

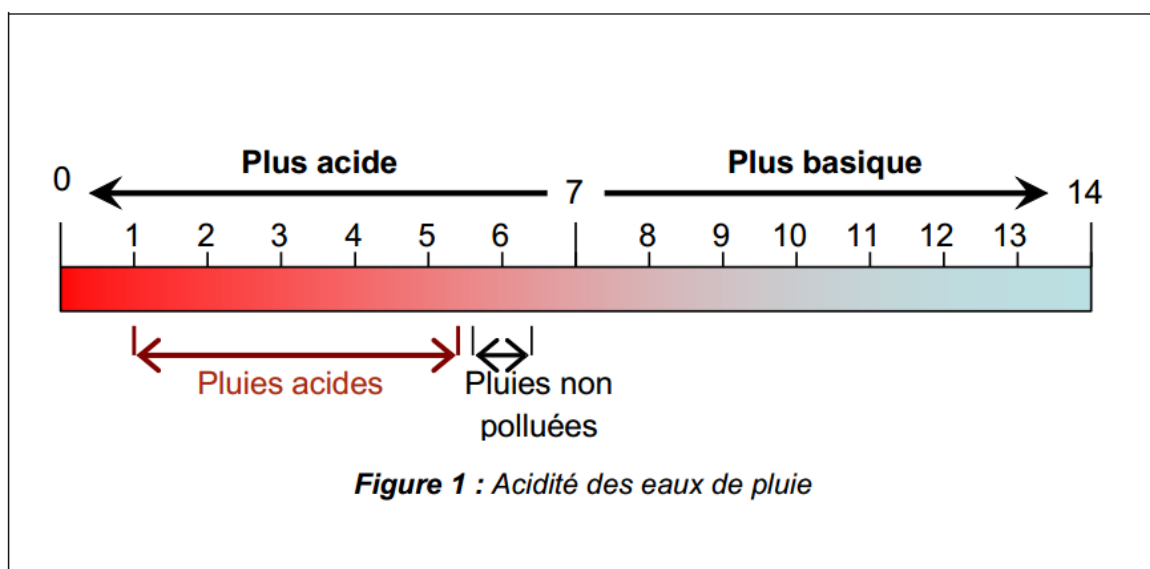
TD 2. Dépôt acide (Effets)

I. Les pluies acides

Le dépôt sec traduit l'absorption des polluants au niveau de la surface soit sur les sols où ils sont assimilés par le milieu et transformés par réactions chimiques ou bactériennes, soit au niveau des cuticules puis des tissus cellulaires des plantes ou ils peuvent, dans certain cas, causer des dommages directs (nécroses des feuilles) ou indirect (perte rendement des cultures). Les principaux polluants atmosphériques ont des affinités variables pour les différents milieux où ils sont susceptibles de se déposer. Leur dépôt se quantifie à partir de la valeur de leur concentration près de la surface et d'une vitesse de dépôt calculée par des mesures spécifiques pour chaque type de surface. Le dépôt humide fait référence aux processus naturels qui font que les hydrométéores (eau nuageuse ou de brouillard, gouttes de pluie, neige) permettent d'éliminer des composés en trace de l'atmosphère. Parmi ces processus, il y a principalement les précipitations avec la distinction faite entre le lessivage sous le nuage lors de la chute de la pluie et le lessivage dans le nuage. Il y a trois étapes préalables pour que ces processus soient observés. D'abord, il faut que l'espèce considérée (gaz ou particule) soit mise en contact avec de l'eau condensée au sein du nuage. Il faut ensuite que les hydrométéores éliminent cette espèce de l'atmosphère (dissolution), et qu'ensuite l'hydrométéore précipite pour éliminer définitivement l'espèce de l'atmosphère. Le composé peut subir des réactions chimiques au cours de chacune de ces trois étapes. Une des manifestations les plus étudiées du dépôt humide est le dépôt de composés acides, c'est ce que l'on appelle les pluies acides. L'atmosphère est un puissant milieu oxydant; SO₂ et NO_x sont oxydés en sulfates et nitrates dans des processus à la fois en phase gazeuse et

