



Polluants

## Dépôts acides

### Messages clés

- Les dépôts acides (communément appelés « pluies acides ») entraînent la dégradation des forêts, des écosystèmes côtiers, des lacs et des sols, nuisent à la faune et rongent les matériaux de construction. Les émissions acidifiantes peuvent franchir les frontières nationales et provinciales ou étatiques, et ainsi avoir une incidence sur des écosystèmes situés à des centaines de kilomètres.
- Le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ) et les oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) sont des émissions acidifiantes qui contribuent aux dépôts acides. Ces émissions de substances chimiques proviennent principalement d'activités humaines, notamment la fonte de métaux et la combustion de combustibles fossiles liée à la production et au transport d'électricité.
- Depuis 1990, les émissions de  $\text{SO}_2$  en Amérique du Nord ont été réduites du tiers; les émissions de  $\text{NO}_x$  ont diminué d'un peu plus d'un cinquième. Au cours des 15 dernières années, les dépôts de sulfate ont passablement diminué dans l'est des États Unis et du Canada, tandis que la réduction des dépôts de nitrate a été moins radicale.
- Malgré les progrès considérables réalisés afin de réduire les émissions et les dépôts de polluants acidifiants, de nombreux écosystèmes fragiles continuent de recevoir des dépôts acides supérieurs au niveau des seuils susceptibles d'entraîner des dommages à long terme. De plus, certaines régions auparavant touchées par des niveaux élevés de dépôts acides ne se rétablissent pas comme on l'avait prévu.

Les *dépôts acides* découlent principalement de la transformation de polluants atmosphériques, notamment le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ) et les oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ), en polluants secondaires, par exemple l'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), le nitrate d'ammonium ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) et l'acide nitrique ( $\text{HNO}_3$ ). Des particules et des vapeurs acides peuvent se déposer à la surface terrestre sous forme de précipitations acides (retombées humides) ou par le truchement de particules, notamment des cendres volantes, des sulfates, des nitrates et des gaz (retombées sèches).

### Enjeu environnemental à l'étude

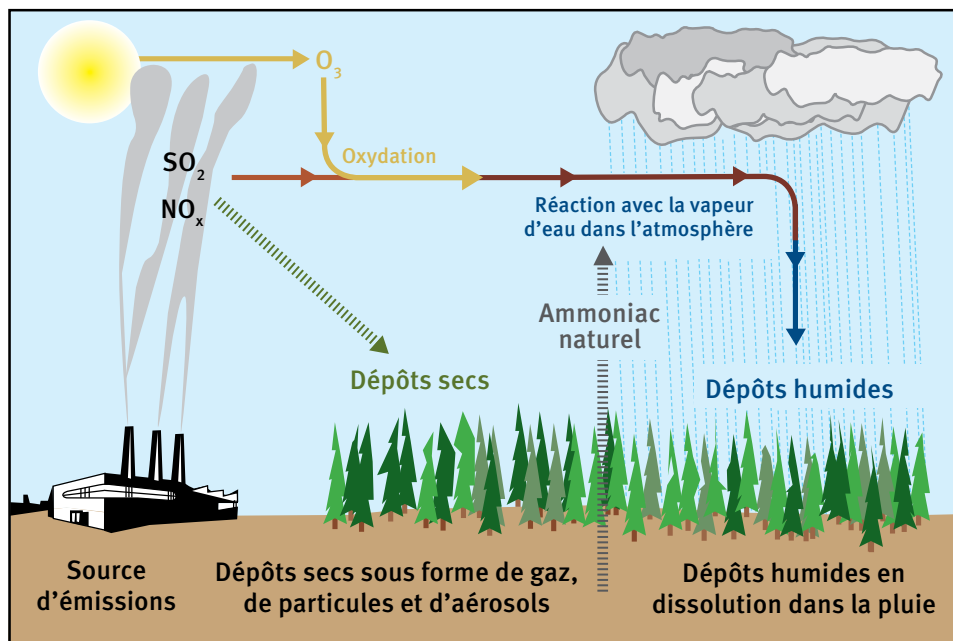
Les dépôts acides ont déjà causé la détérioration des forêts, des lacs, des sols, des immeubles et des monuments historiques de l'Amérique du Nord – dans certains cas, d'une manière irréversible. Les polluants atmosphériques qui engendrent des dépôts acides ont également des répercussions sur la santé humaine et sur la qualité de l'air.

