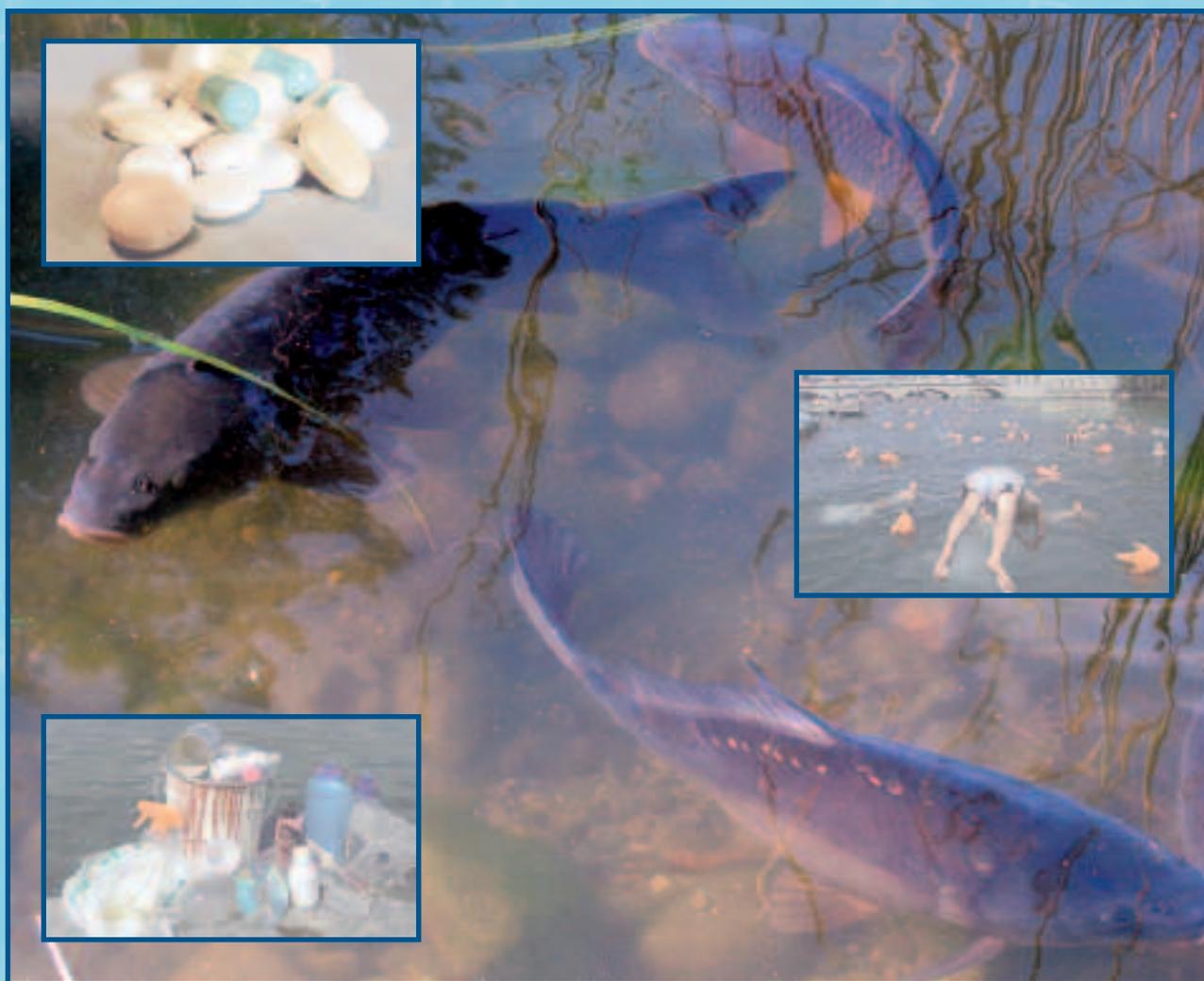


LEMANIQUES

REVUE DE L'ASSOCIATION POUR LA SAUVEGARDE DU LÉMAN

Perturbateurs endocriniens dans l'eau : une pilule facile à avaler ?



Editorial

Altération de la reproduction des phoques, changement de sexe chez les poissons et les alligators, perturbation du développement des organes sexuels et des comportements parentaux chez les oiseaux, abaissement du système immunitaire de mammifères marins, diminution de la production de sperme, puberté précoce, naissances prématurées, retard de la croissance fœtale, tumeurs des testicules, de la prostate ou des seins, diminution des fonctions intellectuelles et de la mémoire chez les humains, voici quelques-unes des observations que l'on attribue ou que l'on est tenté d'attribuer – rarement à l'appui de preuves scientifiques irréfutables – aux perturbateurs endocriniens (PE). Faut-il s'alarmer de la présence en doses infimes dans l'environnement de ces substances ou mélanges de substances issues de l'activité humaine et susceptibles «d'altérer les fonctions du système endocrinien et donc d'induire des effets nocifs sur la santé d'un organisme intact ou de ses descendants»?

Au fait, de quelles substances parle-t-on ?

Certaines sont des contaminants «historiques» (les métaux lourds, les pesticides organochlorés, les PCB), d'autres sont des contaminants «émergents» (les plastifiants pour emballages plastiques, les médicaments, les cosmétiques et des composés naturels comme les phyto-estrogènes). Alors, en quoi ces substances, connues pour la plupart de longue date, posent-elles problème aujourd'hui? Existe-t-il des programmes de recherche et de veille sanitaire et les autorités sont-elles suffisamment attentives? La problématique touche-t-elle essentiellement la faune et en quoi l'homme est-il concerné? Quel rôle joue le réseau hydrographique? A quel niveau de concentration en

PE a-t-on affaire? Les stations d'épuration sont-elles efficaces? Un lien de causalité entre l'exposition à ce type de substances environnementales à action hormonale et l'observation d'un effet sur la santé est-il établi? Des remèdes existent-ils et des mesures ont-elles été mises en place? Finalement quelle est l'ampleur du risque et dans quelle mesure le principe de précaution doit-il être appliqué?

