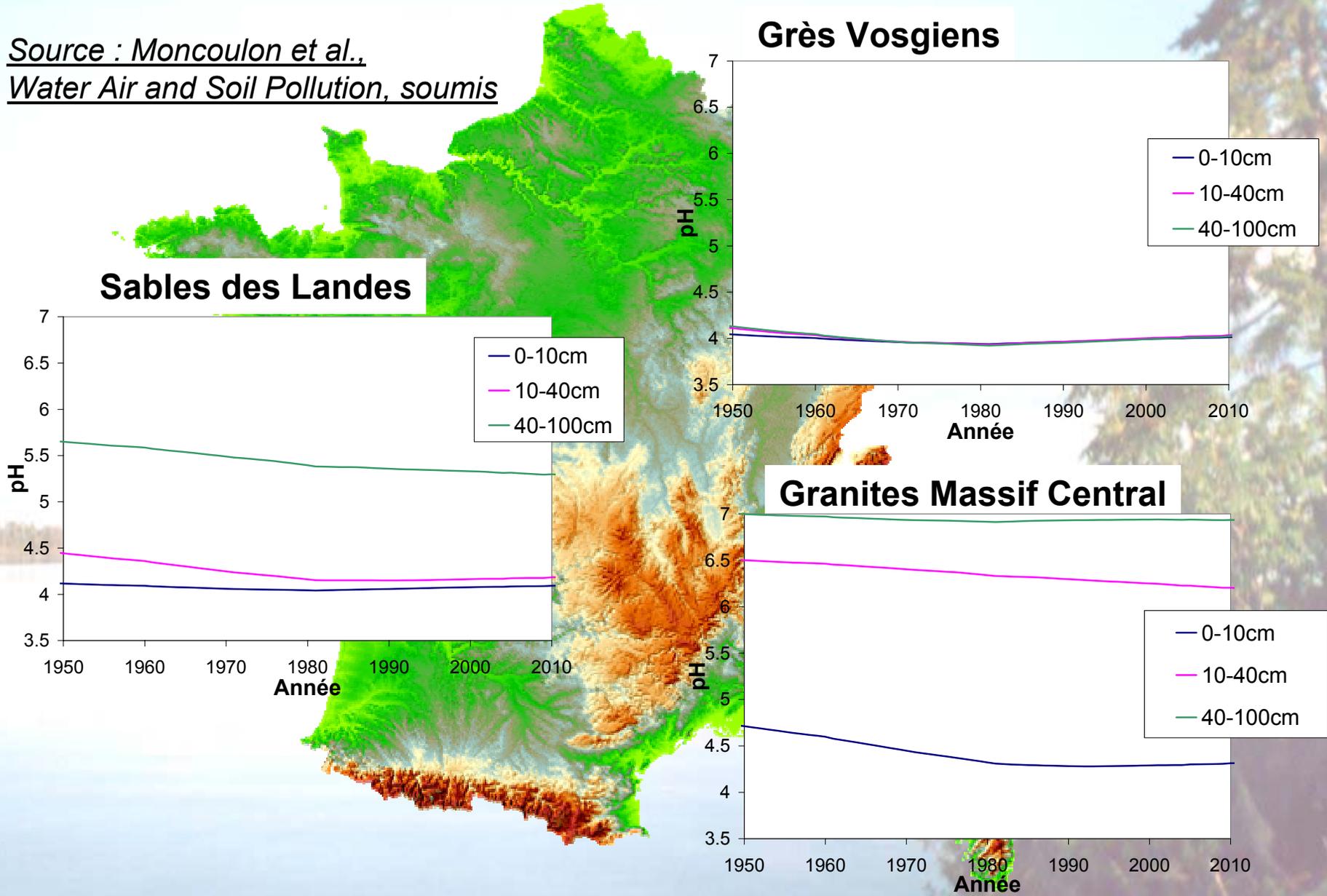
Comparaison charges critiques / dépôts EMEP

