

Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 88 (1990)

Heft: 3

Artikel: Le Lac Léman : les sédiments, l'eau et la pollution

Autor: Arbouille, D. / Vernet, J.-P.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-234318>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 01.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Le Lac Léman: Les sédiments, l'eau et la pollution

D. Arbouille, J.-P. Vernet

Le Léman constitue, avec un volume moyen de 89 km³, la plus grande masse d'eau douce d'Europe occidentale. L'équilibre naturel du Léman a été rompu par suite de l'accroissement de la concentration urbaine, des activités agricoles, industrielles et touristiques. La pollution qui en résulte atteint les eaux du lac mais aussi les sédiments, c'est à dire l'ensemble des particules transportées d'origine détritique ou organique et des matières précipitées.

Mit einem Durchschnittsvolumen von 89 km³ stellt der Genfersee die grösste Süßwassermasse Westeuropas dar. Infolge des zunehmenden Städtewachstums, der landwirtschaftlichen und industriellen Nutzung sowie des Tourismus, wurde das natürliche Gleichgewicht des Genfersees gestört. Die Verschmutzung, die hierbei entstanden ist, betrifft sowohl das Seewasser als auch die Sedimente (d.h. die Menge der Partikel klastischen oder organischen Ursprungs, sowie der ausgefallenen Stoffen).

Une masse d'eau en mouvement

Le Léman est un système dynamique, ses eaux constamment mises en mouvement se renouvellent et le temps de séjour

moyen des eaux est théoriquement de l'ordre de 12 ans.

Outre son écoulement propre, particulièrement net dans le Petit Lac en raison d'une section plus faible, le Léman est soumis à une hydrodynamique efficace. Des courants de convection thermique, horizontaux et verticaux, sont induits par la stratification thermique des eaux. Ces mouvements entraînent un mélange des eaux

plus ou moins actif en fonction du gradient thermique et des saisons. Lors des hivers rigoureux, le brassage affecte l'ensemble de la masse d'eau.

D'importants courants de surface sont également dus à l'action mécanique du vent. Ils provoquent un déplacement des eaux de surface vers la côte et induisent des courants de retour en profondeur et de direction opposée. Le mouvement de rotation de la Terre provoque la formation de courants d'inertie.

L'existence de courants induits par les rivières et notamment par le Rhône est aussi clairement démontrée. En effet, les eaux de ce fleuve s'interstratifient dans les eaux du lac à des profondeurs variables selon les saisons. L'épaisseur de cette veine d'eau diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'embouchure du Rhône, de même que les courants liés à cette interstratification. Il existe également des courants de densité chargés d'alluvions (courants de turbidité) qui empruntent généralement les canyons sous-lacustres. Les masses d'eau turbide s'étalent ensuite en nappe dans les couches d'eaux profondes du lac. Ces courants de turbidité, déjà mentionnés en 1892 par F.-A. Forel, sont particulièrement efficaces dans le delta du Rhône. Ils peuvent également être provoqués par des glissements sédimentaires

THEMA N° 8, Magazine sur la recherche scientifique dans les hautes écoles suisses.