aqueuse. Des acides organiques peuvent aussi être produits dans les réactions d'oxydation d'hydrocarbures émis à la surface. En résultat de ces réactions, on trouve dans l'atmosphère des acides dans la phase gazeuse (sulfurique, nitrique, chlorhydrique, acides organiques), sous forme de particules (sulfates, nitrates, chlorures) et dans la phase aqueuse. Le dépôt acide pourra donc se faire à travers les processus de dépôt sec de vapeur de gaz et de particules acides, de brouillard et de pluies acides. C'est ce dernier terme qui est particulièrement intéressant dans l'étude du dépôt acide.

Une goutte de pluie a un pH "naturel" de 5.6 en raison de la dissolution du CO₂ en carbonates et bicarbonates dans l'eau. Cette acidité naturelle est renforcée par les acides nitriques, sulfuriques et organiques dans les zones où les concentrations en SO₂, NO_x et hydrocarbures sont au-dessus de leur concentration de "fond". L'acidification des précipitations peut conduire à des valeurs de pH inférieur à 4 (Figure 1) ; pour contrôler les effets des dépôts acides le concept de charge critique a été développé.



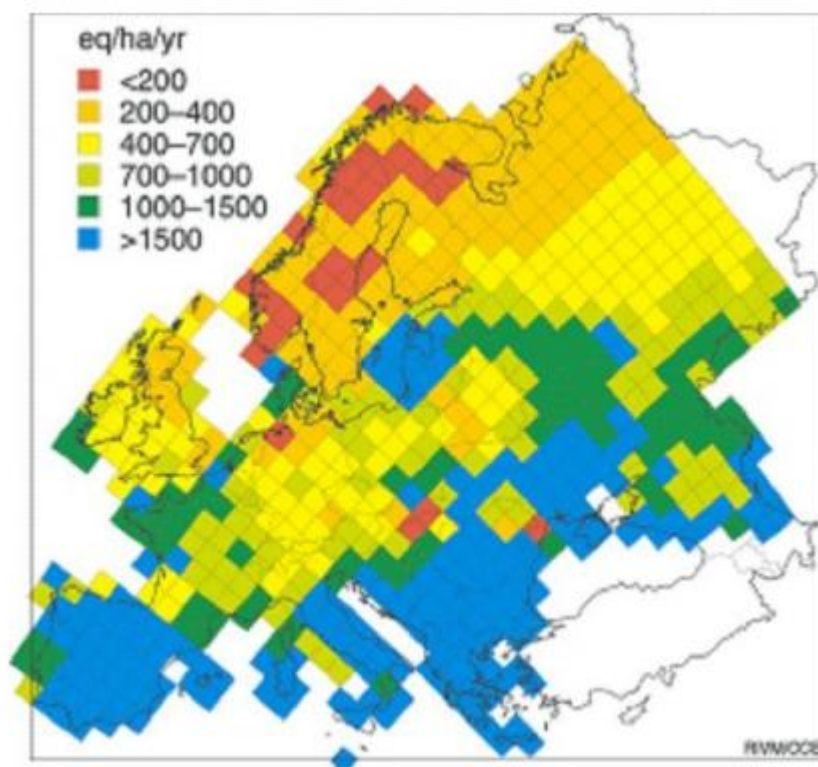


Figure 2: Les charges critiques en Europe pour les dépôts acides. Cette carte reflète la vulnérabilité des écosystèmes aquatiques et forestiers vis-à-vis des dépôts acides sous forme de composés du soufre et de l'azote (exprimés en équivalents d'ion H⁺ à ne pas dépasser par hectare et par an). Les zones les plus vulnérables sont situées en Europe du Nord pour des raisons liées notamment à la nature des sols (Source : CEE-ONU et RIVM).