Source : Moncoulon et al.,
Water Air and Soil Pollution, soumis



Modélisation du pH des sols

Source : Moncoulon et al.,
Water Air and Soil Pollution, soumis



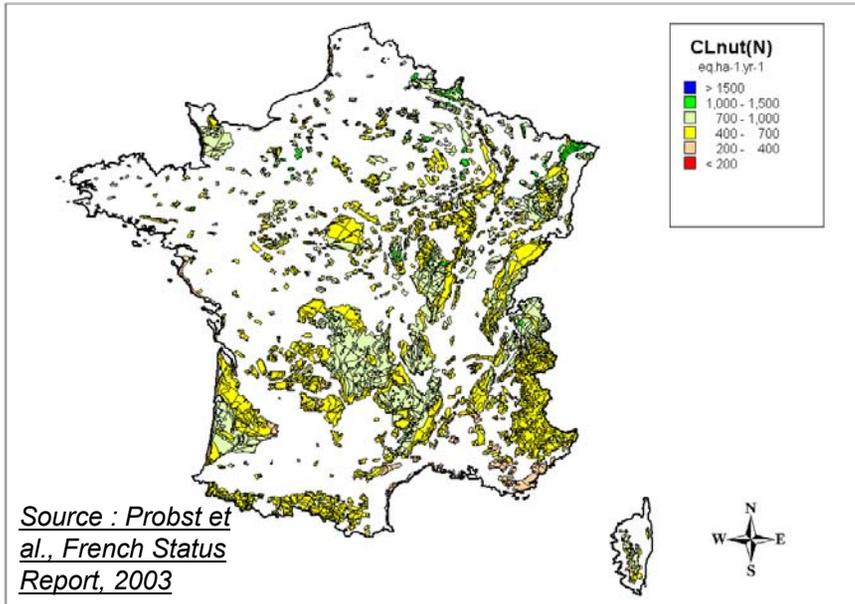
Modélisation dynamique

- **Sur certains sites, le protocole de Gothenburg ne suffira pas pour assurer une restauration : par exemple les grès Vosgiens**
- **Sur les sites les plus sensibles, le pH ne restaure qu'à l'échelle décennale : exemple les Landes**
- **D'une façon générale, l'acidification est retardée dans les couches profondes en fonction des paramètres pédologiques : CEC, matière organique, fonctionnement hydrique du sol, altération**