Toutefois, le problème n'est pas restreint à l'Amérique du Nord. Compte tenu du fait que les polluants acides peuvent franchir des distances

importantes dans l'atmosphère, pour se déposer dans des écosystèmes situés des centaines, voire des milliers de kilomètres plus loin, les dépôts acides constituent un problème mondial. Les émissions provenant de l'Amérique du Nord peuvent atteindre l'Europe, et la pollution produite en Asie affecte la santé humaine et l'environnement en Amérique du Nord.

Les polluants atmosphériques, particulièrement les émissions d'oxydes de soufre et d'azote, sont les précurseurs des dépôts. En Amérique du Nord, les émissions de dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ )

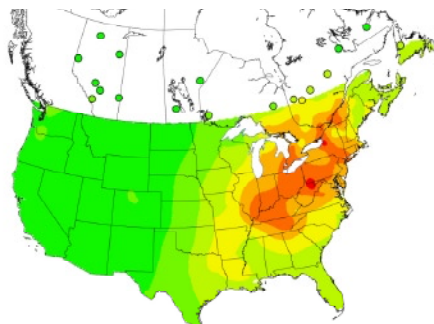
### Processus de dépôt acide



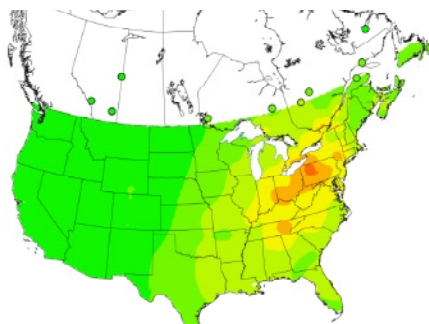
Source : Adapté de Michael Pidwirny, *Physical Geography.net—Fundamentals of Physical Geography*, <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8h/html>.

## Dépôts humides de sulfates et de nitrates aux États-Unis et au Canada

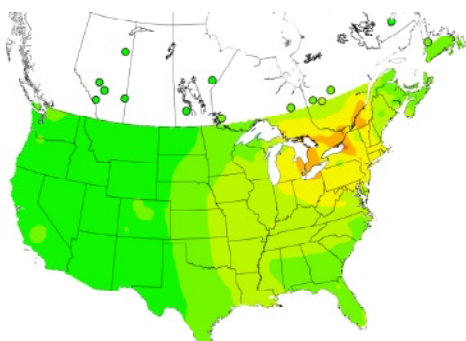
Moyenne quinquennale des dépôts humides de sulfates (1990-1994)



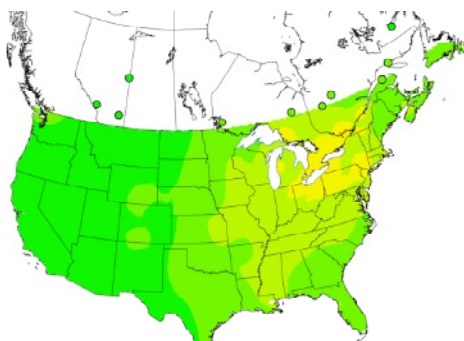
Moyenne quinquennale des dépôts humides de sulfates (2000-2004)



Moyenne quinquennale des dépôts humides de nitrates (1990-1994)



Moyenne quinquennale des dépôts humides de nitrates (2000-2004)



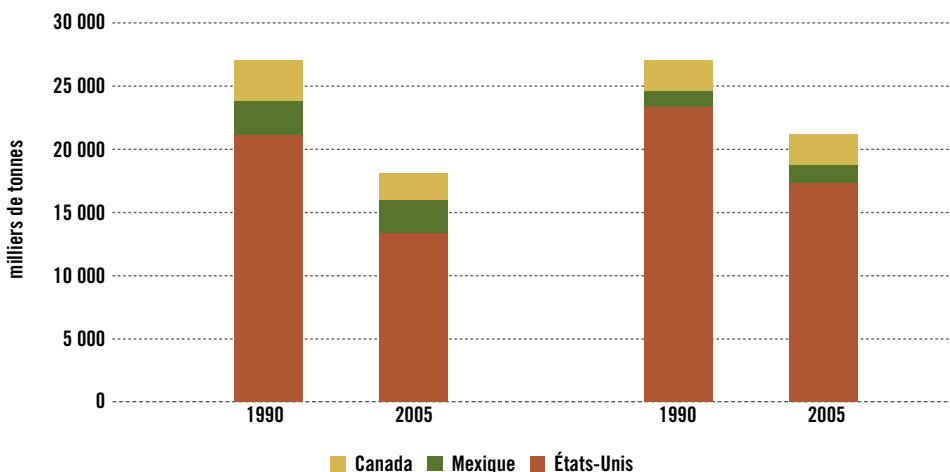
(en kilogrammes/hectare/année)