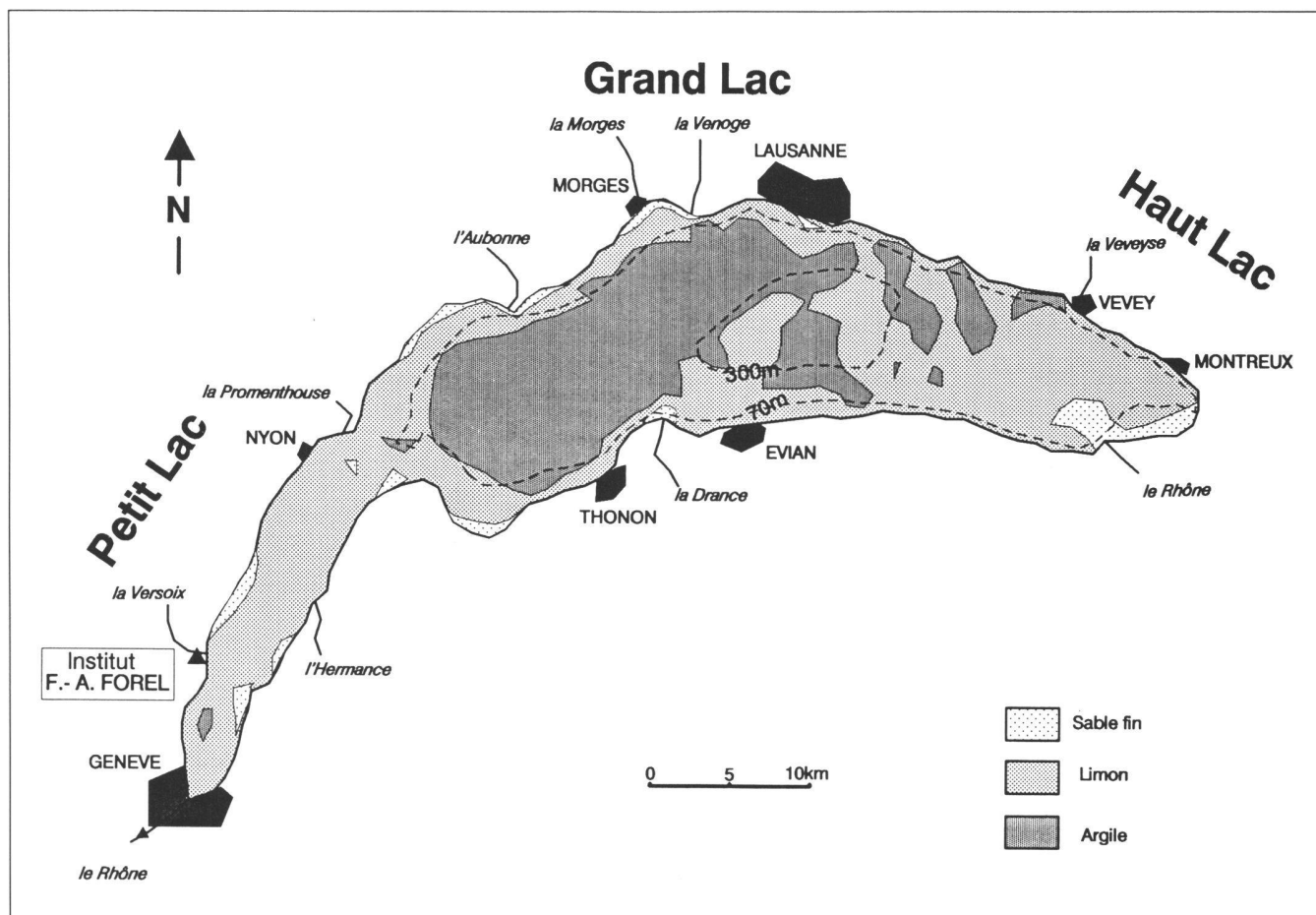


Fig. 1: Répartition des différents types de sédiments du Léman.