Les charges et les niveaux critiques s'apparentent à des doses de polluants atmosphériques qui peuvent être tolérées sans dommages par divers éléments sensibles de l'environnement tels que la faune et la flore aquatique, les sols, les cultures, les écosystèmes forestiers. Pour les polluants dont les effets résultent de leurs dépôts et de perturbations des équilibres chimiques au sol ou dans les eaux de surface (cas des composés du soufre et de l'azote) on parle de « charges critiques » et celles-ci s'expriment en retombées massiques annuelles (en équivalent de soufre et d'azote, ou en équivalent de protons) à ne pas dépasser par unité de surface. Pour les polluants gazeux tels que l'ozone dont les effets résultent d'impacts directs sur la partie aérienne des végétaux,

on parle de « niveaux critiques » et ceux-ci s'expriment en concentrations à ne pas dépasser sur une certaine durée (heure, saison, etc,...). Le calcul des charges critiques repose sur des méthodes plus ou moins complexes. Ces méthodes permettent d'évaluer les dépôts atmosphériques tolérables pour satisfaire le respect de paramètres jugés sensibles pour les écosystèmes (pH des eaux de surfaces, niveaux tolérables d'aluminium en solution, etc...). Les niveaux critiques d'ozone découlent pour leur part généralement d'évaluations expérimentales sur les végétaux concernés.



II. Les effets du dépôt acide

Les effets du dépôt acide sont:

- Les dommages aux forêts et à la végétation.
- L'acidification des eaux de surface (lacs, rivières...) et dommages aux écosystèmes aquatiques.
- les dommages aux matériaux (corrosion) et aux bâtiments.

II.I. Les dommages à la végétation

Les dépôts acides ont des effets directs ou indirects sur la végétation :

- Effets directs : les polluants agissent sur l'un des constituants des

écosystèmes.

- Effets indirects: l'action des polluants sur l'un des constituants d'un écosystème entraîne des altérations des autres constituants et perturbe le fonctionnement.

L'impact des polluants sur végétaux est divisé selon la gravité de leurs effets:

- **Classe I:** faible charge en polluant

- **Classe II:** concentration intermédiaire en polluants. Les effets sur les plantes sont l'altération de la croissance, l'altération de la reproduction, la mortalité des populations sensibles, la réduction de la biomasse

- **Classe III:** mortalité élevée dans les populations végétales due à des intoxications aiguës.

II.II. Effet sur les sols

Sur les sols les pluies acides ont une série de conséquences :

- lessivage des éléments nutritifs des sols, l'aluminium qui est normalement lié dans le sol est entraîné dans les nappes phréatiques;

- élimination des éléments nutritifs essentiels aux plantes tels que le calcium, le potassium et le magnésium par des réactions chimiques;

- diminution des micro-organismes or les micro-organismes permettent la libération d'éléments nutritifs provenant de la décomposition des matières organiques; ceci entraîne un appauvrissement des sols ;

- sortie du sol de métaux toxiques (aluminium, cadmium et mercure) à cause de leurs réactions avec les acides.

II.III. Dommages aux écosystèmes aquatiques

Les pluies acides provoquent l'augmentation de l'acidité des rivières et des lacs où elles se concentrent. On observe alors les modifications suivantes:

- développement des algues filamenteuses et régression des plantes supérieures ;
- régression du plancton ;
- régression, puis disparition des écrevisses et mollusques.
- mortalité et baisse de la reproduction des poissons car l'acidification diminue la capacité des poissons à capter l'oxygène et les minéraux.

