



**HAL**  
open science

## L'eau, de la terre au verre

Dominique Patureau, Pascale Mollier, Cécile Poulain

► **To cite this version:**

Dominique Patureau, Pascale Mollier, Cécile Poulain. L'eau, de la terre au verre : 3. En eaux troubles. INRA Magazine, 2012, 20, pp.8-12. hal-02646048

**HAL Id: hal-02646048**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02646048>**

Submitted on 29 May 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



© galam / Fotolia.com

## 3 En eaux troubles

**C'est un enjeu environnemental et de santé publique majeur. Les eaux usées sont devenues l'un des principaux vecteurs de micropolluants - et de pathogènes - vers le milieu naturel. Dans les stations d'épuration, des chercheurs de l'Inra de Narbonne tentent de comprendre le devenir des micropolluants dans les eaux et les boues. D'autres, en Avignon, s'intéressent au devenir de ces eaux usées dans l'environnement. D'autres encore, à Thonon, ont étudié les impacts de diverses pollutions mais aussi de perturbations beaucoup plus anciennes sur les lacs alpins. Tous cherchent à modéliser le devenir des pollutions dans l'écosystème pour anticiper, voire même prévoir leur évolution en réaction à des perturbations d'origine naturelle ou anthropique.**

**N**oirs, grises... Elles sont plus de 7 milliards de m<sup>3</sup> d'eaux usées d'origine domestique, industrielle et pluviale à prendre chaque année la direction des stations d'épuration françaises. Une succession de dispositifs, dépendant de la nature des eaux usées et du type de pollutions à traiter, permettent d'en extraire polluants (carbone, azote, phosphore) et pathogènes. Les eaux traitées sont ensuite rejetées pour la majeure partie d'entre elles dans le milieu naturel, le reste étant recyclé pour différents usages, notamment pour l'agriculture, les industries ou les espaces verts. « La France n'est, selon Pierre Renault, directeur de recherche à l'unité d'Avignon Environnement méditerranéen et modélisation des

agro-hydrosystèmes (EMMAH), en comparaison des pays de l'Union européenne, ni bonne, ni mauvaise élève en matière de traitement de ses eaux usées. Elle se situe dans la moyenne mais doit encore faire quelques efforts pour être parfaitement en règle avec la directive européenne de 1991 relative au traitement des eaux usées. Mieux traiter et mieux réutiliser : c'est pour nous un énorme enjeu de recherche en termes d'environnement, de santé publique et d'économie. La France est encore une privilégiée pour son accès à l'eau, mais le réchauffement du climat créera des déséquilibres hydriques dans les régions méditerranéennes. Elles devront mieux gérer et accroître le recyclage de leurs eaux ». La France ne recycle que 2% de ses eaux usées, contre 5% au total dans

le monde. Pour comparaison, Israël réutilise - principalement pour son irrigation - plus de 70% de ses eaux usées. Mais il n'est pas le seul. Chypre souhaite par exemple, dans les cinq à dix prochaines années réutiliser 100% de ses eaux usées. Et certaines villes s'essayaient même à les recycler en eau potable comme en Namibie, en Australie, ou à Singapour.

### La goutte qui fait déborder la vase

Le traitement des eaux usées repose sur l'élimination des polluants majeurs, micro-organismes et matières organiques biodégradables et nutriments comme l'azote ou le phosphore... Mais, avec plus de 110 000 substances chimiques déjà mises sur le

marché en Europe, le suivi des polluants dans les stations d'épuration est une gageure... Une circulaire de 2010 exige d'ailleurs la surveillance des micropolluants dans les stations d'épuration, mais n'impose pas encore de limites de rejet.

A partir de l'examen de données écotoxicologiques, les scientifiques ont identifié de nouvelles substances dites émergentes, pour lesquelles on ne sait pas évaluer la persistance et la dangerosité sur l'environnement. Ce sont des micropolluants organiques susceptibles d'avoir une action toxique à des concentrations infimes dans un milieu donné, comme les hormones, les nouveaux pesticides, les produits pharmaceutiques et cosmétiques et autres composés de grande consommation.

