L'acidification des eaux

> Vincent BRAHY

Depuis la fin de la seconde guerre mondiale, les précipitations acides représentent un problème environnemental majeur dans de nombreuses régions du globe. Outre le dépérissement des forêts, un des impacts les plus significatifs des pluies acides est l'acidification des eaux de surface. Les lacs et les cours d'eau les plus affectés sont en général situés dans des petits bassins versants occupés par des sols acides peu profonds, dont l'altération ne permet plus de neutraliser les effets des précipitations acides. L'acidification modifie certaines caractéristiques chimiques des eaux et engendre une diminution de leur capacité à neutraliser l'acidité (ANC), une diminution du pH et une augmentation des concentrations en aluminium dissous. Ces phénomènes peuvent être particulièrement toxiques pour les poissons et d'autres organismes aquatiques. Une amélioration de la situation est cependant observée ces dix dernières années, grâce aux efforts menés au niveau mondial pour réduire les émissions et les dépôts de polluants acidifiants.

LE PHÉNOMÈNE DE L'ACIDIFICATION DES EAUX

L'acidification des eaux de surface est une conséquence indirecte de la pollution atmosphérique générée par les émissions d'oxydes d'azote (NO et NO_2), de dioxyde de soufre (SO_2) et d'ammoniac (NH_3) [voir AIR 3]. Les retombées de ces polluants acidifiants accélèrent l'altération des sols les plus pauvres (non-calcaires), occasionnant une perte de leur pouvoir tampon[1] et une forte diminution de leur taux de saturation en bases[2]. Les eaux qui ruissellent et qui percolent dans ces sols conservent alors une certaine acidité avant de rejoindre le réseau hydrographique.

Depuis l'essor économique qui s'est amorcé à la fin du 19e siècle, les dépôts de substances acidifiantes n'ont cessé d'augmenter dans de nombreuses régions de l'hémisphère nord. Durant près d'un siècle, la capacité tampon des sols a joué un rôle essentiel, en neutralisant les apports acides, mais avec le temps, la capacité à neutraliser l'acidité de certains sols a fini par s'épuiser. Ce n'est véritablement qu'à partir des années 1960 que les premières manifestations du processus d'acidification des eaux ont été constatées en Europe occidentale. Le problème du dépérissement des forêts, apparu dans les années 1980, n'a fait que confirmer le rôle de la pollution atmosphérique dans l'acidification des sols et des eaux de surface [voir RES FOR 3].

Les pluies acides ne constituent pas l'unique facteur qui détermine le niveau d'acidité des cours d'eau. Des facteurs environnementaux (type de sols, de sous-sol et de végétation, p. ex.) et, dans une moindre mesure, des facteurs anthropiques (utilisation d'engrais azotés, rejets urbains et industriels...) interviennent également. Dans certains cas, les coupes à blanc dans les forêts participent au phénomène, en entraînant une baisse passagère du pH des eaux de surface. La fonte des neiges est aussi mentionnée comme étant une période critique, au cours de laquelle peuvent survenir des pics d'acidité passagers.

Le pH indique le niveau d'acidité de l'eau

Le pH est une mesure de la concentration en protons dans l'eau :

$$pH = -\log\{H^+\}$$

avec $\{H^+\}$ = concentration en protons (en mole/l). Une eau est considérée comme acide lorsque son pH < 7 et basique lorsque son pH > 7. Comme il s'agit d'une échelle logarithmique, une diminution de la valeur du pH d'une unité correspond à une multiplication par 10 des concentrations en protons.

Les apports excessifs de soufre et d'azote atmosphériques, ainsi que des autres sources de contamination (lessivage des terres agricoles[3], rejets urbains et industriels...) induisent généralement une augmentation des quantités de sulfates et de nitrates dans les eaux. L'augmentation des concentrations de ces deux anions d'acide fort (acide nitrique et sulfurique) provoque, à terme, une perte d'alcalinité[4], une diminution de la capacité des eaux à neutraliser l'acidité, une baisse significative du pH et une augmentation des concentrations en aluminium dissous (voir ci-après).

La capacité à neutraliser l'acidité (ANC) comme indicateur de l'acidification des eaux de surface

La capacité à neutraliser l'acidité (Acid Neutralising Capacity -ANC-) correspond à la différence entre la somme des concentrations en cations «basiques» (calcium, magnésium, potassium et sodium) et la somme des concentrations en anions d'acides forts (sulfate, nitrate et chlorure). Un cours d'eau qui s'acidifie présente des valeurs d'ANC qui diminuent au cours du temps (de manière temporaire ou continue).

$$ANC = [Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^{+} + K^{+}] - [SO_4^{2-} + NO_3^{-} + Cl^{-}]$$

avec [ ] = concentration en µéq/l.

La présence de carbonates permet de contrôler les variations d'acidité

Dans les environnements aquatiques naturels, le principal système de contrôle des variations de pH est la présence de substances carbonatées dans l'eau, les sols et le sous-sol du bassin versant. Dans un premier temps, si le pouvoir tampon des eaux de surface recevant les eaux acides est suffisant, les carbonates et les bicarbonates qu'elles contiennent neutralisent l'apport acide sans que leur acidité naturelle (pH) ne varie. Mais si les apports acides (minéraux et organiques) sont trop importants ou que le pouvoir tampon des eaux est trop faible, l'acidité peut augmenter brutalement.

Certaines eaux de surface sont plus sensibles à l'acidification que d'autres

Les eaux de surface sensibles au phénomène de l'acidification présentent un certain nombre de caractéristiques qui les prédisposent à ce type d'altération. Il s'agit pour la plupart :

- d'eaux faiblement minéralisées, c'est-à-dire dont la plupart des ions majeurs sont en faibles concentrations (conductivité électrique généralement inférieure à 25 µS/cm) ;
- d'eaux présentant une faible capacité à neutraliser l'acidité. Si l'ANC est inférieure à 50 µéq/l, le phénomène d'acidification est chronique. Si l'ANC est comprise entre 50 et 100 µéq/l, le phénomène est plutôt épisodique ;
- d'eaux présentant des concentrations en acides organiques assez faibles. Néanmoins, la présence de carbone organique dissous en grande quantité peut rendre les eaux naturellement acides, avec des valeurs faibles de pH et des valeurs d'ANC négatives ;
- d'eaux déjà acides avec des valeurs de pH généralement inférieures à 6 ou 6,5 ;
- d'eaux pour lesquelles il y a eu un faible temps de contact entre les eaux de drainage et les sols (ou la roche mère). Les sols s'altèrent alors plus difficilement et ne libèrent pas suffisamment de cations basiques pour neutraliser l'acidité des eaux de drainage.