On le voit, les questions relatives aux perturbateurs du système endocrinien sont multiples et, même si les données récoltées par les agences gouvernementales et par les équipes scientifiques sont encore fragmentaires, le temps est venu pour l'ASL, notamment à l'attention de ses membres, de faire le point sur cette forme de pollution qui constitue un sujet de forte actualité. Pour ce faire, «LÉMANIKUES» a demandé à des scientifiques et ingénieurs de traiter, dans un but illustratif, quelques-uns des thèmes propres à l'environnement aquatique, mais il ne faut pas oublier d'autres sources de pollution comme l'air et les aliments. Rejoignant les préoccupations de la Déclaration de Prague (voir encadré), l'accent est mis à la fois sur l'impact sur la vie sauvage (essentiellement la faune même si la flore peut aussi s'en trouver affectée) et sur les risques encourus par l'être humain.

Et le Léman, que fait-on ?

Des données sur le bassin lémanique existent mais sont encore très éparpillées. Dans son communiqué de presse d'octobre 2005, la CIPEL (Commission Internationale pour la Protection du Léman) mentionne la présence de plus de 30 pesticides non détectés auparavant pour des raisons de limites techniques, mais il faut relever que les concentrations sont inférieures aux normes en vigueur (fixées, soulignons-le, selon des critères de toxicité générale et non sur un effet perturbateur endocrinien). Cette instance transfrontalière vient d'ailleurs de créer un

groupe de travail «micropolluants» qui devrait rendre ses premiers résultats tout prochainement. Une étude sur le devenir des médicaments dans les stations d'épuration vient de se terminer à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. Plusieurs équipes des Universités et Hôpitaux universitaires de Genève et de Lausanne participent au Programme national de recherche PNR 50 du Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique «Perturbateurs endocriniens». Il en a été de même avec le programme «Fischnetz» lancé en 1998 par l'eawag (aujourd'hui Institut de recherche de l'eau du domaine des EPF) et par l'actuel Office fédéral de l'environnement, OFEV) qui s'intéresse plus spécifiquement à l'état des populations piscicoles. Ce programme est maintenant terminé mais a laissé place aux deux programmes de suivi «Fischnetz +» et «FIBER» (Fischerbereitung). En France, des listes de substances suspectées sont depuis quelques années régulièrement mises à jour et un programme national de recherche sur les PE a été initié en 2005.

L'ASL estime que le sujet mérite attention et qu'il est important qu'elle informe ses lecteurs afin qu'ils prennent conscience de la quantité de produits qui les entourent et de la complexité du problème. Pour terminer, le groupe ad hoc PE de l'ASL (Laetitia Bourquin, biologiste - Eric Doelker, pharmacien - Jean-Claude Mulli, médecin - Marina Rizzi-Soccal, chimiste) tient à remercier très sincèrement les auteurs d'articles du présent numéro, qui ont accepté de consacrer un temps précieux à vulgariser leur savoir.

*Eric Doelker
Pharmacien*

*Section des sciences pharmaceutiques
UNI-GE / UNIL*

*Pour en savoir plus, visitez nos liens sur
http://www.asleman.org/divers/lem_062.html*

Quelques dates clés

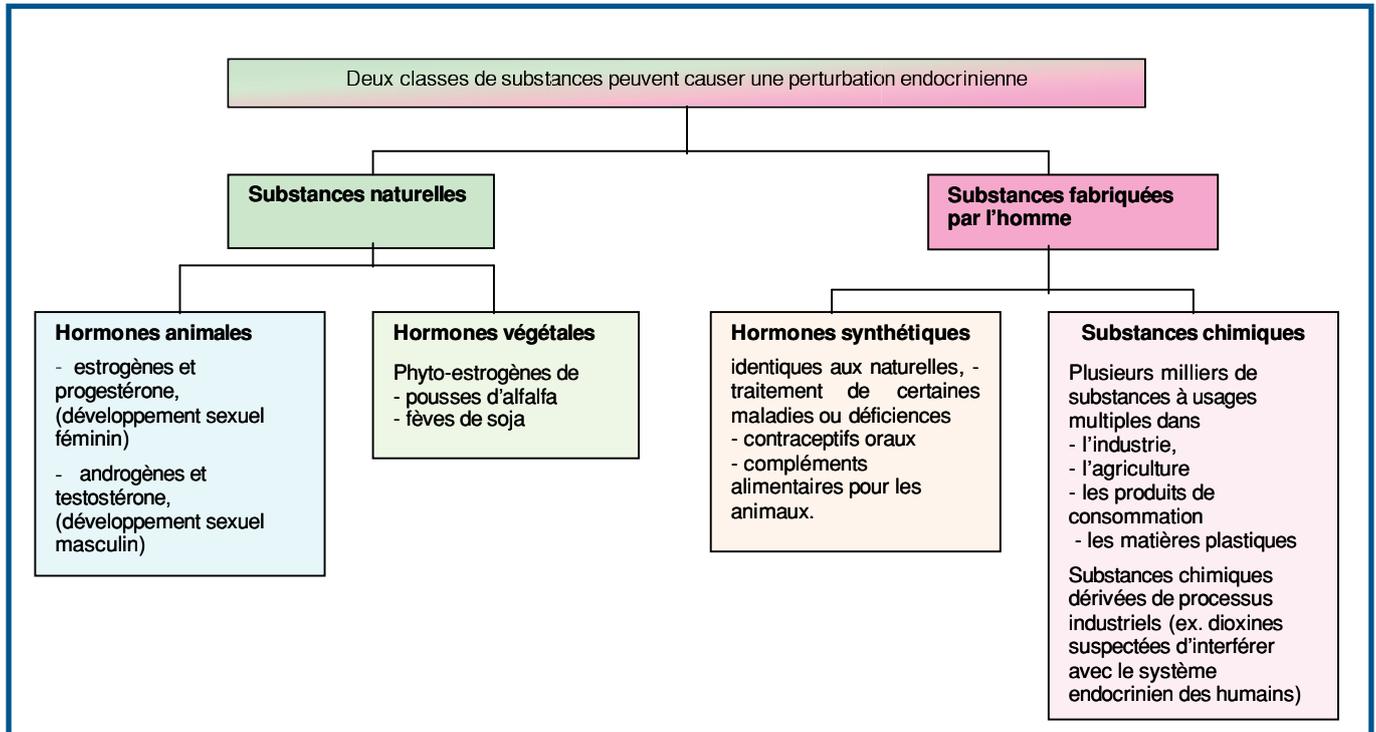
- 1962** – Dans *Silent Spring*, R. Carson met en exergue la toxicité reproductive du DDT
- 1986** – Interdiction en Suisse des PCB (biphényles polychlorés)
- Début années 1990** – Prise de consciences de la présence dans l'environnement de substances capables de perturber le système endocrinien
- 1992** – Convention OSPAR (Oslo-Paris) pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est, ratifiée par la Suisse
- 1998** – Début du programme «Fischnetz» eawag et OFEV, en collaboration avec tous les cantons, la Fédération suisse de pêche et de pisciculture, l'industrie chimique et l'Université de Berne) ayant pour but d'étudier la baisse dramatique de la pêche et d'élaborer des mesures correctrices
- 1999** – Rapport de l'OFEV sur les substances à action endocrinienne dans l'environnement
- 2000** – Directive cadre européenne se fixant pour objectif d'atteindre le bon état écologique des eaux en 2015
- 2001** – Directive européenne relative à la classification des substances chimiques toxiques pour la reproduction
– Début du Programme national de recherche «Perturbateurs endocriniens» PNR 50
- 2002** – OMS/BIT/PNU: Rapport «Evaluation mondiale des connaissances scientifiques sur les perturbateurs endocriniens»
- 2004** – Entrée en vigueur en Suisse de la Convention de Rotterdam qui vise à mieux informer les pays importateurs de substances chimiques et pesticides sur leur toxicité
- 2005** – Des scientifiques de divers horizons signent la Déclaration de Prague, qui dénonce les dangers des PE et propose des actions à entreprendre
– Début du Programme national français de recherche «Perturbateurs endocriniens»