Les stations d'épuration, souvent non conçues pour éliminer les micropolluants organiques, sont ainsi un point de convergence et de dissémination vers les milieux aquatiques. Les concentrations de résidus médicamenteux peuvent atteindre plusieurs centaines de microgrammes

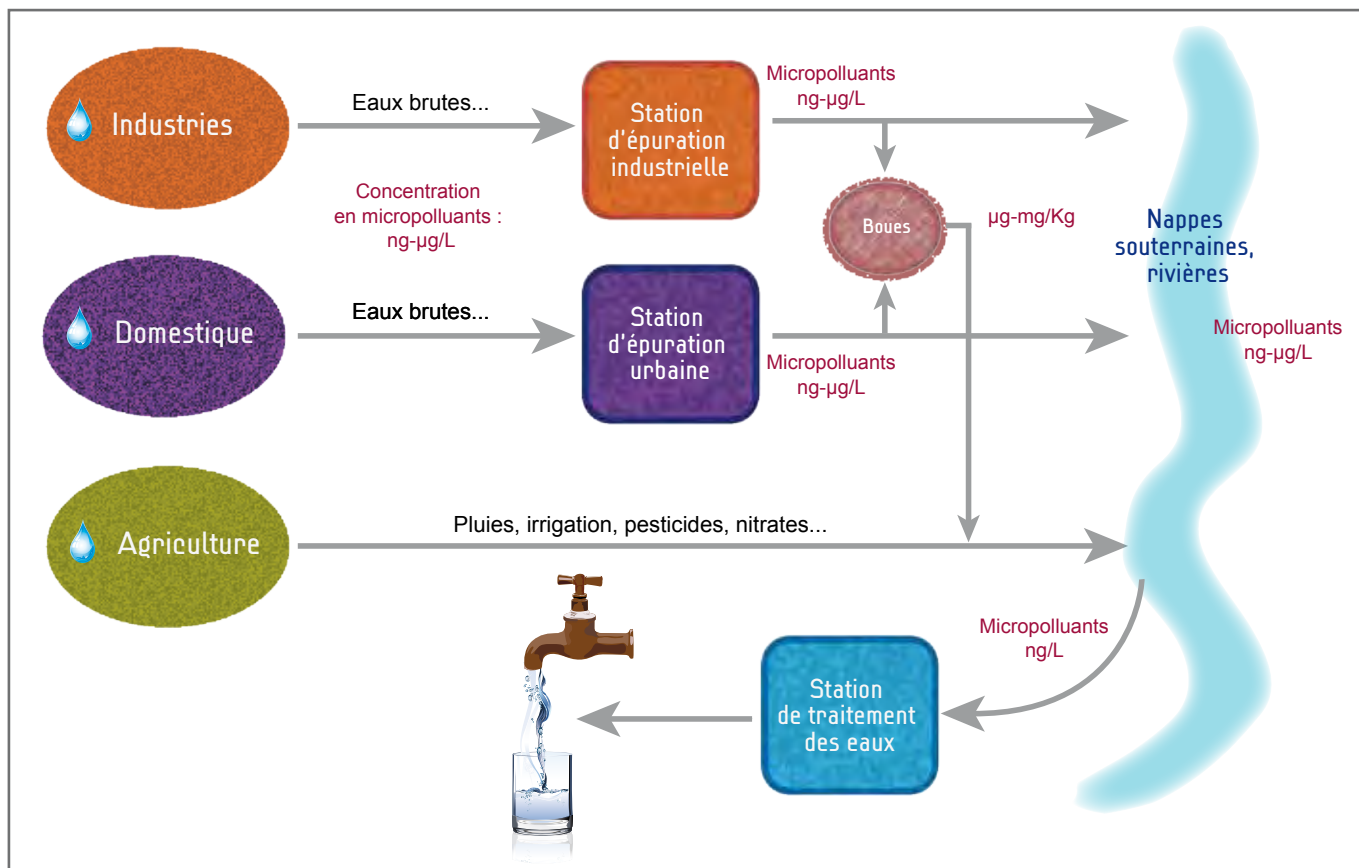
par litre dans les effluents et les eaux résiduaires, et se retrouver à des concentrations de quelques nanogrammes dans les eaux superficielles, souterraines et de consommation (voir schéma). Les rendements d'élimination des polluants par les stations d'épuration oscillent entre 30% et 99%, avec des concentrations dans les rejets entre 100 ng/L (1 ng = 1 milliardième de g) et 1 ou 2 µg/L (1 µg = 1 millionième de g). On retrouve ces polluants dans les rivières, à des concentrations de quelques ng/L ou dizaines de ng/L, et de manière moins fréquente mais aux mêmes concentrations, dans les eaux souterraines. Y compris dans les périmètres de captage de l'eau potable.