■ < 5 ■ 5 – 10 ■ 10 – 15 ■ 15 – 20 ■ 20 – 25 ■ 25 – 30 ■ > 30

Sources : Base de données nationales sur la chimie atmosphérique, avec la permission de Chul-Unko, Environnement Canada.

Émissions atmosphériques de SO<sub>2</sub>

Émissions atmosphériques de NO<sub>x</sub>



Sources: Environnement Canada, Instituto Nacional de Ecologia (les données les plus récentes du Mexique datent de 2002, plutôt que 2005). US Environmental Protection Agency.

et d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) proviennent de sources anthropiques, par exemple la fonte de métaux et la combustion de combustibles fossiles liées à la production d'électricité et aux transports, et de sources naturelles, notamment les éruptions volcaniques, les feux de forêt et la foudre. Cependant, les émissions de SO<sub>2</sub> et de NO<sub>x</sub> qui contribuent aux dépôts acides découlent essentiellement d'activités humaines.

L'acidification des écosystèmes se produit lorsqu'un dépôt de composés acides excède la capacité neutralisante du milieu récepteur. L'eau de pluie pure est légèrement acide – elle présente un pH d'environ 5,6 – car elle contient du dioxyde de carbone dissout provenant de l'atmosphère. La pollution acide a un pH plus faible, qui se situe normalement entre 4 et 5. Lorsque le pH diminue d'une unité, l'acidité est multipliée par dix. Ainsi, l'eau de pluie ayant un pH de 4,2 est environ 25 fois plus acide que la pluie pure. En accroissant l'acidité des sols et de l'eau, les dépôts acides nuisent à l'intégrité des végétaux, des animaux et des écosystèmes des zones touchées. Ils causent également des dommages aux bâtiments, aux monuments et aux surfaces peintes.

Dans un lac, les dépôts acides produisent des effets en cascade qui réduisent les populations piscicoles, voire éliminer complètement une espèce de poissons d'un plan d'eau. À mesure que les pluies acides drainent les sols d'un bassin hydrologique, des métaux – notamment, de l'aluminium – sont rejetés dans les lacs et les ruisseaux qui font partie de ce bassin. Le pH faible et la concentration en aluminium accrue ont des conséquences toxiques directes sur les poissons. De plus, ils causent un stress chronique qui, bien qu'il ne tue pas les poissons, entraîne une réduction de leur poids corporel et de leur taille et les rend moins aptes à faire concurrence à d'autres espèces des points de vue de l'alimentation et de l'habitat. L'acidification des lacs et des ruisseaux peut également accroître la quantité disponible de méthylmercure dans les systèmes aquatiques. Dans certains lacs du Canada et des États-Unis dont le pH est faible, on a constaté que le huard à collier, oiseau aquatique semblable au canard, présentait un taux de mercure élevé dans le sang.

Dans les sols forestiers, les dépôts acides excessifs accroissent la vulnérabilité des forêts aux stress liés aux ravageurs, aux agents pathogènes et au changement climatique, ce qui appauvrit la santé des forêts, réduit le rendement en bois et, tôt ou tard, modifie la composition des essences forestières. La pluie acide affaiblit les arbres en abimant leurs feuilles, en limitant la quantité

de nutriments qui leur sont accessibles ou en les exposant à des substances toxiques qui sont lentement libérées du sol. Très souvent, ces conséquences des pluies acides, conjuguées à d'autres menaces, blessent, voire tuent les arbres.