Perturbateurs endocriniens : de quoi s'agit-il ?

Le système endocrinien est un système complexe composé de nombreux organes: les glandes endocrines (hypothalamus, hypophyse, pancréas, surrénales, testicules, ovaires, thyroïde et parathyroïdes) sécrètent des hor-

Ces effets peuvent être obtenus avec de très faibles doses de substances, du même ordre de grandeur que les concentrations physiologiques des hormones. On n'est donc pas toujours en présence d'un effet toxique au sens

Le bisphénol A est dans le « top ten » des produits chimiques fabriqués. Il est utilisé dans les plastiques et les résines. On le trouve notamment dans les revêtements intérieurs de boîtes de conserve, certains



mones diffusées dans l'organisme par le sang et qui agissent sur différents organes cibles. Leur dysfonctionnement peut altérer différentes fonctions telles que la croissance, le développement, le comportement, la production, l'utilisation et le stockage de l'énergie, l'hémodynamique et la circulation sanguine, la fonction sexuelle et reproductrice. Les perturbateurs endocriniens (PE), ou substances à action endocrine, sont des substances chimiques d'origine naturelle ou artificielle qui peuvent interférer avec le fonctionnement des glandes endocrines ou des organes cibles.

Les PE sont définis essentiellement par leur **mode d'action**: à part leurs effets toxiques éventuels à haute dose, ils peuvent perturber le fonctionnement du système endocrinien de trois façons différentes:

- en imitant l'action d'une hormone naturelle;
- en bloquant l'action d'une hormone naturelle;
- en gênant ou bloquant la production, le transport, ou le métabolisme des hormones ou des récepteurs, modifiant ainsi les concentrations d'hormones naturelles présentes dans l'organisme.

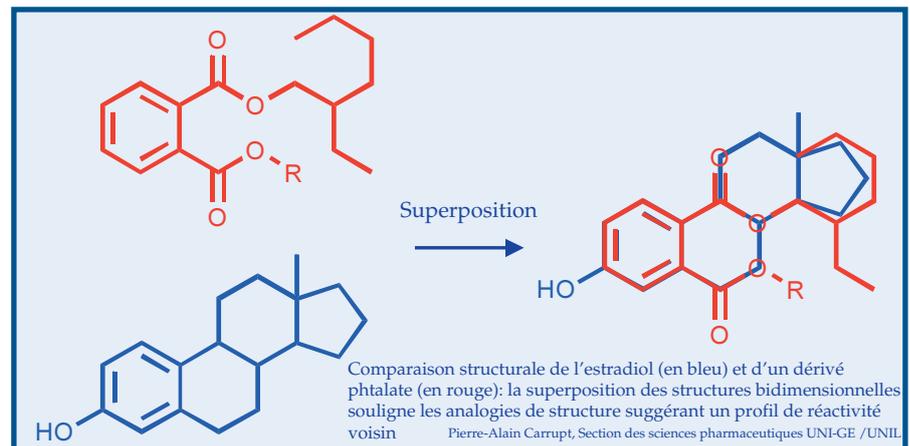
habituel du terme (« empoisonnement », altération profonde et subite d'une fonction), mais plutôt d'une perturbation discrète qui peut être difficile à reconnaître.

Les groupes de substances chimiques suivants ont déjà été identifiés comme affectant le système endocrinien:

- les biphenyles polychlorés (PCB), dioxines et benzo(a)pyrène issus de processus industriels.
- des produits associés aux plastiques, tels que les phtalates (plastifiants, par ex. dans le PVC) et le bisphénol A (laques).

biberons, les CD et DVD et même certaines résines utilisées par les dentistes. Objet de controverses, il a montré chez le rat et la souris un effet délétère sur la qualité du sperme et une augmentation du risque de fausses couches.

Les phtalates: ces composés sont surtout utilisés comme plastifiants pour rendre les plastiques plus souples et plus flexibles, comme le PVC; ils sont également utilisés dans certains jouets, les peintures, les adhésifs, les colles, les



encres et certains médicaments. Ils servent aussi d'additifs dans l'industrie cosmétique (ex. vernis à ongles, parfums), les produits de soins corporels (shampooing, après-shampooing, laques). Ces composés auraient une toxicité pour les embryons, notamment ceux de sexe masculin (provoquant des anomalies génitales).

- Divers pesticides (insecticides tels le DDT, la dieldrine, le toxaphène; herbicides tels l'atrazine, fongicides tels le mancozeb et le tributyl étain).
- Des produits domestiques ordinaires, comme les produits de dégradation des alkyl phénols, par ex. nonylphénol. Ces derniers sont la substance active dans certains produits de nettoyage industriels ou utilisés comme complément dans des colorants ou pesticides.