### Comme un poison dans l'eau

On a estimé que, dans le cas du paracétamol par exemple, sur l'ensemble d'une vie un adulte buvant de l'eau potable consommerait à peine l'équivalent d'un cachet. Quasi rien. Mais quid du cocktail infinitésimal ingéré sur toute une vie ? Quels impacts de

ces très faibles concentrations sur les écosystèmes aquatiques et l'être humain ? Il est aujourd'hui très difficile de mesurer ce risque : les scientifiques s'inquiètent de ces effets « cocktail », c'est-à-dire des effets synergiques des mélanges. Selon Dominique Patureau, directrice de recherche à l'unité LBE, laboratoire de biotechnologie de l'environnement de Narbonne, qui travaille sur les mécanismes d'élimination des micropolluants au cours du traitement des eaux et des résidus solides, « il existe aujourd'hui beaucoup de données mais souvent parcellaires sur la concentration en micropolluants dans les eaux usées et sur leur devenir après rejet dans les écosystèmes récepteurs. Peu étudié jusqu'à présent, le comportement des micropolluants et autres substances émergentes dans les eaux et dans les boues est devenu l'un de nos principaux domaines de recherche... Et cela intéresse. Les acteurs de l'eau nous sollicitent de plus en plus sur cette question ». Les chercheurs de l'unité ont notamment étudié le devenir des œstrogènes,

## Trajet des eaux usées et de leurs micropolluants



La concentration en micropolluants dans les eaux brutes (ng-µg/L) diminue lors de son passage en station d'épuration. Rejetés dans l'environnement, les micropolluants restants sont alors dilués dans les hydrosystèmes pour atteindre quelques ng-µg/L. Ces polluants se retrouveront, plus tard, dans les stations de traitement des eaux à des concentrations de l'ordre du ng/L (1 milliardième de gramme par litre).



hormones sexuelles utilisées dans les pilules contraceptives entre autres, rejetés dans les eaux domestiques, et l'évolution de leur activité endocrinienne sur le milieu. Un perturbateur endocrinien désigne en effet toute molécule mimant les propriétés des hormones et agissant sur l'équilibre hormonal d'espèces vivantes. Pour Dominique Patureau : « le taux de biodégradation des œstrogènes dans les stations d'épuration atteint les 90%. On en retrouve 2% dans les eaux traitées et 4% dans les boues, soit une concentration de quelques nanogrammes. Cependant, même à ces infimes quantités, on mesure des activités de perturbateurs endocriniens. Il y a bien sûr des phénomènes de dilution dans les rivières, mais par exemple quid de l'étiage, lorsque le débit du cours d'eau est à son point le plus bas ? »

L'unité EMMAH travaille quant à elle sur le devenir des pathogènes - bactéries et virus - des eaux usées dans l'environnement. Pour Pierre Renault : « les pathogènes non éliminés par les stations d'épuration et rejetés dans le milieu peuvent entraîner des intoxications alimentaires : comme des épidémies liées aux coquillages par exemple, mais également des cas ponctuels d'intoxication par les eaux potables. Nous avons notamment eu un cas en 2000 dans le Lot où un millier de personnes avaient été atteintes de gastroentérites : en cause la présence de bactéries et de virus dans les eaux, liée à une mauvaise chloration au captage... Et en 2002 en Isère, des gastroentérites d'origine virale dues à une combinaison de facteurs : le dysfonctionnement d'une station