Enfin, les polluants à l'origine des pluies acides sont nocifs pour la santé humaine. Dans l'atmosphère, ils se joignent à d'autres produits chimiques pour produire du smog, qui peut irriter les poumons et rendre la respiration difficile, surtout chez les personnes atteintes d'asthme, de bronchite ou d'autres affections respiratoires. De fines particules, qui contiennent du sulfate dérivé du  $\text{SO}_2$ , sont jugées particulièrement délétères pour les poumons.

### Pourquoi cet enjeu est-il important pour l'Amérique du Nord?

Les effets des dépôts acides en Amérique du Nord peuvent être abordés uniquement de concert avec les territoires de compétence avoisinants situés en amont, et qui contribuent à la production d'émissions acidifiantes. La question des pluies acides a initialement capté l'intérêt de la population à la fin des années 1970 et au début des années 1980, lorsque leurs effets dévastateurs sur les écosystèmes de l'est de l'Amérique du Nord ont été rendus publics. En 1980, le Canada et les États-Unis ont commencé à collaborer afin d'intervenir à l'égard de ce problème transfrontalier. En 1991, les deux pays ont conclu l'*Accord Canada-États-Unis sur la qualité de l'air*, afin de promouvoir l'entente sur le plan scientifique et la réduction de la pollution dans leurs territoires respectifs.

#### Réduction des émissions

Le Canada et les États-Unis ont accordé la priorité aux émissions de  $\text{SO}_2$ , car celles-ci étaient considérées comme les plus importantes sur le plan de la réduction des dommages pour les écosystèmes fragiles. Depuis 1990, les émissions atmosphériques de  $\text{SO}_2$  en Amérique du Nord ont diminué de près de tiers (voir le graphique). À l'heure actuelle, la production d'électricité représente l'essentiel des émissions de  $\text{SO}_2$  aux États-Unis, alors qu'au Canada le secteur de la fonte de métaux de base constitue la principale source d'émissions.

Pendant la même période, les émissions de  $\text{NO}_x$  dans l'atmosphère ont diminué d'un peu plus du cinquième (voir le graphique). Les sources mobiles, notamment les automobiles et les camions, produisent le plus d'émissions de  $\text{NO}_x$  en Amérique du Nord, le reste provenant des centrales électriques et d'autres sources.

### Étude de cas – Acidification à El Tajín, au Mexique



Pyramide des Niches, El Tajin, État de Veracruz, Mexique.  
Photo: Luiz Castro.

Située à l'emplacement de la municipalité actuelle de Papantla de Olarte, dans la région de Veracruz, au Mexique, El Tajín était l'une des cités les plus importantes de la zone du golfe pendant la période méso américaine. Sa zone archéologique comporte des constructions qui datent de 100 apr. J.-C. Entre 600 et 1150 apr. J.-C., la ville a atteint son apogée en termes de taille et d'influence.

M. Humberto Bravo Álvarez et le personnel de la section de la contamination de l'environnement du centre des sciences atmosphériques de l'Université nationale autonome du Mexique étudient les effets des pluies

acides sur les sites archéologiques et historiques d'El Tajín. Entre le 18 août 2002 et le 9 avril 2003, ils ont prélevé 40 échantillons de pluie au site archéologique d'El Tajín et ont appliqué un modèle d'analyse de trajectoire atmosphérique à chacun, afin de déterminer le parcours atmosphérique correspondant aux événements de précipitations (voir le plan). Les modèles de trajectoire constituent un moyen pratique de déterminer les régions situées en amont susceptibles de contribuer au fardeau de polluants de récepteurs en aval.

Les analyses ont révélé que 85 % des précipitations échantillonnées à El Tajin étaient acides ( $\text{pH} < 5.62$ ). L'analyse des rétrotrajectoires de ces précipitations acides a démontré une fluctuation importante, c'est-à-dire qu'il n'existait pas de préférence directionnelle apparente sur le plan du transport pendant les événements, ce qui dénote l'importance des sources locales. La zone archéologique d'El Tajin est entourée de sources possibles de précurseurs de pluies acides, notamment la combustion industrielle de mazout à teneur élevée en soufre (par exemple, des centrales électriques et des raffineries). Ainsi, ces deux sources – et d'autres plus éloignées – peuvent contribuer largement à l'acidité des précipitations à El Tajin.