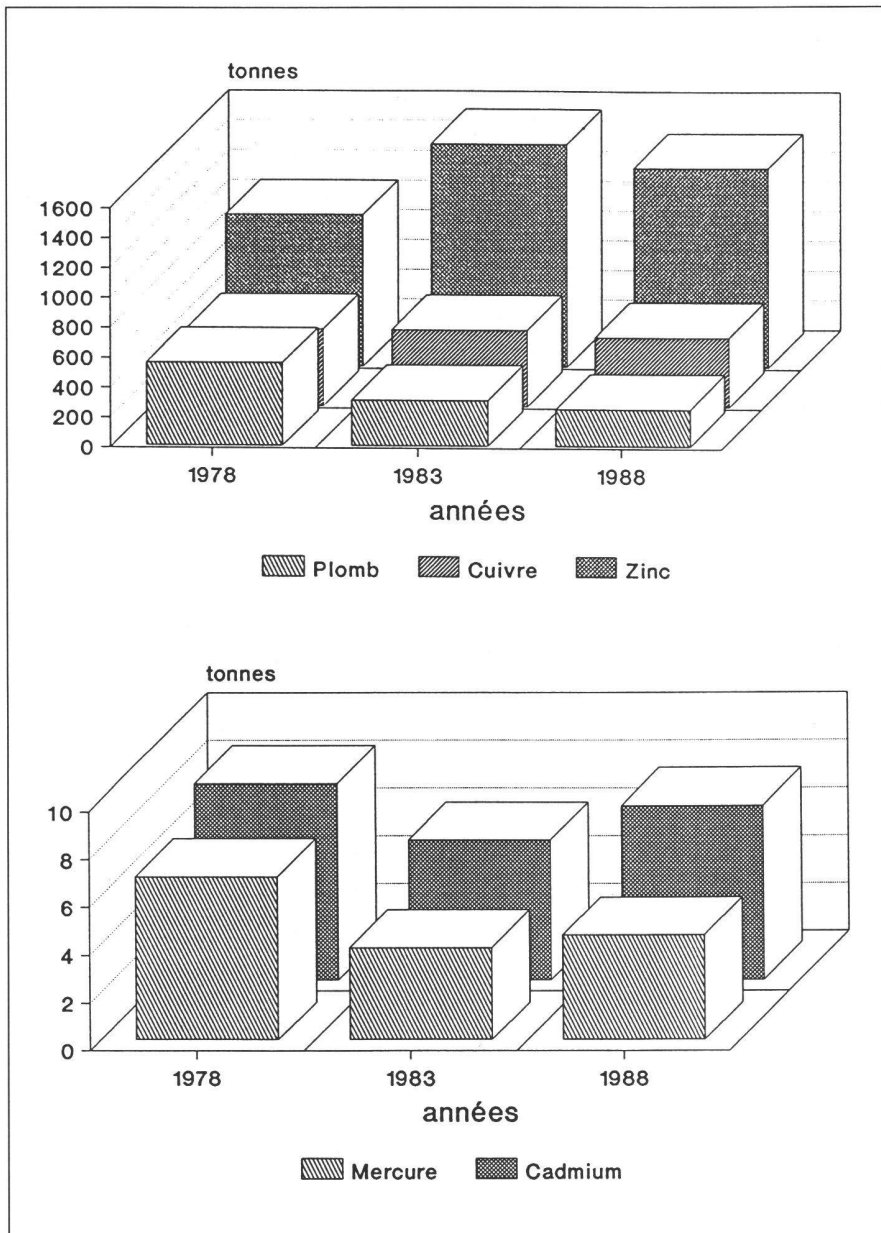


Fig. 2: Variations des stocks de métaux lourds dans les sédiments du Léman depuis 10 ans (estimation sur une épaisseur de 2 cm de sédiments superficiels avec une teneur en eau moyenne de 18,5%). La forte augmentation du zinc, observée en 1983 serait dûe à une pollution accidentelle provoquée par des fuites d'une cuve de stockage d'un atelier de zingage dans la banlieue de Lausanne.

L'Institut Forel

François-Alphonse Forel (1841–1912) est né à Morges sur les rives du léman. Professeur de médecine à l'Université de Lausanne, F.-A. Forel consacra l'essentiel de sa vie à l'étude du Léman. Précurseur et fondateur de la limnologie, il est l'auteur de l'ouvrage «Le Léman», premier et plus célèbre traité de cette nouvelle science. L'Institut Forel perpétue la mémoire de ce grand savant et poursuit son œuvre. Créé par le Professeur Jean-Pierre Vernet en 1970, il a été officialisé en 1980 comme Institut de l'Université de Genève.