© Bambuth / Fotolia.com

d'épuration, l'inondation du périmètre de protection d'un captage à cause des fortes pluies et le mauvais état du puits de captage ». En France, les helminthes et les protozoaires ne posent pas trop de problèmes, mais les bactéries et les

virus sont légion sous les microscopes. Une vraie soupe dans les eaux usées. On pourrait citer, entre autres, *Escherichia Coli*, des salmonelles, des légionnelles, *Vibrio cholerae*, *Campilobacteres*... « Beaucoup plus résistants mais rarement surveillés dans les eaux usées, les virus peuvent devenir un problème de santé publique. Alors qu'il faut 104 bactéries pour commencer à être malade, moins de dix virus peuvent suffire à nous infecter. D'autant plus qu'un virus peut rester infectieux quelques semaines alors qu'une bactérie peut être vite dégradée dans son environnement par les rayons solaires » explique Pierre Renault... « Dans notre unité et en collaboration avec différentes unités notamment la nouvelle TGU d'Agro-écologie de Dijon, nous travaillons particulièrement sur les virus et bientôt les bactéries antibiorésistantes. Nous avons commencé un travail expérimental sur le devenir du virus Mengo dans le sol et dans l'atmosphère, un virus proche de l'hépatite A sans en avoir le pouvoir infectieux. Comprendre le devenir du virus dans l'air est fondamental pour évaluer les risques des systèmes

### Les boues, sujet de recherche

Les boues issues des stations d'épuration représentent en France une production de 900 000 tonnes de matière sèche par an, soit 1 million de tonnes de matière brute. Elles sont épanchées pour plus de la moitié dans les champs, ce qui représente 5% de la surface agricole française. L'unité LBE, laboratoire de biotechnologie de l'environnement, s'intéresse particulièrement aux boues, le « sujet pauvre de la recherche sur les micropolluants. Les boues peuvent être chargées en micropolluants : parmi les substances éliminées à plus de 30% par des systèmes conventionnels de traitement des eaux, 65% sont simplement transférées aux boues ! L'unité étudie leur devenir au cours des procédés de traitement des boues en dénouant les interactions complexes sorption-localisation-(bio)dégradation » explique Dominique Patureau, directrice de recherche dans l'unité. En étroite collaboration avec des chercheurs des unités EGC et PESSAC de Grignon, nous nous intéressons notamment au devenir des polluants dans les champs, leur accumulation ou leur transfert dans les eaux ou dans les végétaux. « Nous suivons une multitude de micropolluants de faible teneur depuis la production, le traitement des boues jusqu'à leur utilisation sur sols agricoles et cherchons à comprendre/modéliser leur devenir en plein champ. Cela permet d'évaluer leur accumulation ou leur mobilité dans le sol, les plantes et les eaux et d'estimer potentiellement leur impact écotoxicologique ».

d'aspersion des eaux usées en irrigation. Dans le sol, les virus peuvent se déplacer sur de grandes distances. On travaille également sur les chargements en matière minérale et organique des eaux usées et leurs impacts sur les caractéristiques du sol, comme la salinité ».