Beaucoup de ces substances finissent par contaminer le milieu ambiant (air, eau, sols) via les rejets industriels dans l'air et dans l'eau, le lessivage des terrains agricoles, les pluies, les eaux usées domestiques, les boues des stations d'épuration, les dépôts de déchets, etc. Certaines peuvent aussi contaminer les produits de consommation, aliments et eau de boisson.

Certains de ces composés sont biodégradables, d'autres non (on parle alors de polluants organiques persistants, POP). Certains processus de traitement de l'eau pour la rendre potable (chloration, ozonation, ultrafiltration, charbon actif) sont susceptibles d'inactiver ou d'éliminer une partie de ces substances, mais pas toutes. Une dégradation naturelle (photodégradation par exemple) est également possible dans certains cas.

Même si elles sont dégradables, certaines de ces substances restent présentes à des taux

mesurables dans l'environnement, tout simplement parce que leur utilisation continue aboutit à une «recharge» permanente. La présence de ces micropolluants dans l'eau (même à de très faibles concentrations) entraîne une exposition constante des organismes vivants du milieu aquatique, tout au long de leur cycle de vie et d'une génération à l'autre. Dès lors, la possibilité existe que des effets subtils, non immédiatement décelables, surviennent éventuellement à des phases particulièrement sensibles du développement de ces organismes, aboutissant à la longue à des changements irréversibles.

Des substances que l'on retrouve partout

Des perturbateurs endocriniens tels que des insecticides organochlorés, des PCB, des composés organiques de l'étain ont été mis en évidence dans les tissus (en particulier les tissus adipeux) d'une grande variété d'animaux sauvages, des mollusques aquatiques aux mammifères en passant par les oiseaux et les poissons; des concentrations élevées ont été trouvées chez des animaux malades ou victimes de mortalité en masse.

Comme on pouvait s'y attendre, on a pu constater des contaminations plus importantes chez les animaux prédateurs se trouvant au haut de la chaîne alimentaire, tels que par exemple les bélougas (baleines blanches) du Saint-Laurent, ou des poissons comme le brochet, le thon et l'espadon.

Ceci vaut également pour l'être humain : on a ainsi mis en évidence des concentrations plus élevées de trois pesticides organochlorés dans le sang de femmes inuits du Groenland et du Canada que chez des femmes norvégiennes, suédoises, islandaises et russes vivant dans un environnement comparable;

on attribue cette différence à la consommation par les Inuits de viande de mammifères marins et de poissons, contaminés eux-mêmes du fait de leur position dans la chaîne alimentaire. On a remarqué toutefois une contamination plus élevée chez les femmes inuits du Groenland que chez celles du Canada et de l'Alaska, qui pourrait résulter soit de préférences alimentaires différentes, soit de variations géographiques dans la contamination de l'environnement.

Coïncidences ?

De nombreuses observations montrent une corrélation entre l'exposition de populations animales à des POP dans leur milieu vital et des altérations diverses de leur santé. Parmi les exemples les plus fréquemment cités, on trouve :

- pour les mammifères, le déclin de la population des phoques de la Baltique, exposés à des composés organochlorés (PCB, DDE), chez qui on a observé des perturbations des systèmes endocrinien et immunitaire;
- pour les oiseaux, l'amincissement des coquilles des œufs et des anomalies de l'appareil reproducteur aboutissant à un déclin



www.lexif-tv.de



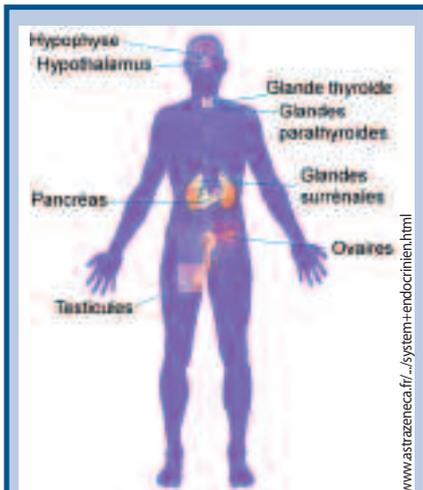
www.fibarguin.org

- marqué de populations d'oiseaux de proie exposées au DDT, ou des anomalies congénitales chez les petits d'oiseaux marins mangeurs de poisson et exposés au PCB;
- pour les reptiles, des anomalies du développement et des organes reproducteurs chez des alligators exposés à des taux élevés de contaminants organochlorés;
- pour les poissons, des troubles de la reproduction et du développement chez les espèces exposées aux effluents de stations d'épuration ou de fabriques de papier;

mais dans aucun de ces cas, il n'a été possible d'identifier les mécanismes d'action en cause

et le rôle exact des PE présents dans l'environnement.

En revanche, chez certains invertébrés marins (escargots, limaces, buccins, bigorneaux) exposés au tributyl étain (TBT) contenu dans des peintures antifouling, on a pu mettre en évidence une masculinisation des femelles due à une élévation du taux d'hormones mâles induite par le TBT.



www.astrazeneqa.fr/_systeme-endocrinien.html

Localisation des glandes endocrines

A noter que d'autres organes sécrètent aussi des hormones¹, p. ex. l'intestin, le foie, les reins, le cœur, le placenta...

Système endocrinien

Les hormones exercent une action physiologique spécifique sur certains tissus ou organes qui sont stimulés ou inhibés. Cette action s'exerce à doses faibles: la concentration sanguine des hormones est souvent de l'ordre de grandeur du nanogramme (10^{-9}) ou du picogramme (10^{-12}) par millilitre.