L'Institut Forel a pour domaines d'étude la limnologie, l'océanologie et la géologie de l'environnement. Le Léman est son laboratoire et la protection du bassin lémanique son but privilégié. L'Institut étudie la contamination par les métaux lourds, les formes chimiques du phosphore, les radio-isotopes et les micropolluants dans les domaines de l'eutrophisation, de la pollution diffuse, de la bio-disponibilité et de la datation des sédiments.

L'Institut a trois missions principales:

- développer l'enseignement et les recherches fondamentale et appliquée dans les domaines précités;
- entretenir des collaborations suisses et internationales avec les institutions étudiant les mêmes disciplines;
- être un lien entre l'université et les communautés publiques.

sous-lacustres et entraînent des phénomènes d'érosion et de remise en suspension des sédiments.

Le Léman est de plus soumis à des phénomènes dynamiques comme les vagues ou des oscillations rythmiques des eaux du lac dues à des différences locales de pression atmosphérique: les seiches. L'ensemble de ces phénomènes dynamiques est primordial pour la santé du lac. Les échanges verticaux sont en particulier responsables des apports en oxygène vers les couches d'eaux profondes. Les variations du taux d'oxygène dissous dans l'eau en profondeur gèrent la circulation

des matières nutritives et le relargage éventuel de nutriments ou de contaminants à partir des sédiments récents.

Les sédiments, vecteurs de transport des polluants

Les particules sédimentaires minérales ou organiques fixent très rapidement les ions polluants du milieu. Ce pouvoir de fixation est si grand dans les fractions fines que la saturation n'est jamais atteinte. Il en résulte que les sédiments sont les vecteurs préférentiels d'apport et de transport des contaminants.

Le Rhône transporte en moyenne 6 à 7 millions de tonnes par an de matériaux en suspension, avec des valeurs extrêmes de 9 millions de tonnes pour les années humides et 4 millions de tonnes pour les années sèches.

Les apports sédimentaires de la Dranse de Savoie sont équivalents à ceux de tous les autres affluents réunis, Rhône excepté. Ils sont de l'ordre de 0,5 à 1 million de tonnes par an. On estime ainsi à 8 millions de tonnes par an le débit solide sec apporté au Léman par ses affluents. A Genève, la charge solide du Rhône n'est plus que d'environ 30 000 tonnes par an.

Ces chiffres impliquent un taux théorique de sédimentation de l'ordre de $1,4 \text{ g/cm}^2/\text{an}$. La vitesse de sédimentation est naturellement très variable d'un point à un autre du lac, mais ces estimations montrent que le Léman est un véritable bassin de sédimentation des particules minérales ou organiques et des contaminants qui leurs sont associés.

De ce fait, connaissant les points d'apports et disposant d'une carte granulométrique des sédiments du lac (figure 1), on peut localiser les zones contaminées, généralement associées aux zones de sédimentation des particules les plus fines (argiles).

Les sédiments les plus fins se déposent préférentiellement dans la partie ouest de la Plaine Centrale (zone située au delà de 300 m de profondeur), sur la pente précédant le seuil morphologique d'Yvoire, qui sépare le Grand Lac du Petit Lac.

Les zones directement influencées par les apports fluviaux se marquent par des sables et des limons. On peut ainsi distinguer le delta et prodelta du Rhône avec un éventail de sables et de limons qui atteint la Plaine Centrale, ainsi que ceux de la Dranse dont les sédiments s'orientent vers le nord-est en direction de la Plaine Centrale. Les apports des rivières de moindre importance sont moins visibles (Venoge, Aubonne, Promenthouse) ou masqués par l'influence prépondérante du Rhône (Veveyse, etc. à l'est dans le Haut Lac).

La mince zone côtière est caractérisée par des sables provenant des eaux de ruissellement, de l'érosion des côtes ou du vanage par les vagues des apports des petites rivières.

L'histoire de la contamination de l'eau

Les sédiments sont la mémoire de la contamination des eaux d'un bassin, aussi peut-on reconstituer son histoire par l'étude détaillée de carottes de sédiments. Cette permanence de l'enregistrement permet de remonter aux sources de rejet et d'en déterminer l'importance.