C'est fréquemment le cas dans certains petits bassins versants, où la majorité des flux d'eau alimentant les rivières provient directement des précipitations (ruissellement).

Quels liens entre acidification et eutrophisation des cours d'eau ?

Les quantités de nitrates lessivées et aboutissant dans les lacs et les cours d'eau peuvent engendrer une eutrophisation ou une acidification des eaux de surface. Si l'azote est un facteur limitant pour la production de végétaux aquatiques, les apports excédentaires de nitrates vont généralement induire une augmentation de la production de la biomasse algale, et par conséquent un dysfonctionnement de la dynamique des communautés aquatiques (eutrophisation) [voir EAU 2]. Si, par contre, l'azote n'est pas un facteur limitant, mais qu'il s'agit d'autres nutriments (comme le phosphore p. ex.), le nitrate excédentaire va rester en solution et participer potentiellement au phénomène d'acidification. Cette situation est très fréquemment rencontrée dans les eaux douces.

Quatre paramètres sont fréquemment utilisés pour apprécier le niveau d'acidification des eaux douces et ses effets sur les écosystèmes aquatiques (Wilander, 2001) :

Indicateur de l'acidification des eaux	Valeur critique
pH	< 6
Alcalinité (µéq/l)	< 50
ANC (µéq/l)	< 50
Concentration en sulfate {SO_4^{2-}} (µéq/l)	Variable en fonction de la concentration en cations basiques[5]

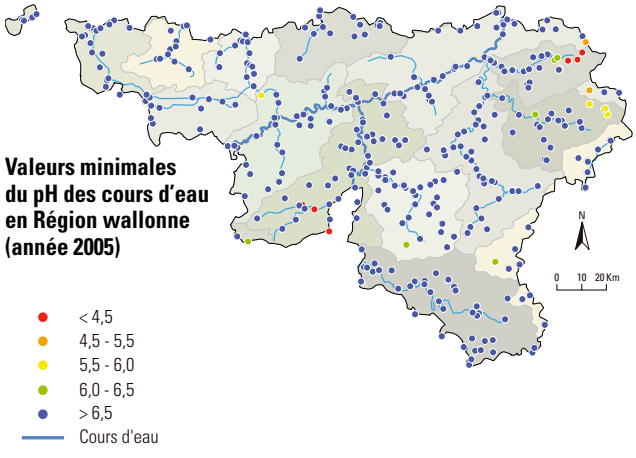
LES COURS D'EAU WALLONS

Les paramètres qui permettent de calculer les indicateurs d'acidification ont été mesurés en 2005 dans 350 stations du réseau de mesure de la qualité physico-chimique des cours d'eau (base de données AQUAPHYC[6]). Ce réseau permet de surveiller la qualité des eaux d'un peu plus de 250 cours d'eau en Région wallonne (fleuves, ruisseaux, canaux...) [voir RW PRES 1].

Moins de 2 % des sites de contrôle présentent des valeurs critiques d'acidité

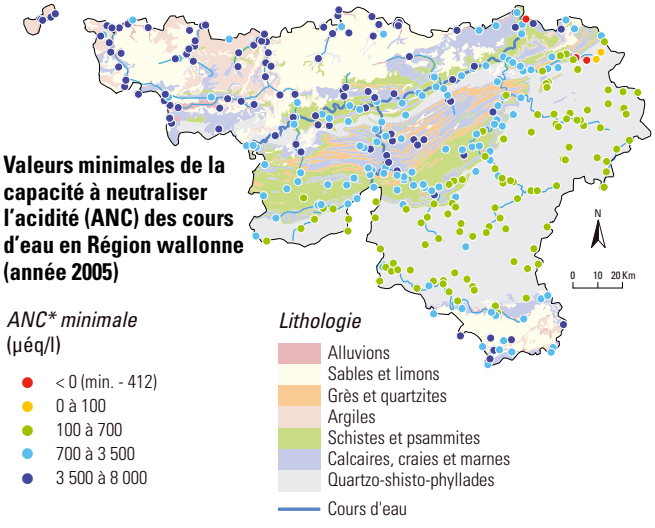
La toute grande majorité des cours d'eau présente des valeurs minimales de pH supérieures à la valeur critique de 6 [↘ Carte EAU 3-1]. Les cours d'eau les plus acides (pH < 4,5), comme la

Carte EAU 3-1



Source : *MRW-DGRNE-DE (Base de données AQUAPHYC, calculs CEEW)*

Carte EAU 3-2



** ANC : acid neutralizing capacity (capacité à neutraliser l'acidité)*

Vesdre à Raeren, la Helle à Eupen ou la Brouffe à Mariembourg, s'écoulent pour la plupart de zones forestières ou tourbeuses (Fagnes), où les eaux présentent naturellement des concentrations élevées en acides organiques [voir FFH 3]. Il faut noter que ces eaux acides sont en général d'excellente qualité biologique[7], même si la diversité d'organismes, pour la plupart acidophiles, y est assez faible.

Les ruisseaux qui prennent leur source dans la région des Hautes Fagnes (comme la Gileppe, la Helle ou le Getzbach p. ex.) présentent, en outre, des valeurs d'ANC négatives ou inférieures à la valeur critique de 50 µéq/l, ce qui témoigne d'un processus d'acidification permanent dans ces cours d'eau naturellement très acides. [↘ Carte EAU 3-2]

La capacité à neutraliser l'acidité (ANC) de l'eau reflète le type de végétation, ainsi que la nature des sols et des roches qui constituent les bassins versants. Ainsi, les cours d'eau les moins acides (ANC > 3 500 µéq/l) occupent les vallées des bassins hydrographiques où le sous-sol est majoritairement constitué de matériaux carbonatés, comme des calcaires, des craies et des marnes. Les cours d'eau qui traversent des substrats plus pauvres et plus siliceux (grès, schistes alumineux et quartzo-phyllades) présentent, quant à eux, des capacités beaucoup plus faibles à neutraliser l'acidité (ANC < 700 µéq/l). Ces matériaux sont en effet principalement constitués de quartz et de minéraux peu altérables, riches en silice et pauvres en cations «basiques». La composition minéralogique de ces matériaux empêche donc de neutraliser l'entièreté des flux acides qui percolent à travers les sols. [↘ Carte EAU 3-2]

Le phénomène est amplifié lorsque le temps de contact entre les précipitations acides et les sols pentus développés sur des substrats peu filtrants (comme des schistes p. ex.) est relativement court, ce qui permet aux substances acidifiantes de rejoindre directement les cours d'eau.