### L'état des eaux s'est amélioré

Les écosystèmes aquatiques évoluent sous l'effet de changements naturels - ou de perturbations anthropiques. Si la perturbation ne dépasse pas les seuils d'irréversibilité et si elle est temporaire, l'écosystème pourra revenir à un état d'équilibre proche de son état antérieur. C'est la résilience, c'est-à-dire la capacité de l'écosystème à résister à des perturbations et à revenir à un nouvel état d'équilibre dynamique. « Le temps de résilience des écosystèmes lacustres est très différent d'un lac à l'autre. Plus les systèmes sont vastes et profonds, plus le temps de résidence des eaux est long et plus l'inertie est grande. Ce temps dépend bien sûr de la concentration de la charge polluante. Plusieurs dizaines d'années ont été nécessaires par exemple au lac Léman et au lac du Bourget (dont le temps de résidence des eaux est de onze ans et sept ans respectivement) pour revenir à leur état d'équilibre après l'apparition d'une pollution dans leurs eaux », explique Isabelle

## ADN, preuve ultime

L'unité CARTEL de Thonon prospecte, par des approches paléolimnologiques, les archives sédimentaires du lac Léman. Elle y traque l'ADN des restes des communautés passées (plancton : diatomées, cyanobactéries). « Grâce à ces observations, nous pouvons remonter l'histoire du lac et de son écosystème sur des centaines d'années. Nous avons pu suivre ainsi les réponses des populations lacustres face aux perturbations d'origine anthropique et naturelle et mesurer la manière dont elles reviennent à un état d'équilibre. C'est une échelle de temps suffisamment importante pour comprendre les interactions entre l'homme et le milieu. Nous pouvons par cette approche mettre en évidence des effets de seuil et étudier la capacité et la vitesse de résilience des systèmes », explique Isabelle Domaizon, chargée de recherche dans l'unité. Ces outils, couplant l'analyse moléculaire et la paléolimnologie (séquençage classique, séquençage massif et PCR quantitative) seront déclinés dans d'autres systèmes lacustres. Cette démarche est notamment proposée dans le cadre d'un projet européen Biodiversa (projet Bio-REAL), qui intègre les sites d'études de Norvège, Suède et Autriche. Il s'agirait, à terme, de prédire la réponse des systèmes planctoniques face à des évolutions diverses du lac (usages du bassin versant, changements climatiques, introduction d'espèces).

Domaizon, chargée de recherche à l'unité CARTEL, Centre alpin de recherche sur les réseaux trophiques des écosystèmes limniques.

En fonctionnement depuis les années soixante, l'observatoire de l'Inra sur les grands lacs péri-alpins suit l'évolution du milieu lacustre sur le long terme. Il décortique les mécanismes et les interactions multiples qui orchestrent l'écosystème et son évolution dans le temps.

L'unité, en partenariat étroit avec l'université de Savoie et l'IRSTEA de

Lyon, s'est intéressée récemment au devenir des polychlorobiphényles (PCB) dans les lacs. Malgré leur interdiction en 1987, les PCB, dérivés chlorés écotoxiques, cancérigènes et persistants, sont encore susceptibles d'être présents dans la chaîne trophique. Largement utilisés entre les années trente et les années quatre-vingt dans de nombreux produits comme les isolants, liquides de refroidissement, plastiques, adhésifs et peintures, ils ont contaminé de nombreux cours d'eau. Peu biodégradables, ils se



Collection d'échantillons (prélèvements eau, phytoplancton, etc.) conservée au Centre alpin de recherche sur les réseaux trophiques des écosystèmes limniques (CARTEL).



sont accumulés dans l'environnement. « Leur interdiction il y a plus de vingt ans, a stoppé la pression de pollution directe. Mais on les détecte toujours dans les sédiments des lacs. Nous essayons de comprendre la remobilisation des PCB des sédiments vers le milieu qui peut entraîner une contamination des macro-invertébrés benthiques. A leur tour, ils peuvent être ingérés par des poissons qui accumulent les PCB dans leurs cellules graisseuses jusqu'au consommateur final. Quelques alertes ont ponctuellement été lancées pour interdire la consommation de certaines espèces et tailles de poissons lorsque l'on détectait une contamination significative au regard des seuils européens », analyse Isabelle Domaizon.