Les études de la contamination des sédiments superficiels du Léman ont été entreprises dès 1968. Elles ont mis en évidence l'importance de la pollution des sédiments par les métaux lourds. L'évolution des stocks de certains contaminants (mercure, cuivre et plomb) montre que la tendance générale au cours des dix dernières années est à la stabilité, voire la diminution de la pollution de l'eau et des sédiments du Léman (figures 2a et 2b). D'autres métaux lourds, tels le cadmium et le zinc, suivent une évolution qui pourrait par contre devenir inquiétante. Cette pollution par les éléments métalliques est, en grande partie, imputable aux rejets des stations d'épuration et des industries dans

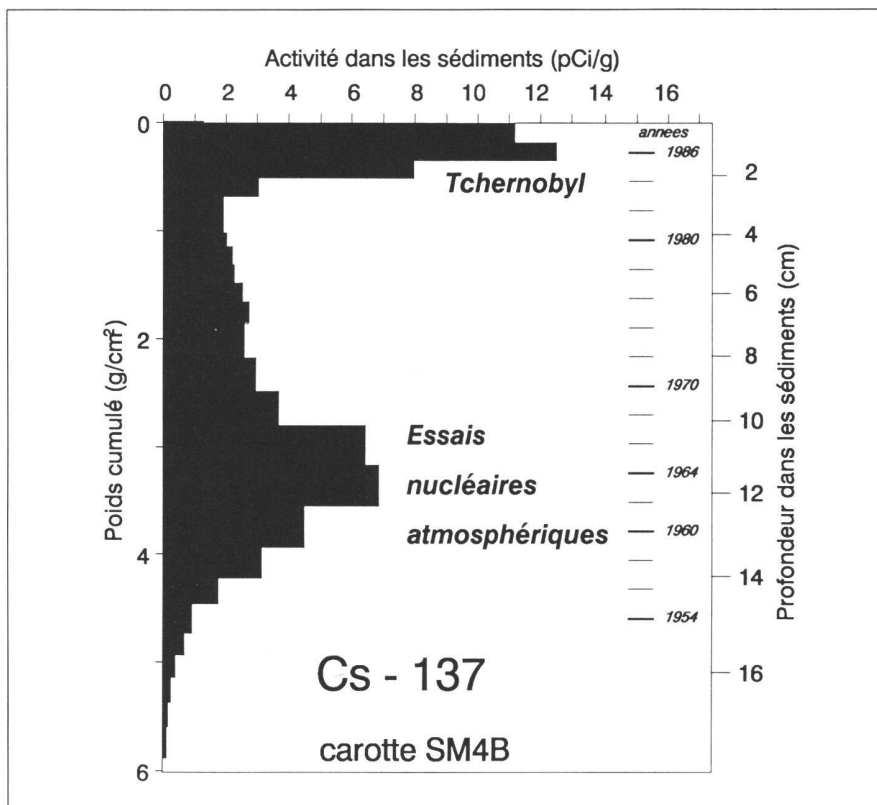


Fig. 3: Enregistrement dans les sédiments des pollutions par les retombées nucléaires atmosphériques.

les affluents du Léman. La région la plus contaminée est la baie de Vidy-Lausanne. La pollution gagne ensuite les zones plus éloignées et plus profondes avec un stockage préférentiel dans les sédiments fins de la partie ouest de la Plaine Centrale. Les apports de sédiments plus grossiers en provenance du Rhône et de la Dranse ont un effet dilutif sur les polluants, mais ceci n'implique pas pour autant une absence de pollution issue de ces deux émissaires.