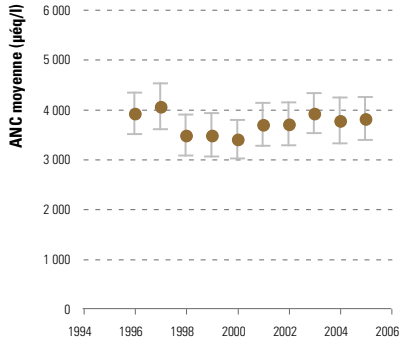
La présence d'épicéas, associée à un substrat géologique peu altérable, semblerait également réduire le pouvoir tampon des eaux de surface, comme cela a été constaté récemment dans les Ardennes françaises[8].

La tendance à l'acidification des cours d'eau semble s'inverser

Dans le cadre de la Convention de Genève sur la pollution atmosphérique à longue distance (CLRATP, voir AIR 3), la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe a initié en 1985 un programme de surveillance de l'acidification des lacs et des rivières[9]. Ce programme a pour mission d'une part, d'évaluer l'étendue géographique et l'intensité de l'acidification des eaux douces en Europe et en Amérique du Nord, et d'autre part, de suivre les variations à long terme de la qualité chimique et biologique des eaux, en relation avec l'évolution de la pollution atmosphérique.

Bien que la Belgique ne participe pas activement à ce programme de surveillance, l'analyse des données disponibles indique que l'acidité des cours d'eau s'atténue en Région wallonne. En effet, le pH moyen de certains cours d'eau a augmenté constamment, et de manière significative, d'environ 0,02 unité par an depuis 1975. On observe aussi une légère tendance à la diminution des concentrations maximales en sulfates dans de nombreux cours d'eau depuis 1984, bien que les valeurs moyennes de ce paramètre ne présentent pas de différences statistiques significatives d'une année à l'autre ($p < 0,1$) [↘ Fig EAU 3-1]. En ce qui concerne l'évolution de la capacité des cours d'eau à neutraliser l'acidité, les valeurs moyennes d'ANC n'ont pu être calculées qu'entre 1996 et 2005. Au cours de cette période, aucune tendance générale à l'augmentation ou à la diminution de l'ANC des cours d'eau n'a pu être constatée à l'échelle de la Région wallonne[10]. [↘ Fig EAU 3-2]

Fig EAU 3-2 *Evolution de la capacité à neutraliser l'acidité (ANC) des cours d'eau en Région wallonne*

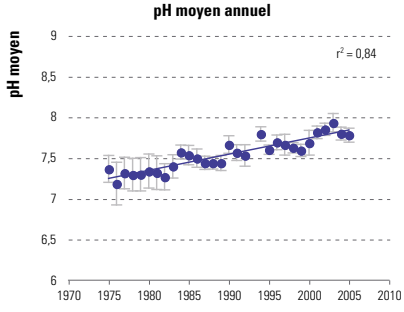


A partir des données récoltées dans 48 sites de contrôle

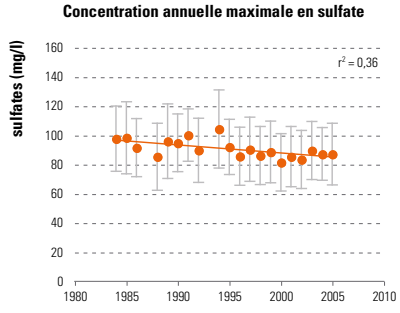
Source : *MRW-DGRNE-DE (Base de données AQUAPHYC, calculs CEEW)*

Quoi qu'il en soit, l'évolution des indicateurs mesurés sur une longue période (c'est-à-dire le pH et dans une moindre mesure, les concentrations en sulfate) reflète une tendance à une diminution de l'acidification des cours d'eau. Celle-ci témoigne des efforts réalisés ces 20 dernières années pour réduire les dépôts atmosphériques de composés acidifiants (- 58 % de dépôts soufrés sur le territoire wallon entre 1990 et 2004, [voir AIR 3]). Elle s'explique aussi par une diminution des quantités d'azote potentiellement acidifiant rejetées directement dans les cours d'eau par les ménages et les industries [voir EAU 1 et EAU 2]. En outre, il semblerait, sur base d'un bilan théorique[11], que les quantités d'azote excédentaire dans les sols agricoles (c'est-à-dire non prélevées par les plantes et susceptibles de rejoindre en partie les cours d'eau) soient aussi orientées à la baisse en Région wallonne [voir SOLS 4]

Fig EAU 3-1 *Evolution du pH moyen et des concentrations maximales en sulfate dans les cours d'eau en Région wallonne*



A partir des données récoltées sur la Grande Honnelle, la Haine, la Houille, la Lys, la Meuse, la Sambre, la Sûre, le Ton, le Viroin, l'Escaut et l'Espierres



A partir des données récoltées dans 28 sites de contrôle

Source : *MRW-DGRNE-DE (Base de données AQUAPHYC)*

[↘ Fig EAU 3-3]. Signalons également que les sols agricoles les plus acides (principalement en Ardennes) font l'objet d'opérations de chaulage depuis de nombreuses années, de manière à augmenter leur pH [voir SOLS 1].

Une amélioration est également observée dans les autres régions d'Europe et en Amérique du Nord. Les experts du programme de surveillance des Nations Unies (*ICP-Waters*[8]) notent une diminution presque générale depuis 1990 des concentrations en sulfate et en protons dans la plupart des cours d'eau ayant subi un phénomène d'acidification. Les concentrations en nitrate, d'un autre côté, ne semblent pas présenter de changements significatifs [voir EAU 2].

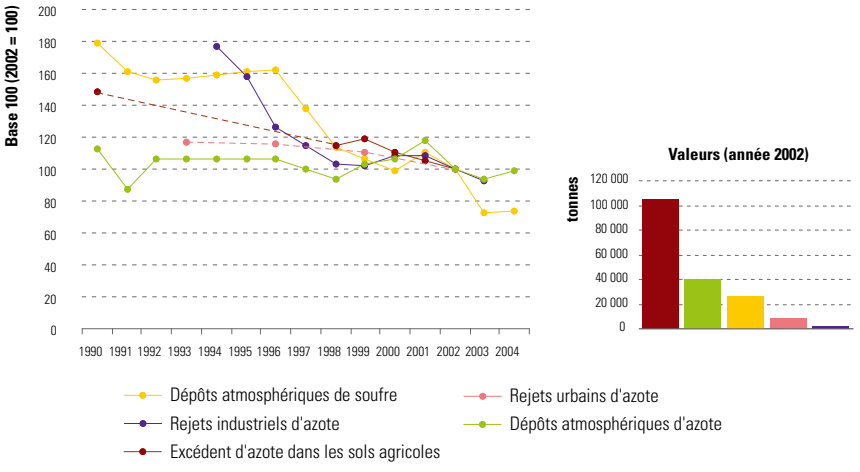
La confrontation des figures EAU 3-1, EAU 3-2 et EAU 3-3 met en évidence un décalage dans le temps entre la régénération de certaines caractéristiques des cours d'eau (ANC, concentration en sulfate) et la réduction des dépôts acides. Il existe en effet un temps de réponse, qui dépend notamment de la vitesse avec laquelle les sols du bassin versant vont se recharger en cations basiques, via des processus naturels d'altération. Il faut également tenir compte de l'impact des variations climatiques[12] et des modifications des débits des cours d'eau sur la chimie de l'eau [voir EAU 6].