Source : Moncoulon et al., Water Air and Soil Pollution, soumis

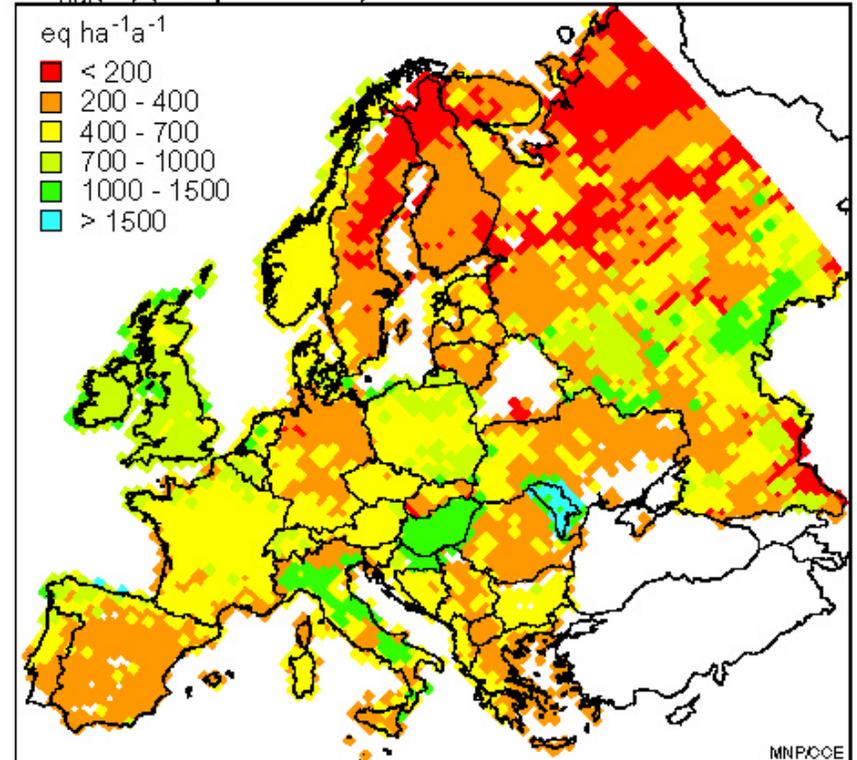
Charges critiques d'eutrophisation

L'azote eutrophisant sur les écosystèmes forestiers

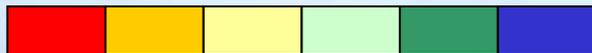


Source : Posch, Hettelingh, Slootweg, Downing (eds), 2003

CLnut(N) (5th percentile)



L'Europe, globalement sensible



Zones sensibles

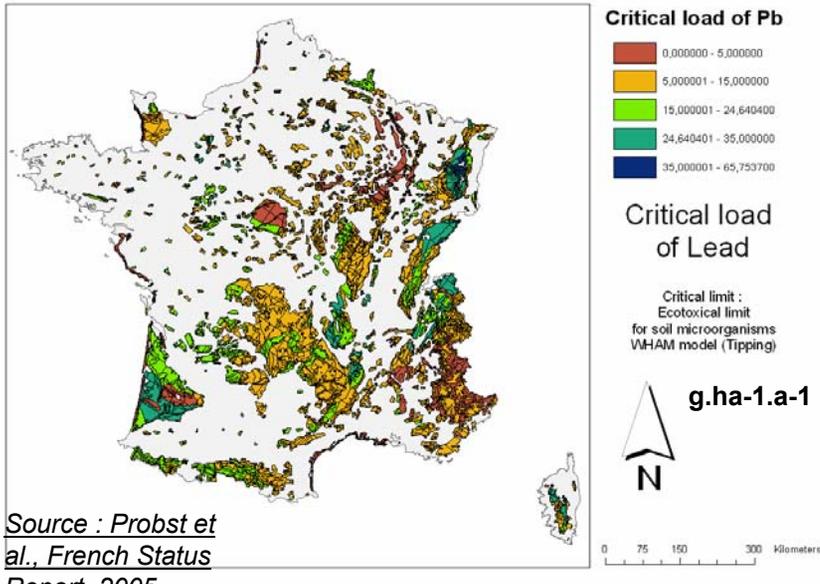
Zones peu sensibles

13 décembre 2005

Journées ECOFOR : « pluies acides, 20 ans après »