#### Résultats

Par suite de la réduction des émissions, les dépôts de soufre dans l'est des États-Unis et du Canada ont considérablement diminué entre 1990 et 2004, alors que le changement sur le plan des dépôts d'azote a été moins radical (voir les plans).

#### Régions touchées

De nombreux systèmes hydrographiques et éda- phiques de l'est de l'Amérique du Nord ne peuvent pas neutraliser l'acide naturellement. Ces systèmes sont donc sensibles aux dépôts acides. Afin de comprendre la capacité des écosystèmes d'assimiler les dépôts acides, les scientifiques ont élaboré le concept de la « charge critique », selon lequel on estime la quantité maximale de dépôts qu'un écosystème peut recevoir sans subir de dommages. La charge critique dépend de la quantité de bases neutralisantes des acides, notamment les sels de calcium et de magnésium, dans les eaux, les rocs et les sols d'une région.

Malgré les progrès réalisés, certains écosystèmes se rétablissent plus lentement que prévu. Aux États-Unis, on trouve encore des eaux de surface acides dans le Haut-Midwest et dans les régions des monts Adirondack et des Appalaches septentrionales. Au Canada, les régions qui reçoivent des quantités de dépôts supérieures à la charge critique sont situées dans les provinces qui font partie du bouclier précambrien canadien. En Ontario, au Québec, au Nouveau-Brunswick et en Nouvelle-Écosse, les régions dont le sol est fait de roche dure (granite) ne possèdent pas de capacité naturelle de neutralisation des pluies acides. Au fil des ans, des niveaux plus faibles d'industrialisation, conjugués à des facteurs naturels, notamment des régimes climatiques se déplaçant vers l'est et la capacité tampon des sols, ont largement protégé les écosystèmes des prairies de l'ouest du Canada et des États-Unis contre les effets des pluies acides.

Bien que nous ne disposions pas de plans semblables en ce qui concerne le Mexique, les répercussions des dépôts acides sont manifestes dans les parcs nationaux situés près de Mexico, où les pluies acides ont entraîné la dégradation des forêts et des sols, de même que par le biais des dommages causés aux monuments et aux bâtiments historiques à Mexico et ailleurs (voir l'étude de cas à la page précédente).

### Quels sont les liens avec d'autres enjeux environnementaux en Amérique du Nord?

Les préoccupations initiales des scientifiques, en ce qui concerne les effets des dépôts acides sur les forêts et sur les matériaux de construction, s'étendent maintenant à la relation entre la pollution acidifiante, la biodiversité et les écosystèmes côtiers fragiles.

#### Biodiversité

Les diverses espèces qui vivent dans les lacs, les rivières et les milieux humides se distinguent du point de vue de leur tolérance à l'acidité. L'acidification réduit principalement la diversité des organismes vivants qui habitent les lacs, et modifie l'équilibre entre les populations survivantes. La modification du mélange des espèces dans les plans d'eau a également des répercussions sur les oiseaux et sur d'autres espèces situées en amont de la chaîne alimentaire, puisque certaines ressources alimentaires se raréfient et d'autres sont plus abondantes. Les scientifiques ne peuvent prévoir si les espèces disparues d'un lac acidifié y retourneront un jour – même si le pH redevient normal.

#### Écosystèmes côtiers

Les dépôts acides entraînent les effets du dépôt d'azote sur les écosystèmes côtiers, dans lesquels l'azote constitue souvent l'élément nutritif limitant. L'accroissement de la concentration d'azote des eaux côtières peut altérer considérablement ces écosystèmes. Quelque 60 % des estuaires des États-Unis sont affligés d'un surenrichissement d'azote, un phénomène connu sous le nom d'« eutrophisation ». Les symptômes de l'eutrophisation comportent le changement d'espèce dominante de plancton (source alimentaire principale de nombreuses formes de faune et de flore marines), qui peut entraîner une prolifération d'algues, une réduction de la teneur en oxygène de la colonne d'eau, la mortalité massive de poissons, de mollusques et de crustacés, ainsi que