Signalons enfin que, si une restauration progressive des propriétés physico-chimiques des eaux de surface est en cours, cette dernière n'induit pas nécessairement un rétablissement instantané des communautés d'organismes aquatiques qui ont souffert de l'acidification des eaux. Le retour au bon état écologique des cours d'eau devrait donc être vérifié par une analyse des composantes biologiques en examinant, par exemple, l'évolution des peuplements de diatomées ou le retour d'espèces de macroinvertébrés sensibles à l'acidification. A l'heure actuelle, ce type d'analyse n'a pas encore été réalisé en Région wallonne, alors que des données sont disponibles au sein du réseau de mesure de la qualité biologique des cours d'eau [voir FFH 3].

LES LACS ET RÉSERVOIRS DE BARRAGES

En général, les lacs sont plus sensibles à l'acidification que les cours d'eau car les processus qui génèrent la capacité des eaux à neutraliser l'acidité sont moins présents dans les eaux stagnantes que dans les eaux courantes. Les sept grands réservoirs de barrage en Région wallonne [voir RES EAU 2] ont fait l'objet d'une étude consacrée à la détermination de leurs charges critiques en polluants acidifiants [dossier scientifique]. Les résultats de cette étude sont brièvement présentés ci-après.

Fig EAU 3-3 *Evolution des dépôts atmosphériques et des apports de substances acidifiantes dans les cours d'eau en Région wallonne*

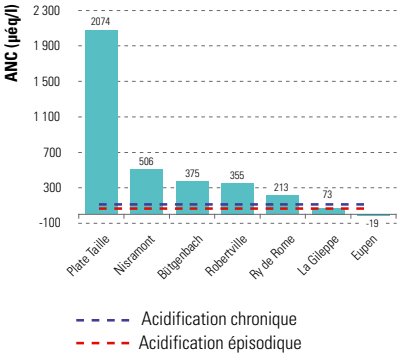


Sources : *MRW-DGRNE-DE (PEGASE) ; CELINE ; AEE -IRENA (bilan azoté, calculs CEEW)*

Les eaux des réservoirs du bassin de la Vesdre neutralisent difficilement les apports acides

Avec des eaux présentant une valeur d'ANC inférieure à 100 µéq/l, le lac de la Gileppe connaît des phénomènes épisodiques d'acidification. Le phénomène est par contre chronique dans le lac d'Eupen où l'ANC de l'eau est inférieure à 50 µéq/l, une valeur considérée comme critique pour l'équilibre des écosystèmes aquatiques et la survie des salmonidés en particulier[13]. Les réservoirs d'Eupen et de la Gileppe constituent des cas un peu particuliers, car ils sont alimentés par des eaux fagnardes naturellement acides, riches en acides organiques et très pauvres en cations basiques (calcium, magnésium). [↘ Fig EAU 3-4]

Fig EAU 3-4 *Capacité à neutraliser l'acidité (ANC) de l'eau des principaux réservoirs de barrage en Région wallonne*



Données 1999 pour les réservoirs de la Plate Taille, de Bütgenbach et de Robertville. Moyenne des données 1995-1999 pour les réservoirs de Nisramont, du Ry de Rome, de la Gileppe et d'Eupen

Sources *: MRW-DGRNE-DCE (EEW) ; SITEREM ; Ulg (Centre Environnement)*

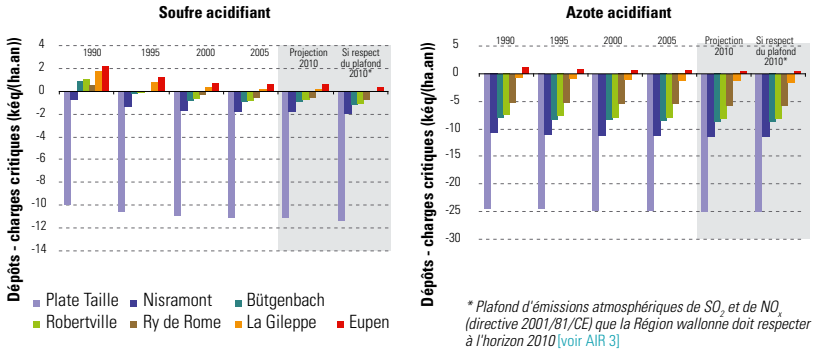
La sensibilité des réservoirs de barrage à l'acidification dépend principalement de la nature de la roche-mère du bassin versant, comme c'est le cas également pour les cours d'eau. Ainsi, la plupart des lacs de retenue étudiés présentent un pouvoir tampon limité, car ils sont situés dans des régions où le sol et le sous-sol sont pauvres en carbonates et en minéraux altérables. A l'opposé, le bassin versant du réservoir de la Plate Taille est composé de roches calcaires. Les eaux de ce réservoir sont par conséquent riches en carbonates et peu sensibles à l'acidification (ANC élevée).

Une charge critique en acidité à ne pas dépasser

La charge critique se définit, en l'état actuel des connaissances, comme la quantité maximale de polluants qu'un écosystème (sols, eaux de surface, forêts...) peut tolérer, avant que des effets néfastes n'apparaissent sur sa structure et son fonctionnement. En ce qui concerne les réservoirs de barrage, les charges critiques en azote et en soufre acidifiant ont été estimées à partir d'un bilan de masse à l'équilibre des substances participant au phénomène de l'acidification (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+}, NO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-, HCO_3^-, Al^{n+}, anions organiques...). Le bilan des flux entrant et sortant de ces substances s'applique au lac de barrage ainsi qu'à l'ensemble du bassin versant alimentant le réservoir[14]. Une méthode empirique basée sur les diatomées, des algues siliceuses sensibles à l'acidification des eaux douces, a également été employée pour conforter l'estimation des charges critiques [dossier scientifique].