L'observatoire a examiné les changements de concentration en phosphates et étudié leurs conséquences écologiques dans le lac Léman depuis cinquante ans. Et, bonne nouvelle, l'état des eaux s'est amélioré ! L'eutrophisation du lac a augmenté jusque dans les années 80 à cause de rejets domestiques riches en phosphates - notamment utilisés dans les lessives. Avec l'interdiction de l'usage des phosphates dans les lessives et le



© Inra / Maël Dugue

**LA LYMNÉE DES ÉTANGS (*Lymanea stagnalis*) : espèce modèle pour l'étude des effets reprotoxiques des produits chimiques sur les mollusques. Adultes en cours d'accouplement.**

développement généralisé des traitements des eaux usées, incluant des techniques de déphosphatation dans les stations d'épuration, la source de pollution s'est largement tarie. En

parallèle, pendant vingt ans, l'Inra et les gestionnaires du lac pratiquaient un repeuplement assisté d'alevins, à des fins scientifiques ou de soutien à la pêche. Ce soutien s'est progressivement réduit lorsque l'habitat naturel est revenu à un état propice au maintien spontané des populations piscicoles. Le retour à une qualité chimique des eaux plutôt satisfaisante dans les grands lacs péri-alpins, s'accompagne d'une réponse biologique complexe et notamment une modification de la diversité et de l'abondance des populations. L'unité s'intéresse désormais aux effets combinés de ce nouvel état du lac plus pauvre en nutriments et au réchauffement de la masse d'eau. L'évolution des systèmes lacustres résulte de facteurs de forçage à la fois locaux et globaux qui interagissent et dont les parts respectives nécessitent aujourd'hui d'être mieux étudiées. ●

### Réglementer à la source les perturbateurs endocriniens

Avant d'autoriser la vente d'un produit phytopharmaceutique, doit-on s'assurer qu'il n'a aucun impact sur la reproduction de l'homme et des populations animales, aquatiques ou terrestres ? Le critère « perturbateur endocrinien » peut-il être pris en compte dans l'évaluation du risque d'un pesticide avant sa mise sur le marché ? Est-ce un critère d'exclusion pertinent ? Comment l'évaluer ? Un test *in vitro* peut-il prédire les effets *in vivo* sur un organisme intact (selon la définition même d'un perturbateur endocrinien) ? Ces controverses, cruciales pour l'avenir de l'utilisation des pesticides - et de beaucoup d'autres substances chimiques (composés industriels, produits pharmaceutiques, cosmétiques) - agitent scientifiques, industriels et pouvoirs publics depuis la publication de la nouvelle Directive européenne (EC 1107/2009) sur l'évaluation des produits phytopharmaceutiques.

L'unité Ecologie et santé des écosystèmes (ESE) de l'Inra a lancé en janvier 2012 deux programmes de recherche (CREOLE et MODENDO) soutenus par l'Anses. Il s'agit d'élaborer une méthode de criblage pour évaluer les effets reprotoxiques de pesticides et biocides chez les mollusques et crustacés. Pendant trois ans, les chercheurs détermineront comment ces substances modifient l'état de santé des individus évalué par des approches de transcriptomique et protéomique, et l'expression de leur fécondité. Ils développeront des modèles pour simuler et prédire les conséquences sur les populations des altérations de la physiologie des organismes. Laurent Lagadic, directeur de recherche précise : « c'est un sujet qui préoccupe beaucoup de monde, aussi bien dans l'industrie que dans les structures chargées de l'évaluation du risque environnemental des pesticides, tant en France qu'en Europe... L'idée est de savoir dans quelles conditions et pour quelles molécules le critère d'évaluation « perturbateur endocrinien » sera pertinent ou non, s'il doit devenir un critère d'exclusion de molécules en cours d'autorisation de mise sur le marché. Les pesticides ne sont pas les seules substances concernées : leur réglementation devance souvent de quelques années les réglementations d'autres types de substances. De très nombreuses molécules ont un impact sur l'activité endocrinienne des êtres vivants. A terme, cela peut représenter un énorme écrémage des produits de chimie de synthèse ».

Dossier rédigé par **Pascale Mollier** et **Cécile Poulain**  
Responsables scientifiques :  
**Chantal Gascuel** et  
**Catherine Esnouf**