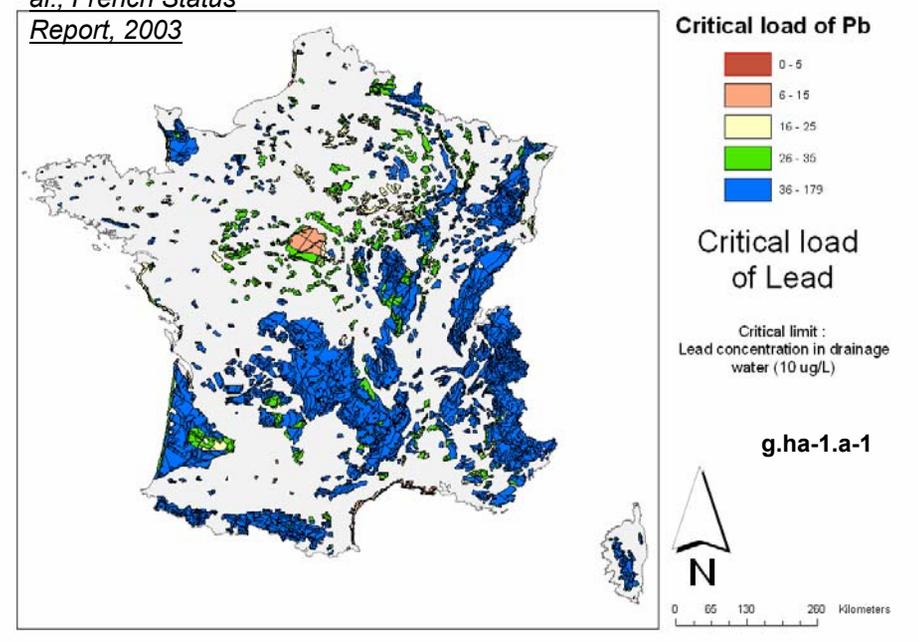
Charges critiques en métaux

Dépôt critique stationnaire de plomb sur les écosystèmes forestiers

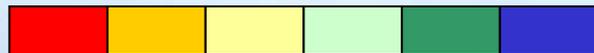


**Pour protéger les micro-organismes
Du sol**

Source : Probst et al., French Status Report, 2003



**Pour ne pas dépasser la
concentration critique dans l'eau
potable**



Zones sensibles

Zones peu sensibles

13 décembre 2005

Journées ECOFOR : « pluies acides, 20 ans après »

Conclusions

- Importance du concept de charges critiques comme outil d'aide à la décision pour la réduction des émissions ;
- Après avoir été controversé, certains pays adoptent ce concept : Canada, Etats-Unis!, la Chine, etc.;
- Résultats de Recherche indispensables à l'évolution des concepts et à l'évolution des bases de données ;
- Importance de l'action concertée au niveau européen, des A-R entre comités d'experts, CCE et NFCs etc...;
- Les réductions de dépôts de soufre sont satisfaisantes mais les dégâts faits sur certains écosystèmes vont durer des décennies : quel rôle des changements climatiques?

Perspectives

- Pour l'azote eutrophisant et ses effets : beaucoup de travail reste à fournir. Prise en compte de critères phytoécologiques pour seuils critiques. Nécessité de combiner les critères.
- Progrès à faire pour les écosystèmes « méditerranéens »,
- Pour les métaux (Pb et Cd) : résultats encourageants pour les écosystèmes forestiers, mais pas encore agricoles
- Prise en compte de charges critiques couplées pour les sols et les eaux
- Soutien nécessaire aux suivis d'observations sur sites : support essentiel pour alimenter et valider des modèles
- Soutien à l'obtention des données de recherche : ex métaux solution de sols- élaboration de fonctions de transfert

Références bibliographiques

- ✿ Nilsson J. and Grennfelt P.: 1988, 'Critical loads for nitrogen and sulphur', Miljorapport 11, Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
- ✿ Probst A., Massabuau J.C., Probst J.L., Fritz B. : 1990, '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'. C.R. Acad. Sci. Paris. 311, 405-411.
- ✿ Posch M., Hettelingh J.P., Slootweg J., Downing R.J. (eds), Modelling and Mapping of Critical Treshold in Europe, Status Report 2003, Coordination Center for Effects, RIVM, Bilthoven, 73-80.
- ✿ Probst A., Moncoulon D., Godderis Y., Party J.P. (2003) : French National Focal Center report in Posch M., Hettelingh J.P., Slootweg J., Downing R.J. (eds), Modelling and Mapping of Critical Treshold in Europe, Status Report 2003, Coordination Center for Effects, RIVM, Bilthoven, 73-80.
- ✿ Sliggers J. and Kakebeeke W. (eds) : Clearing the air, 25 years of the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. United Nations, New-York and Geneva 2004
- ✿ Moncoulon D., Probst A., Party J.P., 2004: Critical loads of acidity : importance of weathering, atmospheric deposition and vegetation uptake for ecosystem sensitivity determination. C.R. Geoscience 336. 1417-1426.
- ✿ Uba: 2004, 'Manual on methodologies and criteria for Modelling and Mapping Critical Loads and Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends', UN-ECE Convention on Long Range Transboundary Air Pollution, Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt), Berlin.
- ✿ Moncoulon D., Probst A. and Martinson L., soumis : Modeling acidification recovery on threatened ecosystems : application to the evaluation of the Gothenburg protocol in France. Water, Air and Soil Solution