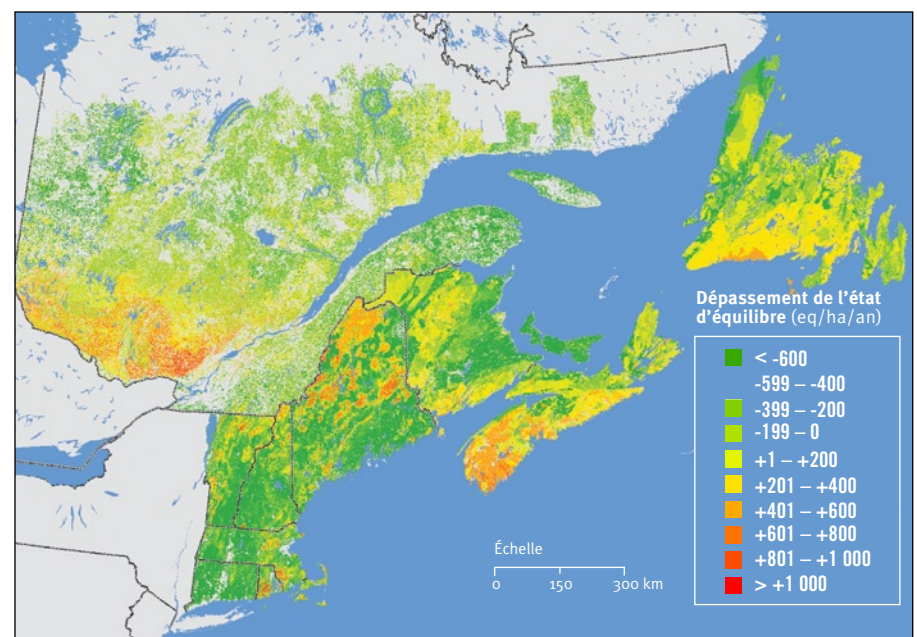
## Étude de cas – Sensibilité des forêts aux dépôts de soufre et d'azote

Bien que les émissions de soufre aux États-Unis et au Canada aient diminué par suite des programmes de contrôle, les émissions continues de composés acidifiants de soufre et d'azote présentent quelques unes des menaces à long terme les plus graves pour la santé et la productivité des forêts de certaines régions du nord-est de l'Amérique du Nord. Cette constatation découle d'une étude sur quatre ans touchant les États du nord-est des États-Unis et l'est du Canada, et réalisée par le Forest Mapping Group de la Conférence des gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et des premiers ministres de l'est du Canada.

Selon l'étude du Forest Mapping Group, entre 1999 et 2003, les dépôts atmosphériques de soufre et d'azote ont dépassé la charge critique dans plus du tiers de la région visée par l'étude (voir le plan). Dans les provinces de l'est du Canada, les régions forestières les plus fragiles sont situées dans le sud du Québec, notamment dans les Basses-Laurentides au nord du fleuve Saint-Laurent, dans le sud-est de la Nouvelle Écosse et dans le sud de Terre-Neuve. En Nouvelle-Angleterre, les forêts les plus fragiles se trouvent dans les chaînes de montagnes et dans les zones côtières, où les sols sont pauvres et la résistance aux intempéries est faible, et où la demande de nutriments est plus forte en raison d'une exploitation plus intensive.

Selon la surveillance des forêts du Québec, et compte tenu des effets connus des dépôts acides, l'étude du Forest Mapping Group conclut que le dépassement important des charges critiques entraîne, directement ou indirectement, une réduction de la croissance et de la santé des forêts.

### Régions forestières sensibles aux dépôts acides dans les États de la Nouvelle-Angleterre et les provinces de l'est du Canada



Source : Forest Mapping Group de la Conférence des gouverneurs de la Nouvelle Angleterre et des premiers ministres de l'est du Canada.

la modification en cascade des populations en amont de la chaîne alimentaire. En outre, l'accroissement du niveau de turbidité dans l'eau, causé par la prolifération d'algues, peut détruire la végétation aquatique submergée, qui représente un habitat important pour de nombreuses espèces de poissons, de mollusques et de crus-

tacés d'estuaire. Bien que nombre d'estuaires les plus eutrophiques soient situés dans le golfe du Mexique et sur la côte médio-atlantique des États-Unis, recoupant bon nombre des régions qui reçoivent les dépôts d'azote les plus élevés, on en trouve également dans chaque région le long du littoral américain contigu. 🦋