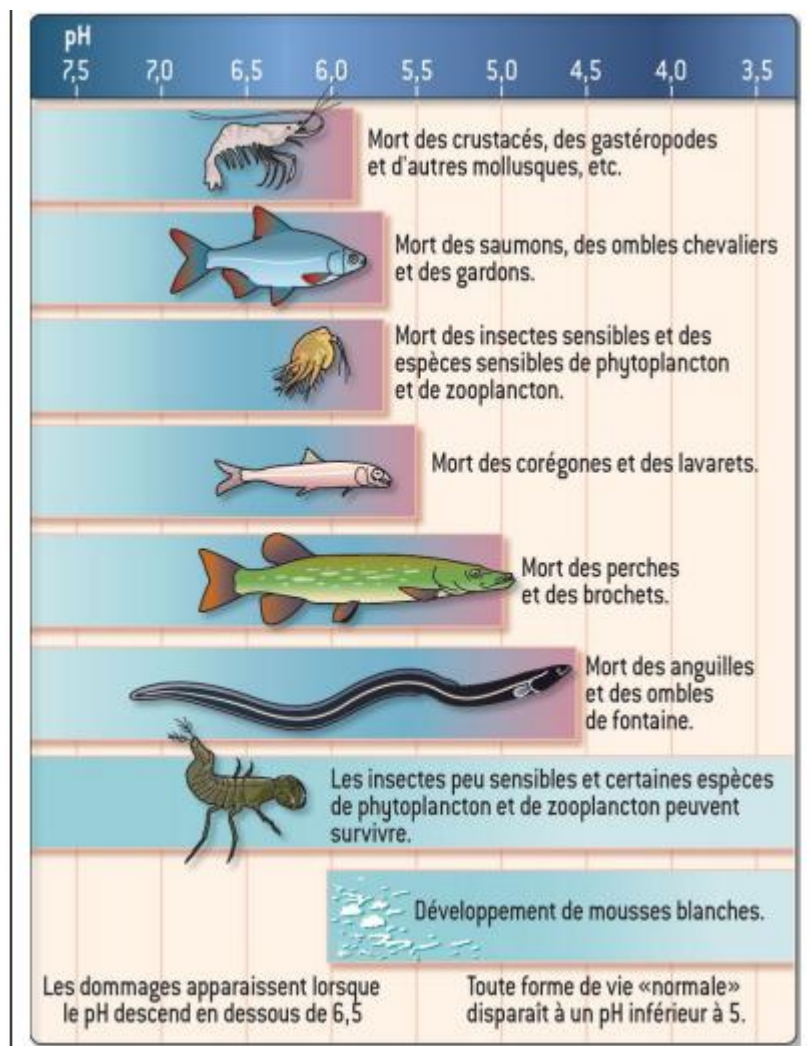


Figure 4 : Influence de la pollution atmosphérique sur les écosystèmes aquatiques. L'acidification des eaux conduit à la disparition progressive des différentes formes de vie aquatique. A des pH inférieurs à 3,5 aucune vie aquatique ne peut subsister.

II.IV. Les dommages aux matériaux (corrosion) et aux bâtiments

L'accélération de la vitesse de dégradation de nombreux monuments au cours des dernières décennies a mis en évidence l'impact de la pollution atmosphérique sur les matériaux. Les polluants primaires (dioxyde de soufre), ou les polluants secondaires (ozone, dérivés acides) peuvent agir sur un grand nombre de matériaux (métaux, pierre, peintures, tissus, cuir, plastiques, caoutchouc, papier..). A côté de la corrosion des matériaux, une autre forme d'impact de la pollution atmosphérique sur le bâti est constituée par le phénomène de salissure de la surface des matériaux du fait des dépôts de particules. Les particules fines, et notamment les particules émises par les moteurs diesel, paraissent particulièrement efficaces de ce point de vue.

- Le calcaire et le marbre sont particulièrement sensibles aux pluies acides et se transforment peu à peu en gypse.
- Les structures métalliques sont affectées par la corrosion.
- Les matériaux les plus corrodables sont ceux qui forment à leur surface des dépôts protecteurs dissous par une précipitation acide (exemple: le Cu et le Zn).

La dégradation d'un matériau de type carbonaté se résume en trois phases:

- **Etape 1:** Formation d'un sulfinate: la déshydratation des solutions acides et des sels hydratés entraînent la formation d'une croûte.
- **Etape 2:** Phase de desquamation: elle consiste en un décollement de la croûte sur une épaisseur variant de quelques 1/10^{ème} à 10 mm.

- **Etape 3:** alvéolisation: la pierre est dégradée en profondeur par formation de cavités (alvéoles).