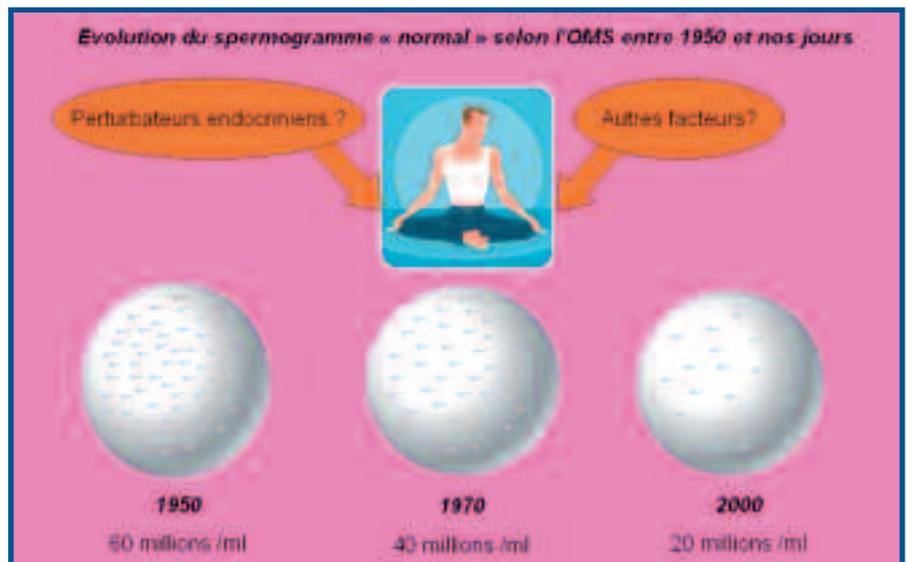
Elles sont transportées dans le sang liées à une protéine, leur catabolisme est rapide, généralement quelques heures. Elles sont métabolisées dans le foie et éliminées avec la bile ou l'urine.

Il n'y a pas de spécificité à une espèce animale, bien que de légères variations de structure d'une espèce à l'autre soient à la base de différences d'activité si elles sont administrées à l'homme.

Le fonctionnement de chaque glande endocrine est soumis à une régulation interne qui découle des réactions enzymatiques particulières intervenant dans son hormonosynthèse. Mais toutes les glandes du système endocrinien dépendent aussi de mécanismes extrinsèques de contrôle qui fonctionnent selon le même principe cybernétique: celui du rétrocontrôle ou du feed-back négatif: quand l'effet augmente, le facteur réglé diminue et inversement.

¹ Par exemple: cortisol, testostérone, estradiol, progestérone, adrénaline, insuline

Source: <http://www.diffu-sciences.com/> modifié



Et notre fertilité dans tout ça ? Au milieu du siècle dernier, le sperme d'un homme contenait en moyenne 60 millions de spermatozoïdes par millilitre. 20 ans plus tard, ce nombre tombait mystérieusement à 40 millions. Aujourd'hui, un spermogramme est considéré comme étant dans la moyenne si on peut y compter 20 millions de spermatozoïdes par millilitre. On suspecte des perturbateurs endocriniens issus de l'environnement de jouer un rôle dans cette diminution de la spermatogenèse.

Des soupçons, mais pas de preuves

En ce qui concerne l'être humain, on a suspecté les perturbateurs endocriniens de jouer un rôle dans toute une série de troubles observés à différents niveaux:

- appareil reproducteur: diminution de la qualité du sperme, baisse de la fertilité, modification du «sex ratio», anomalies des organes sexuels masculins (cryptorchidie, hypospadias), endométriose, puberté précoce;
- système nerveux: troubles du développement et du comportement, altérations du système neuro-endocrinien et des neurotransmetteurs; certains de ces effets pourraient résulter de perturbations au niveau de la fonction thyroïdienne;
- système immunitaire: l'exposition à divers produits chimiques présents dans l'environnement, incluant des oestrogènes de synthèse, des PCB et des dioxines, a provoqué chez l'homme et l'animal des perturbations de l'immunité;
- cancers: du sein, de l'endomètre, des testicules, de la prostate, de la thyroïde;

mais, là encore, il n'a pas été possible de prouver une relation causale entre les troubles observés et l'exposition à des perturbateurs endocriniens à faibles concentrations.

Cette absence de preuves ne signifie nullement que la relation de cause à effet n'existe pas; elle reflète plutôt les faiblesses de nos moyens d'investigation et les lacunes de nos connaissances. Il faut dire que s'il est relativement facile de démontrer la toxicité d'une substance en cas d'exposition massive et brutale (la dioxine à

Seveso...), c'est une autre affaire que d'isoler la responsabilité d'une substance dont l'effet est discret, peu spécifique et s'étale dans le temps, alors que des dizaines ou des centaines d'autres facteurs peuvent aussi intervenir. Il est encore plus difficile pour les chercheurs qui tentent de comparer et d'intégrer des données de différentes sources d'obtenir des preuves concluantes sur ce qui se passe dans l'ensemble. En effet, les données sur les tendances concernant la santé humaine ont été collectées à divers moments, souvent par différentes méthodes et dans des conditions variables. On manque aussi de données scientifiques pertinentes sur la fréquence, la durée et les niveaux d'exposition aux substances à action endocrine. L'essentiel de l'information sur l'exposition aux PE porte sur la présence, en Europe et en Amérique du Nord, de polluants organiques persistants, comme les PCB, les dioxines, le DDT et autres pesticides chlorés. Les expositions à d'autres substances non persistantes sont encore peu étudiées en profondeur. Le manque d'information sur l'exposition au cours des périodes critiques du développement humain ou animal constitue une autre lacune. Nous ne sommes donc pas encore en mesure de trancher catégoriquement la question de la nocivité des perturbateurs endocriniens, en particulier pour la santé humaine, mais les observations faites sur certaines populations animales soulèvent suffisamment de soupçons pour encourager la poursuite de la recherche dans ce domaine.

Jean-Claude Mulli
Laetitia Bourquin

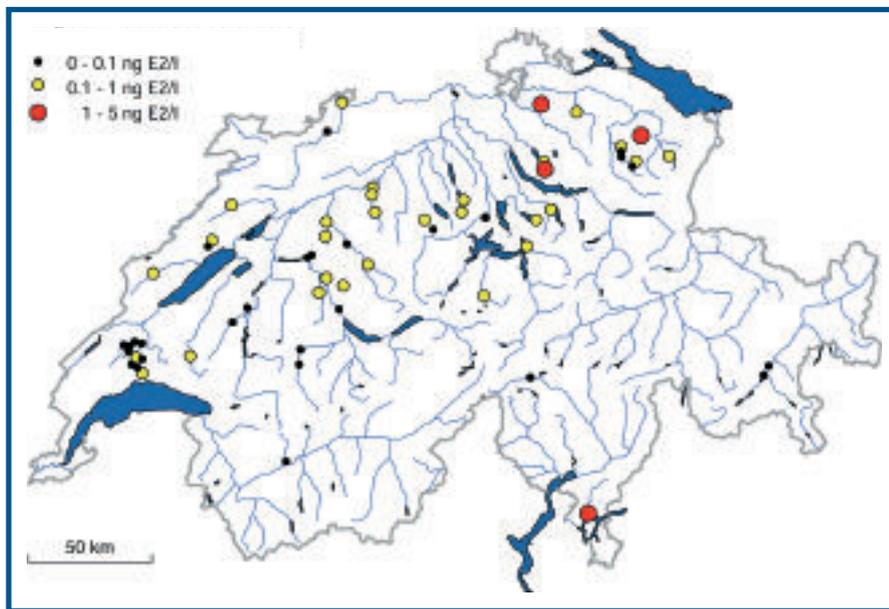
Pouvoir féminisant des rivières du Plateau suisse