Dans les réservoirs de la Gileppe et d'Eupen, les eaux ne possèdent pas suffisamment d'ANC pour neutraliser les apports acides provenant des retombées atmosphériques (azotées et soufrées). Ceux-ci dépassent alors la charge critique en acidité que l'écosystème aquatique peut accepter. Les autres réservoirs de barrage sont moins sensibles à l'acidification. Dès lors, aucun dépassement de leur charge critique n'a été enregistré en 2005, même dans les réservoirs où les impacts des activités humaines sont les plus importants (Bütgenbach, Robertville, Nisramont et la Plate Taille).

Dépassement de la charge critique en soufre et en azote acidifiants dans les principaux réservoirs de barrage en Région wallonne



** Plafond d'émissions atmosphériques de SO_2 et de NO_x (directive 2001/81/CE) que la Région wallonne doit respecter à l'horizon 2010* [voir AIR 3]

Sources : *MRW-DGRNE-DCE (EEW) ; SITEREM ; Ulg (Centre Environnement) ; CELINE ; ISSeP*

En ce qui concerne l'évolution des excès de polluants acidifiants par rapport à la charge critique que les écosystèmes aquatiques peuvent tolérer (dépôts-charges critiques), on observe surtout une diminution très nette des dépassements pour le soufre acidifiant entre 1990 et 2005, alors qu'il y a très peu d'évolution au niveau de l'azote acidifiant. Cette situation s'explique essentiellement par une diminution très marquée des retombées atmosphériques de soufre sur le territoire wallon, alors que les retombées d'azote sont quasiment stationnaires [voir AIR 3].

En termes de superficies protégées, on estimait en 1990 que le dépassement des charges critiques en acidité (soufre et azote confondus) touchait un peu plus de 50 % de la surface totale des sept réservoirs de barrage. Ce pourcentage avoisine actuellement les 30 %. La traduction de la projection des émissions wallonnes de soufre et d'azote en 2010 en termes de dépassement de la charge critique indique que, malgré les efforts de réduction des émissions qui pourraient être réalisés d'ici là, le réservoir d'Eupen, et dans une moindre mesure celui de la Gileppe seront encore affectés par des dépassements de leur charge critique, même si ceux-ci sont de moins en moins importants. De plus, dans l'hypothèse où la Région wallonne respecterait les plafonds d'émissions atmosphériques qui lui ont été attribués, les modèles n'envisagent aucune amélioration à venir par rapport à la situation actuelle [dossier scientifique].

En effet, plusieurs processus biogéochimiques modèrent la vitesse de réponse des eaux stagnantes à la diminution des dépôts atmosphériques de substances acidifiantes, et expliquent dès lors une régénération plus lente de la qualité des eaux. Il faut notamment mentionner, parmi ces processus, l'épuisement et le rétablissement de la réserve de cations basiques disponibles dans les sols, l'apport d'anions acides (nitrates, sulfates...) stockés temporairement dans certaines zones humides, ou encore les modifications des propriétés chimiques de l'eau dépendantes des variations climatiques.

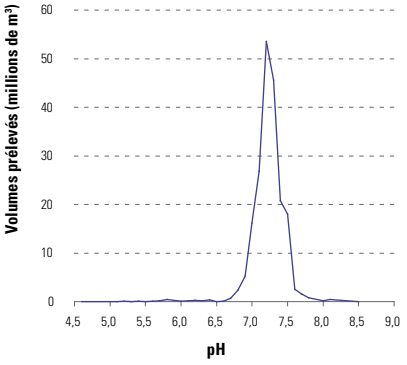
Signalons que les eaux acides faiblement minéralisées et riches en composés organiques peuvent entraîner des problèmes au niveau de la distribution publique d'eau potable (augmentation p. ex des concentrations en plomb dans les canalisations). Il y a également un risque de formation de substances dangereuses (trihalométhanes) résultant de l'association des produits de désinfection chlorés avec la matière organique naturellement présente dans l'eau brute. C'est la raison pour laquelle les eaux prélevées dans les lacs de retenue d'Eupen et de la Gileppe font l'objet de traitements appropriés [voir SANTE 3].

LES EAUX SOUTERRAINES

Les eaux souterraines sont en général très peu concernées par le problème de l'acidification, étant donné que les effets des retombées atmosphériques acides sont neutralisés au niveau des sols et du sous-sol, avant que les eaux d'infiltration n'alimentent les aquifères. Néanmoins, le pH des eaux souterraines est directement fonction de la nature et de l'épaisseur des matériaux traversés par l'eau lors de son infiltration et de son écoulement souterrain.

En Région wallonne, les eaux souterraines sont pour la plupart légèrement basiques étant donné que les aquifères les plus importants sont tous situés dans des matériaux carbonatés (calcaires, craies) [voir RES EAU 1]. Dès lors, plus de 95 % des volumes d'eau souterraine prélevés en Région wallonne sont des eaux de type bicarbonaté calcique, présentant des valeurs de pH supérieures à 7 [↘ FIG EAU 3-5]. Les eaux faiblement minéralisées prélevées dans le massif schisto-gréseux ardennais sont quant à elles modérément acides et plus agressives[15]. Les conséquences éventuelles de l'acidité et de la dureté des eaux brutes sur la qualité de l'eau de distribution sont développées au chapitre SANTE 3.

FIG EAU 3-5 *Distribution des volumes d'eau souterraine prélevés à des fins de distribution publique en Région wallonne en fonction du pH de l'eau (moyenne 1994-2000)*



Données de pH disponibles uniquement pour 550 sites de captages représentant un volume d'eau prélevé de 197 millions de m³

***Source** : MRW-DGRNE-DE (Etat des nappes d'eau souterraine de la Wallonie)*

L'ACIDIFICATION DES EAUX ET LA PERTE DE BIODIVERSITÉ

En Europe occidentale, les premiers signes de l'acidification des ruisseaux sont apparus au début des années 1980, lorsque des associations de pêcheurs, constatant la disparition de populations de truites, ont alerté la communauté scientifique. L'acidification des eaux de surface, dont la baisse du pH représente le principal symptôme, a des répercussions majeures sur le fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Des effets indirects sont également associés à l'acidification des eaux et des sols du bassin versant, comme :

- le manque de calcium en solution. Cet élément est indispensable à la formation des coquilles des mollusques et de la cuticule des crustacés ;
- la mise en solution[16] d'éléments traces métalliques (ETM) présents dans les sols, tels que l'aluminium, le cadmium, le mercure ou le cuivre. Ces substances perturbent la photosynthèse des végétaux et peuvent être mortelles à faible dose pour les poissons et les autres organismes aquatiques.