Les sédiments, sources interne de la contamination de l'eau

Lorsque les sédiments se déposent, ils vont évoluer lentement. Au fur et à mesure de leur enfouissement, leur teneur en eau va progressivement diminuer par tassement. Les particules sédimentaires vont ainsi passer de conditions oxydées dans les couches sédimentaires de surface à des conditions réduites des couches plus profondes. De tels changements physico-chimiques vont permettre à une partie des contaminants et des nutriments fixés sur les particules de passer dans l'eau interstitielle, puis de diffuser dans l'eau libre du lac. Les oxydes de fer, particulièrement sensibles à ce phénomène, peuvent libérer des phosphates qu'ils avaient ad-

sorbés. Ces phénomènes de relargage varient suivant les saisons en fonction de la teneur en oxygène dissous des eaux du fond.

En été, les phosphates

Lorsque les eaux du fond sont riches en oxygène (conditions oxydées: situation d'hiver après brassage des eaux du lac), les couches sédimentaires de surface sont constituées de sédiments oxydés, riches en hydroxydes de fer et en phosphore. Cette barrière d'oxyde limite la diffusion du phosphore dans les eaux du lac. Quand les conditions d'oxygénation se détériorent (situation d'été, stratification des eaux du lac), les sédiments réagissent différemment. Ils sont réduits dès les premiers centimètres. Ils subissent des transformations et une destruction des oxydes de fer qui libèrent les phosphates dans l'eau interstitielle puis dans l'eau libre du lac. Les concentrations en phosphore dissous augmentent dans les eaux profondes du lac.

Les sédiments sont alors devenus une source interne de nutriments qui diffusent dans les eaux libres lacustres. On assiste ainsi à une décontamination naturelle du sédiment au détriment de l'eau libre et de sa biomasse. Il en résulte que la décontamination des eaux d'un bassin de sédi-

mentation comme le Léman ne pourra se faire que de manière très lente et très partielle.

Enfin, et pour conclure, on peut affirmer que l'eau et les sédiments sont intimement liés dans les différentes phases d'érosion, de ruissellement, de transport et de sédimentation. Il y a interaction quasi-permanente entre l'eau et les sédiments au gré des changements physico-chimiques du milieu, de la roche mère au bassin de sédimentation et jusqu'au sein même des dépôts par l'intermédiaire de l'eau interstitielle.

Tchernobyl, specte et outil

Les essais nucléaires atmosphériques dans les années soixante, ainsi que la catastrophe nucléaire de Tchernobyl en 1986, sont les causes des pollutions les plus graves à l'échelle de la planète. En effet, les retombées radioactives provoquées par ces événements sont amenées au système lacustre soit directement par les apports atmosphériques, soit indirecte-

ment par les eaux de ruissellement et les eaux fluviales. Elles sont ensuite enregistrées dans les sédiments lacustres (figure 3). Nous leur devons cependant aujourd'hui de disposer d'un excellent outil de travail pour déterminer l'âge des sédiments récents: les éléments radioactifs (^{134}Cs , ^{137}Cs). Ces éléments artificiels, ainsi que les éléments naturellement radioactifs, (^7Be , ^{210}Pb , ^{234}Th) nous permettent également d'estimer l'importance de l'érosion des sols par les eaux de ruissellement, d'apprécier la cinétique des coagulations des particules dans l'eau et de calculer les taux de sédimentation des particules dans le bassin.

Eléments indissociables

Les sédiments sont un des vecteurs de transport préférentiel des éléments contaminants du fait de leur grande capacité d'ad- et d'absorption. Ils sont aussi la mémoire de l'histoire du bassin, tant au point de vue sédimentologique que géochimique, permettant de reconstituer la

chronologie des contaminations de l'eau et des changements climatiques. Ils sont de plus une zone de stockage temporaire de nombreux éléments et sont susceptibles, dans certaines conditions, de devenir une source interne de contamination et d'eutrophisation des eaux.

On est loin, comme on le voit, de la notion d'un sédiment inerte ne jouant que peu ou pas de rôle dans les problèmes d'environnement. L'eau, les sédiments, la flore et la faune sont autant d'éléments réactifs les uns avec les autres et leur dissociation n'est pas souhaitable.