Depuis deux décennies, on a observé une forte diminution des captures de poissons dans les rivières de notre pays. Comme cette diminution pourrait provenir, entre autres, de la présence dans l'eau de perturbateurs endocriniens, les efforts des chercheurs ont tout naturellement porté vers l'établissement d'un lien entre l'exposition à ce type de composés chimiques et les effets observés chez des organismes qui font office de « sentinelles », comme la truite saumonée. Ces raisons nous ont conduits à déterminer l'activité estrogène (exprimée en équivalents en 17 β -estradiol) de plusieurs rivières du Pla-

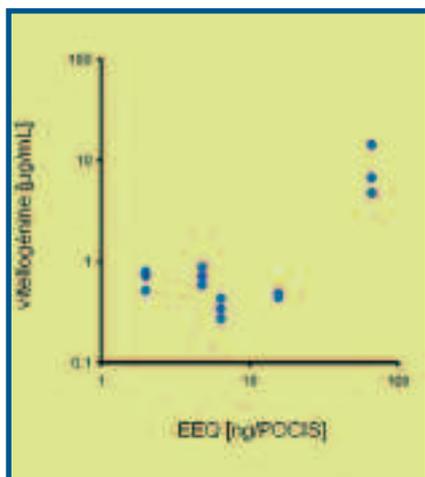
teau suisse, en utilisant d'une part un test in vitro basé sur une souche de levure possédant un gène exprimant le récepteur humain aux estrogènes, dit YES (yeast estrogen screen), et d'autre part les concentrations mesurées en estrogènes stéroïdiens, nonylphénols et éthoxylates de nonylphénols (voir carte ci-après).

De plus, les taux plasmatiques en vitellogénine ont été mesurés chez des truites saumonées mâles placées dans des cages. Précisons que la vitellogénine est une protéine vitelline synthétisée par le poisson femelle mature,

mais également produite chez le poisson mâle exposé à un perturbateur endocrinien, ce qui fait de lui un excellent indicateur d'une telle exposition. L'induction de cette protéine chez la truite saumonée mâle sur certains sites indique que les estrogènes peuvent représenter localement un problème pour la truite saumonée, et éventuellement pour d'autres espèces. Ajoutons encore que la réponse biologique du poisson mâle, le taux plasmatique en vitellogénine, est nettement accrue dans les sites à forte activité estrogène, comme le fait apparaître le graphique ci-dessous.



Equivalents en 17 β -estradiol estimés (en nanogrammes par litre) dans les rivières recevant des effluents des stations d'épuration (d'après « Réseau suisse poissons en diminution », 2004).



Relation entre l'activité estrogène obtenue avec des collecteurs passifs (POCIS) des eaux de rivière et la concentration en vitellogénine chez des poissons mâles placés dans des cages disposées en cinq sites en aval des stations d'épuration.

Que peut-on conclure de ces observations ?

Les agents estrogènes présents dans l'environnement aquatique produisent indubitablement un effet individuel sur des poissons mâles, mais on ne peut affirmer actuellement qu'ils ont des conséquences sur la reproduction des populations de poissons et leur taille.

Réf.: Vermeirssen et collaborateurs, *Environmental Science and Technology*, vol. 39, pages 8191-8198 (2005).

Marc J.-F. Suter ¹⁾, Etienne L. M. Vermeirssen ¹⁾, Patricia Burkhardt-Holm ²⁾

¹⁾ Eawag, Institut de Recherche de l'Eau du Domaine des EPF, Dübendorf, Suisse

²⁾ Université de Bâle, Programme Mensch Gesellschaft Umwelt, Bâle, Suisse

Que fait l'eawag, l'Institut de Recherche de l'Eau du Domaine des EPF ?

L'eawag est un institut de recherches aquatiques basé à Dübendorf aux fortes connexions internationales; il fait partie intégrante du domaine des Ecoles polytechniques fédérales (EPF).

L'eawag dispose d'un effectif de 280 personnes et d'un budget annuel de quelque 55 millions de francs. Ses activités portent sur une gestion de l'eau basée sur des impératifs écologiques, économiques et sociaux.

Projets de recherche de l'eawag en relation avec les perturbateurs endocriniens, en collaboration avec d'autres institutions:

- mécanismes d'action des (xéno) estrogènes sur le développement prématuré du cerveau et des gonades du poisson zèbre (avec les Universités de Zürich et de Berne)
- test écotoxicologique à l'échelle moléculaire chez le poisson zèbre (projet européen COST)
- mise au point de capteurs chimiques et de techniques de fractionnement par affinité (PNR 50)
- étude de l'éventuel lien entre les malformations des gonades chez le corégone lavaret du lac de Thoun et l'exposition aux perturbateurs endocriniens (PNR 50, avec l'Université de Berne et l'EMPA)
- perturbation endocrine en Suisse: mise en évidence de la relation entre l'exposition des poissons et les troubles endocriniens (PNR 50, avec les Universités de Bâle et de Berne)
- évaluation des estrogènes aquatiques par échantillonnage passif (PNR50)
- contaminants phénoliques et bromés dans les eaux usées et dans l'environnement aquatique (PNR 50)
- substances phénoliques à activité estrogène potentielle comme contaminants de l'environnement aquatique (PNR 50)
- développement de techniques d'élimination de médicaments et de produits de soin personnel dans les stations d'épuration en vue d'améliorer la réutilisation indirecte de l'eau potable (projet européen)
- récupération de l'eau
- le projet Novaquatis ou la «NoMix Toilet»: une nouvelle approche de la gestion urbaine des eaux
- dégradation anaérobie des hormones stéroïdiennes par de nouvelles bactéries dénitrifiantes (Fonds national suisse)

Les médicaments, bienfait ou menace ?