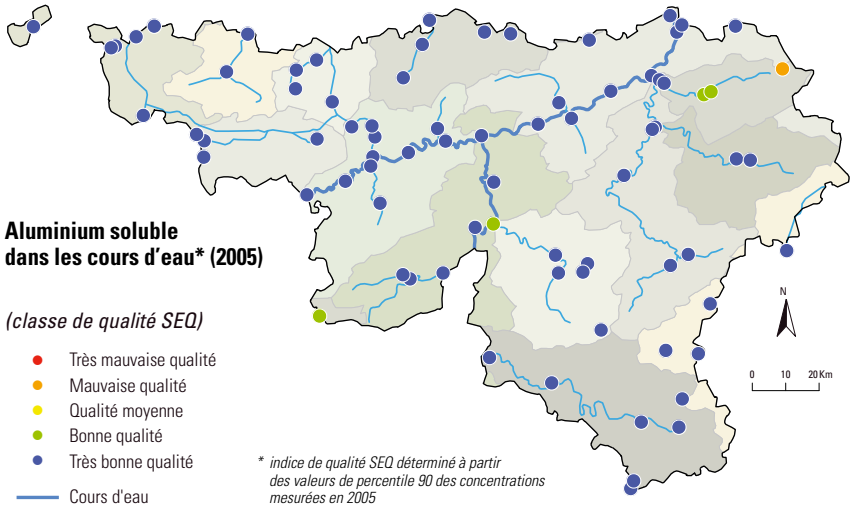
En Région wallonne, les concentrations en aluminium soluble mesurées en 2005 dans 78 sites du réseau de surveillance ne présentaient aucun problème du point de vue de l'aptitude biologique des cours d'eau. Seul le site de contrôle de Raeren située sur une portion naturellement très acide de la Vesdre (pH minimum de 3,84) présentait une eau de mauvaise qualité pour ce paramètre. [↘ CARTE EAU 3-3]

De nombreux travaux de recherches se sont attachés à étudier la toxicité des eaux acides sur les organismes aquatiques, en particulier chez différentes espèces de poissons acido-sensibles[17]. Ces études ont montré que les poissons soumis à un stress acide (c'est à dire à des concentrations élevées en protons et/ou en aluminium sous certaines formes) connaissent un dysfonctionnement de la régulation ionique du sang ou de l'hémolymphe, les organismes n'arrivant plus à réguler les pertes d'ions. On constate également une altération des capacités reproductrices des poissons et une mortalité élevée durant les stades précoces. Cette situation est amplifiée quand les eaux présentent une carence en calcium et en magnésium, ce qui s'avère être souvent le cas.

Une des conséquences les plus marquantes de l'acidification des eaux concerne la réduction de la biodiversité. Certaines études ont estimé qu'environ 70 % des taxons d'invertébrés aquatiques (un des maillons essentiels des réseaux trophiques) pouvaient disparaître dans les cours d'eau fortement acidifiés, situés pour la plupart en amont de toute activité anthropique. La perte de taxons acido-sensibles touche tous les groupes faunistiques majeurs. Ainsi, les mollusques, les crustacés et les éphéméroptères sont éradiqués dès que le pH moyen des cours d'eau est inférieur à 6,3. Les sangsues et les escargots font également partie des premières espèces victimes de l'acidification. Le saumon, la truite et le gardon sont particulièrement sensibles lorsque le pH de l'eau passe en dessous de 5,5, tandis que le brochet et l'anguille semblent être plus résistants. En outre, l'augmentation de l'acidité de l'eau favorise le remplacement de certaines plantes aquatiques (comme les macrophytes) par des mousses et des sphaignes, qui avec le temps tapissent les substrats peu profonds et détruisent les frayères. [↘ FIG EAU 3-6]

Même si la qualité physico-chimique de l'eau est restaurée, une recolonisation à court ou moyen terme des cours d'eau peut être difficile du fait de la fragmentation actuelle des populations et de la faible capacité de dispersion de certaines espèces. Des études ont également montré que la dégradation de la matière organique était fortement ralentie dans les cours d'eau acidifiés. Celle-ci représente une source essentielle d'énergie pour de nombreux macro-invertébrés détritivores qui risquent de disparaître, alors qu'ils constituent un élément important de la chaîne alimentaire pour les espèces des niveaux trophiques plus élevés (comme les oiseaux aquatiques, p. ex.).

CARTE EAU 3-3



***Source :** MRW-DGRNE-DE (Base de données AQUAPHYC, SEQ-EAU (Aptitude à la biologie)).*

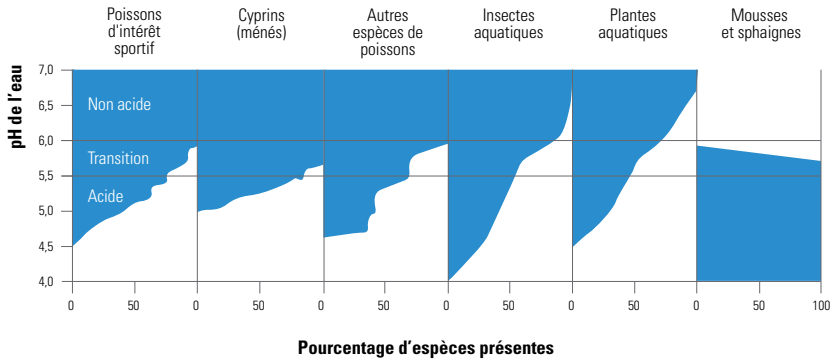
Les cours d'eau se restaurent mais les océans deviennent de plus en plus acides

Alors que l'acidité des eaux douces évolue vers un retour à la normale, grâce à une réduction massive et quasi généralisée des émissions atmosphériques de polluants acidifiants, l'eau de mer devient, quant à elle, de plus en plus acide à une vitesse et dans des proportions jugées alarmantes par de nombreux scientifiques. L'acidification croissante des océans s'explique essentiellement par l'augmentation des concentrations de gaz carbonique (CO_2) rejeté dans l'atmosphère. Celui-ci intervient, non seulement en tant que gaz à effet de serre dans les changements climatiques [voir AIR 1], mais aussi dans la chimie des eaux océaniques. Ce gaz provoque en effet, lorsqu'il se dissout dans l'eau, une augmentation des concentrations en protons (H^+).

Au cours de ces 200 dernières années, les océans auraient absorbé près de la moitié des quantités de CO_2 issu de la combustion des carburants fossiles, soit environ 120 milliards de tonnes. Par conséquent, le pH des eaux océaniques (qui est en moyenne de 8,2) a diminué de 0,1 unité au cours du 20e siècle. Si comme semblent l'indiquer les tendances actuelles, la production de CO_2 liée aux activités humaines continue d'augmenter, le pH des eaux océaniques pourrait diminuer, d'ici la fin du siècle, de 0,14 à 0,35 unité (EUR-OCEANS, 2006[18] ; GIEC, 2007[19]).