Adresse des auteurs:
D. Arbouille et
J.-P. Vernet, professeur
Institut F.-A. Forel
Université de Genève
CH-1211 Genève

Erfolge mit der Düngerberatung und den Nitrat-Schutzzonen

P. Baumann

Der Artikel gibt einen Überblick über die Entstehung, den Kreislauf und die Wirkung der Nitrate und schildert die Entwicklung insbesondere im nördlichen Teil des Kantons Luzern: das Erkennen der Ursachen, die richtige Vorgehensweise, die Massnahmen zur Reduktion der Nitrate im Wasser und die ersten Erfolge.

L'article donne un aperçu sur la formation, la circulation et les effets des nitrates; il en décrit le développement, en particulier dans la partie nord du canton de Lucerne: la reconnaissance de l'origine, la méthode exacte à utiliser et les mesures à prendre pour la réduction des nitrates dans l'eau et les premiers succès.

1. Nitrat – ein Stoff im Widerstreit der Meinungen

1.1 Stoffkreisläufe geraten ausser Kontrolle

Seit Milliarden Jahren beherrschen physikalische und biologisch bedingte Kreislaufsysteme den Planeten Erde. Es ist nun ein Merkmal unserer Zeit, dass die anthropogenen Einflüsse eine Grössenordnung erreicht haben, die sie in die Lage versetzen, die natürlichen Kreisläufe nachhaltig

zu beeinflussen und soweit zu stören, bis sie aus dem Gleichgewicht geraten. Berichte, die darauf hinweisen, dass allein im Rhein, aus dem immerhin mehr als zehn Millionen Menschen das Trinkwasser beziehen, über 1500 Schadstoffe zu identifizieren sind, vermitteln ein bedenkliches Bild über unsere Fähigkeit, künstlich in Umlauf gesetzte Stoffe unter Kontrolle zu halten. Von tragischer Bedeutung ist es, wenn an sich lebenswichtige Nährstoffkreisläufe, wie diejenigen der Phosphate und der Nitrate, mit einem Mal überbordend und entweder in stehenden Gewässern ein abnormes Algenverhalten auslösen oder ganze Grundwasserströme verunreinigen. Besonders unheilvoll wird es aber, wenn von ihrer Wirkung her hochgepreisene Herbizide wie das Atrazin mit ihren

Rückständen nach jahrelangem Einsatz plötzlich eine gefährliche Präsenz in den aquatischen Systemen manifestieren. Für uns alle stellt sich heute allen Ernstes die Frage, ob wir beim üblicherweise intensiven Einsatz der Agrochemikalien und der angeblich pflanzenschützenden Biozide aller Art in Zukunft vor Überraschungen bewahrt sind, oder ob wir bei den bereits zu Tage getretenen Verunreinigungen nur die Spitze eines Eisberges erkennen.

1.2 Formen und Herkunft der Nitrate

Nitrate sind wasserlösliche Stickstoffverbindungen, grundsätzlich ungiftig und als Salze der Salpetersäure vergleichbar mit Kochsalz. Das Element Stickstoff ist Hauptbestandteil der Luft und ein wesentlicher Baustein des Eiweisses aller Lebewesen. Die meisten Pflanzen nehmen Stickstoff in der mineralischen Form als Nitrat (auch Salpeter genannt) oder als Ammonium auf.

Neben den eiweissartigen Stoffen bilden die Pflanzen mit Stickstoff auch noch Blattgrün (Chlorophyll), Vitamine und Fermente [1]. Als Nährelement gehört Stickstoff zu den Hauptnährstoffen, ist für das Wachstum und die normale Entwicklung der Pflanzen unentbehrlich und kann auch nicht durch ein anderes Element ersetzt werden. Daraus ergibt sich die grosse Bedeutung des Nitrats im landwirtschaftlichen Pflanzenbau. Als Bestandteil eines natürlichen Nährstoffkreislaufes zirkuliert der Stickstoff über verschiedene elemen-

Gekürzte Fassung eines an der «Pro aqua – pro vita» 1989 gehaltenen Vortrages.