Etant donné que les médicaments sont utilisés pour prendre soin de nous, on ne les a que rarement considérés comme des polluants pouvant être toxiques pour l'environnement. Or, de nombreuses études scientifiques ont montré une forte contamination de l'environnement (eaux usées, lacs, rivières, mers et même dans des eaux de boisson) par ces substances. Ces contaminations préoccupent de plus en plus les mondes scientifique et politique.

Chaque année, des tonnes de médicaments (qui représentent plusieurs milliers de substances actives) sont consommées dans les hôpitaux et dans nos foyers. Ainsi, ces substances contaminent-elles continuellement

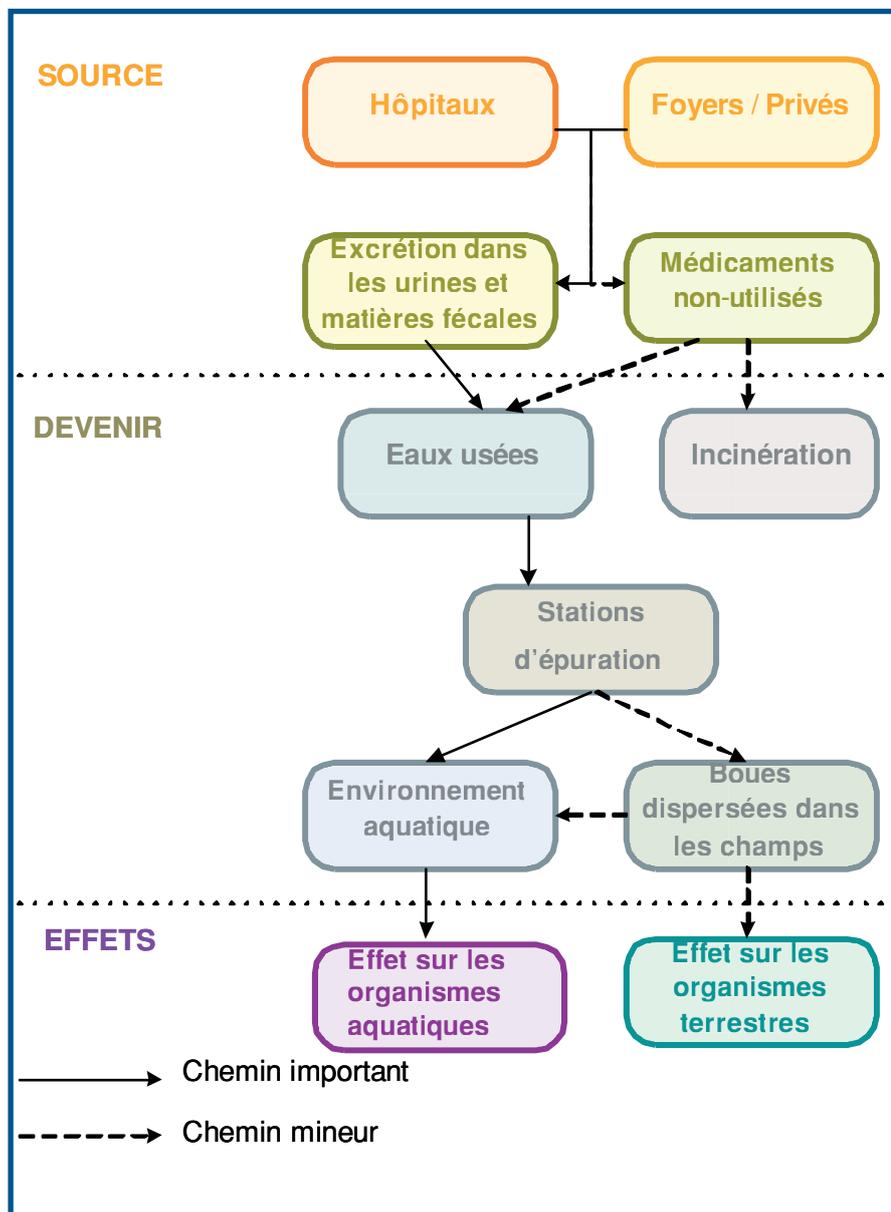
les eaux usées, car elles sont éliminées par les urines ou les matières fécales sous forme inchangée ou de métabolites. Cette contamination est encore augmentée par le fait que les médicaments périmés ou non utilisés sont souvent jetés dans les toilettes. Ces eaux usées, contaminées entre autres par des médicaments, sont traitées au travers de stations d'épurations (STEP). Dans les STEP, les substances peuvent être partiellement ou entièrement dégradées, adsorbées aux particules en suspension formant les boues d'épuration ou alors elles peuvent passer sans modification au travers des différents traitements. Lorsque les STEP ne sont pas capables de retenir des substances, ces dernières se retrouvent dans les eaux traitées qui vont

alors contaminer les eaux de surface (lacs et rivières). Il faut aussi ajouter que les eaux de ruissellement ou de drainage des champs agricoles amendés avec des boues d'épuration peuvent apporter des polluants directement dans le milieu aquatique. Par ailleurs, de nombreux médicaments utilisés en médecine vétérinaire sont aussi une source importante de pollution des écosystèmes terrestres et aquatiques.

Une fois parvenues dans les eaux de surface, une dégradation de ces substances peut parfois survenir en fonction de leur sensibilité (par ex. photodégradation).

Plusieurs équipes de chercheurs à travers le monde s'intéressent aujourd'hui à la pollution de l'environnement par des substances pharmaceutiques. De nombreux médicaments, comme des anti-inflammatoires, des antibiotiques, des bêta-bloquants, des estrogènes de synthèse, des antiépileptiques, des médicaments contre le cancer, ont été détectés dans le milieu aquatique. Plusieurs de ces substances actives ont aussi été détectées dans les eaux de boisson à de très faibles concentrations. Les effets sur la santé humaine d'une exposition répétée (toute la durée de notre vie) et à faible dose ne sont pas encore connus. Ces effets seraient probablement négligeables ou sans conséquence pour la majorité de la population. Toutefois des recherches supplémentaires sont encore nécessaires pour confirmer cette hypothèse.