Autre conséquence, cette déstabilisation des propriétés chimiques des océans réduit la concentration en carbonates, qui avec le calcium, est un élément indispensable à la synthèse de certaines formes de calcaire. Or, celui-ci intervient dans la formation des coraux, des coquilles et des squelettes externes de plusieurs microorganismes planctoniques, premiers maillons de la chaîne alimentaire marine (ptéropodes, foraminifères...). Selon les études récemment publiées dans la revue Nature, certains d'entre eux pourraient totalement disparaître dès 2030 dans l'Océan Austral et dans certaines zones du Pacifique. En outre, les experts estiment que d'ici 50 ans, l'acidification des océans aura inévitablement altéré la croissance, la reproduction et la survie de nombreux organismes aquatiques. C'est la raison pour laquelle l'Europe va inscrire l'acidification des océans comme un thème de recherches à part entière dans son 7e Programme cadre de recherche et développement.

Fig EAU 3-6 *Diminution de la diversité biologique attribuée à l'acidification des eaux de surface*



Source : *Ministère québécois du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (http://www.mddep.gouv.qc.ca/air/pre_acid/brochure/texte1.htm)*

Enjeux et perspectives

L'analyse des principaux indicateurs de l'acidification des cours d'eau et des réservoirs de barrage en Région wallonne montre une amélioration perceptible de la qualité chimique des eaux de surface, comme c'est le cas également dans la plupart des autres régions européennes.

Ce résultat encourageant est essentiellement le fruit des actions entreprises au niveau européen, dans le cadre de la Convention sur la pollution de l'air transfrontière à longue distance (LRTAP, voir AIR 3) pour réduire les émissions atmosphériques de soufre (et dans une moindre mesure d'azote). Une amélioration substantielle est encore attendue dans les 10 prochaines années, à condition que les objectifs du Protocole de Göteborg sur les émissions de polluants acidifiants (entré en vigueur en mai 2005) et des directives européennes qui l'accompagnent, soient atteints dans l'ensemble des Etats membres. La réduction des émissions atmosphériques d'azote acidifiant, beaucoup plus difficile à réaliser que celle des émissions de soufre, apparaît comme le principal défi à relever en Région wallonne, mais aussi au niveau des régions limitrophes, afin de poursuivre la restauration et la protection des écosystèmes aquatiques les plus sensibles à l'acidification.

Par ailleurs, des actions doivent également être menées en parallèle, en vue de réduire les rejets directs de substances acidifiantes dans les eaux de surface (nitrate, sulfate, acides organiques...). Les grands enjeux auxquels les autorités wallonnes doivent répondre dans ce domaine font partie des questions importantes[20] sur lesquelles se baseront les futurs plans de gestion prévus par la directive-cadre européenne sur l'eau (2000/60/CE). Ceux-ci auront pour objectif de permettre aux eaux de surface d'atteindre le bon état écologique d'ici 2015. Les efforts doivent porter principalement, d'une part, sur le développement et l'optimalisation de la collecte et du traitement des eaux usées urbaines et industrielles [voir EAU 1] et d'autre part, sur une gestion efficace de l'azote d'origine agricole [voir AGR et EAU 2]. Ces mesures permettront également de lutter contre l'eutrophisation des cours d'eau.

Il faut cependant tenir compte des nombreuses incertitudes qui pourraient compromettre la restauration de la qualité physico-chimique et biologique des eaux de surface. Ces incertitudes concernent essentiellement le rôle de l'azote (saturation des sols des bassins versants) et des changements climatiques, qui influencent les concentrations en nitrates et en substances organiques dans les cours d'eau.

L'intérêt tant scientifique que politique porté à la problématique de l'acidification des eaux de surface s'est fortement étiolé ces dernières années, le problème étant perçu comme pratiquement résolu. Pourtant, de nombreuses questions restent sans réponses, comme celles concernant la régénération de l'environnement biotique. Quelques pistes permettant

d'améliorer le suivi de cette problématique en Région wallonne sont proposées ci-dessous :

- poursuivre et renforcer la mesure des paramètres indicateurs de l'acidification des eaux, au sein des nouveaux réseaux de surveillance mis en place pour satisfaire les exigences de la directive-cadre européenne sur l'eau. Ainsi, le suivi régulier de la qualité des lacs de barrage, qui était lacunaire jusqu'à présent, devrait prochainement faire l'objet d'un programme de surveillance spécifique à long terme[21];
- confirmer le retour à la normale de la qualité des eaux par des mesures biologiques. En effet, les données témoignant d'une réponse biologique à la régression de l'acidification des eaux de surface sont sporadiques en Région wallonne. Il est dès lors difficile de savoir si les améliorations de la qualité chimique de l'eau sont suffisants pour que les espèces sensibles à l'acidification puissent se rétablir. L'application de modèles biogéochimiques dynamiques permettrait de prévoir le temps nécessaire à la régénération des écosystèmes ;
- améliorer et actualiser régulièrement le calcul des charges critiques en polluants acidifiants et leurs dépassements éventuels dans les écosystèmes aquatiques ;
- mesurer fréquemment les concentrations des formes d'aluminium toxiques pour la faune et la flore aquatique, afin de déterminer les valeurs extrêmes et les fréquences des pics de concentration ;
- favoriser une gestion durable des écosystèmes forestiers et agricoles qui permette d'éviter l'acidification des sols et des cours d'eau ;
- ...

Enfin, il conviendra d'être attentif à une problématique émergente. Il s'agit du phénomène de la déminéralisation rapide des eaux, touchant aussi bien des cours d'eau acidifiés que des cours d'eau non acidifiés. Ce processus, déjà observé dans les Vosges, résulte de l'appauvrissement conjoint des sols forestiers et des dépôts atmosphériques en cations alcalins (calcium, magnésium) [voir SOLS 1]. Les conséquences possibles de cette déminéralisation sur les organismes aquatiques font l'objet actuellement de recherches dans certains pays voisins.

Remerciements

Nous remercions pour leur collaboration et/ou relecture :

Xavier COGELS, Claude FAUVILLE, Vincent GUISSARD, Catherine HALLET, Patrick HENNEBERT, Saadia IMERZOUKENE, Jean-Paul LEDANT, Yves MARNEFFE, Jean-Luc VASEL et Dominique WYLOCK

Sources principales

SITEREM, CELINE et ISSeP. 2006. *Analyse spatio-temporelle du dépassement des charges critiques en polluants acidifiants en Région wallonne. Analyse selon le type d'écosystème et mise en relation avec les quantités émises de substances acidifiantes.* Rapport final de Convention MRW-DGRNE. 193 p.

Conseil économique et social des Nations Unies, Commission Economique pour l'Europe, Organe exécutif de la Convention sur la Pollution atmosphérique Transfrontière à Longue Distance. 2003. *Le rapport sur 15 ans : Acidification des eaux de surface en Europe et en Amérique du Nord*, 11 p.

Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) : *Les conséquences de l'acidification* : http://www.nancy.inra.fr/acidification/Consequences/degradation.html

Ministère québécois du Développement durable, Environnement et Parcs. *Les lacs acides au Québec* – 2004 : http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/lacs_acides/2004/partie2.htm

RADDUM, G.G., FJELLHEIM, A. & SKJELKVALE, B.L. 2001. Improvements in water quality and aquatic ecosystems due to reduction in sulphur deposition in Norway. *Water Air Soil Pollut.*, 130, 87-98.

SKJELKVALE, B.L., STODDARD, J.L. & ANDERSEN, T. 2001. Trends in surface waters acidification in Europe and North America (1989-1998). *Water Air Soil Pollut.*, 130, 787-792.

WILANDER, A. 2001. How are results from critical load calculations reflected in lake water chemistry ? *Water Air Soil Pollut.*, 1, 525-532.

(1) Le pouvoir tampon d'un sol représente sa capacité à s'opposer à des variations brutales de pH lorsqu'il est soumis à des apports de substances acides. La capacité tampon d'un sol dépend de la nature de ses constituants : les sols les mieux tamponnés sont ceux qui contiennent des réserves importantes en matière organique et en calcaire actif.

(2) Les cations «basiques» sont le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le potassium (K) et le sodium (Na).

(3) L'azote non consommé par les plantes et les microorganismes s'accumule dans le sol jusqu'à un certain niveau de saturation au-delà duquel les sols libèrent l'excédent d'azote sous forme de nitrates [voir SOLS 4]. Le réchauffement climatique accélererait le phénomène en favorisant l'activité microbienne et la minéralisation de la matière organique.

(4) L'alcalinité de l'eau est une mesure de la capacité de l'eau à absorber des protons H^+ pour arriver à un état de référence. L'alcalinité totale de l'eau se mesure par le titre alcalimétrique complet (TAC) qui correspond à $[CO_3^{2-}] + [HCO_3^-] + [OH^-] - [H^+]$ avec [ ] = concentration en µéq/l.

(5) Il existe différentes relations empiriques pour déterminer les niveaux de concentrations critiques en sulfates dans les eaux de surface [dossier scientifique].

(6) Les échantillons sont prélevés en général toutes les quatre semaines. Les données concernant certaines stations de mesures peuvent être consultées à l'adresse suivante : http://aquaphyc.environnement.wallonie.be

(7) L'indice diatomique IPS (indice de polluosensibilité spécifique) mesuré dans ces cours d'eau est très élevé (19/20 ou 20/20). Les stations qui possèdent des communautés de diatomées de type fagnard sont dès lors considérées comme des sites de référence, au niveau wallon et européen (pour les exercices d'interétalonnage des indices de qualité biologique p. ex [voir FFH 3]).

(8) FEVRIER, C., PARTY, J-P. et PROBST, A. 1999. Acidification des eaux de surface et charges critiques d'acidité : le cas du massif des Ardennes françaises. *C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la terre et des planètes*, 328, 29-35.

(9) International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring Rivers and Lakes (ICP Waters): http://www.unece.org/env/wge/waters.htm

(10) C'est également le cas dans le département des Vosges où aucune tendance significative à l'augmentation de l'ANC n'a été observée depuis 1994, malgré le fait que la diminution des concentrations en sulfates dans les cours d'eau y soit très marquée (Université Paul Verlaine de Metz, F. Guerold, 2003).

(11) Bilan théorique d'importation-exportation d'azote dans les sols agricoles réalisé à l'échelle de la Région wallonne suivant une méthodologie développée par l'AEE et l'OCDE (projet IRENA : http://themes.eea.europa.eu/IMS/IMS/ISpecs/ISpecification20041007132056/full_spec).

(12) Des variations climatiques à court et à long terme peuvent modifier les concentrations en nitrates et en acides organiques dans les cours d'eau et constituer ainsi un bruit de fond qui peut masquer les tendances sur le long terme.

(13) Des relations empiriques ont été établies entre les valeurs d'ANC de l'eau et une série d'indicateurs biologiques. Voir notamment : LIEN, L., RADDUM, G.G., FJELLHEIM, A. & HENRIKSEN, A. 1996. A critical limit for acid neutralizing capacity in Norwegian surface waters, based on new analyses of fish and invertebrate responses. *Science of Total Environment*, 177, 173-193.

(14) Les modèles élaborés pour déterminer les charges critiques en polluants acidifiants ne considèrent pas d'autres sources d'apports que les retombées atmosphériques. Ces modèles ont donc été utilisés tels quels pour les réservoirs de la Gileppe, d'Eupen et du Ry de Rome, dont les bassins versants sont occupés à plus de 75 % par la forêt. Les équations ont par contre été adaptées pour les autres réservoirs car ceux-ci recoivent de nombreux apports d'azote provenant directement d'activités anthropiques (agriculture, effluents de stations d'épuration...).

(15) Etat des nappes d'eau souterraine de la Wallonie : http://mrw.wallonie.be/dgrne/de/eso/atlas/index.htm

(16) En général lorsque le pH des sols est inférieur à 5.

(17) Il faut souligner que des valeurs de pH trop élevées (eaux basiques) peuvent aussi engendrer une toxicité pour les organismes aquatiques, en influençant par exemple la formation d'ammoniac non ionisé.

(18) Communiqué de J. ORR, directeur de recherche au CEA et de J.-P. GATTUSO, directeur de recherche au CNRS, membres du réseau européen d'étude des écosystèmes océaniques EUR-OCEANS (http://www.eurocean.org/)

(19) Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat. 2007. Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. [voir AIR 1]

(20) Etat des lieux des districts hydrographiques : http://environnement.wallonie.be/directive_eau/pg_menu/rapfaitiers.asp?Menu=2

(21) Les réservoirs de barrage en Région wallonne sont assimilés à des masses d'eau de surface artificielles et fortement modifiées, pour lesquelles des conditions de référence caractéristiques doivent être établies afin de définir leur potentiel écologique maximal (directive 2000/60/CE).