Dans les laboratoires de l'ISTE (anciennement CECOTOX) de l'EPFL, plusieurs études sont menées sur la présence et le comportement de polluants dans les stations d'épuration. En ce qui concerne les médicaments, nous avons étudié la présence et le devenir de cinq médicaments très utilisés : l'acide clofibrique, l'ibuprofène, le kétoprofène, l'acide méfénamique et le diclofénac. Le premier est utilisé pour abaisser le taux de cholestérol, les quatre autres sont des anti-inflammatoires. L'ibuprofène et l'acide méfénamique sont les médicaments les plus vendus de cette étude: 17 tonnes par an et par substance en Suisse. Les résultats de nos analyses montrent que ces cinq substances sont présentes dans les eaux usées, mais aussi dans les eaux traitées, à la sortie des STEP. Le diclofénac et l'acide clofibrique ne sont pas du tout éliminés et l'acide méfénamique n'est éliminé qu'à 50% lors du passage au travers des STEP étudiées. Par



Chemins possibles des médicaments, de leur consommation à leurs effets dans l'environnement



www.ademe.fr/.../63/images/63compred01.jpg

Les médicaments peuvent se retrouver dans les boues d'épuration utilisées comme engrais dans l'agriculture. A noter que l'épandage des boues d'épuration est interdit en Suisse en vertu du principe de précaution, alors qu'elle est recommandée en France, moyennant des restrictions relatives à la composition des boues et à la nature des sols.

contre, l'ibuprofène est assez bien éliminé (jusqu'à 80%). Des facteurs comme le type de traitement ou le temps de séjour peuvent influencer l'efficacité de l'élimination des polluants au travers des STEP. Les concentrations élevées de certains médicaments dans les eaux traitées provoquent une contamination importante des rivières et des lacs, pouvant présenter un risque pour les organismes aquatiques (par ex. poissons, crustacés, algues). Ces effets peuvent même être augmentés par la présence d'un cocktail de substances ayant parfois des modes d'actions similaires.

tillons d'eaux usées n'était contaminé par le 5-fluorouracil. Tenant compte de la forte toxicité de ces substances, il est rassurant que les concentrations mesurées soient extrêmement faibles (< 4 ng/l).

Etant donné que certains médicaments peuvent causer des mutations dans nos cellules, il était intéressant de comparer le pouvoir mutagène des eaux usées fortement contaminées par des médicaments (hôpitaux) avec des eaux usées « normales ». Cette étude a montré que les eaux usées d'hôpi-

A cause de l'effet bénéfique escompté des médicaments et de leur importance économique, on s'est peu préoccupé jusqu'ici de réduire leur rejet dans l'environnement. De plus, l'utilisation des substances pharmaceutiques va très probablement augmenter avec l'accroissement de l'âge de la population. Une solution pour limiter la pollution par ces substances serait d'ajouter des traitements d'eaux usées à la sortie des hôpitaux et d'éviter tout débordement dans les STEP communales. D'autres solutions seraient de diminuer la pollution à la source, en développant un label clair sur les médicaments, des directives pour l'élimination des médicaments non utilisés et des campagnes de sensibilisation de la population à la toxicité et aux risques liés à ces substances.

Enfin, notons que dans le dessein de mieux connaître l'état de pollution du lac Léman par les médicaments, la Commission internationale pour la protection du Léman (CIPEL) a réalisé des analyses de l'eau du Lac et d'eaux épurées de quelques STEP qui y sont rejetées. Les résultats de ces mesures seront présentés dans le prochain rapport annuel de la CIPEL.

Pour plus d'information : <http://library.epfl.ch/theses>

Annick Tauxe Würsch
ARIAQ SA, Yverdon

Luiz Felipe de Alencastro
Institut des sciences et technologies de l'environnement (ENAC-ISTE), EPFL, Lausanne

¹ Le tamoxifène peut être considéré comme un perturbateur endocrinien : ce médicament utilisé dans le traitement du cancer du sein agit principalement comme un anti-estrogène, mais il peut aussi exercer des effets de type estrogène sur certains organes ou paramètres (Ndr)



Photo : Annick Tauxe Würsch

Nous avons aussi développé des méthodes d'analyse pour mesurer les concentrations de deux substances utilisées pour le traitement des cancers, le tamoxifène¹ et le 5-fluorouracil. Le tamoxifène a été détecté dans tous les échantillons d'eaux usées, mais pas dans les eaux traitées. Aucun des échan-

taux étaient plus souvent mutagènes que les eaux usées des STEP, (sans qu'on puisse l'associer à une substance en particulier). Il est par conséquent très important que les eaux usées d'hôpitaux ne soient jamais déversées dans l'environnement sans un traitement adéquat.



bigwww.epfl.ch/sage/images/photo-epfl-full.jpg

L'Institut des sciences et technologies de l'environnement (ISTE) de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne effectue des recherches dans les différents domaines de l'environnement

Se bronzer peut perturber ...



Source: Zürcher Limmatschwimmen, Claudia Brückner

Les filtres UV provenant des crèmes solaires peuvent être apportés indirectement dans les rivières et dans les lacs par le biais des stations d'épuration, ou directement, par les nageurs et les baigneurs.

Pour l'analyse des échantillons prélevés dans les lacs, une méthode d'échantillonnage passif faisant appel à des membranes semi-perméables a été utilisée. Des tuyaux de polyéthylène qui contiennent respectivement 0,9 gramme d'une matière grasse artificielle sont exposés pendant trois semaines dans des bidons de métal inoxydable placés à environ 1 mètre en dessous de la surface de l'eau. Pendant ces trois semaines, les substances dissoutes lipophiles (attirées par la matière grasse) « biodisponibles » diffusent à travers la membrane en plastique et s'accumulent dans la matière grasse. Le concentré de substances ainsi piégées est ensuite extrait des échantillonneurs pour être analysé. Les résultats de ces mesures permettent d'estimer la concentration dans l'eau de certaines substances.

En ces courtes et fraîches journées d'automne, vous repensez certainement de temps à autre aux fortes chaleurs du mois de juillet. Vous avez probablement aussi utilisé cet été une bonne quantité de crème solaire. Les produits de protection solaire, mais aussi divers autres produits de soins corporels et cosmétiques comme les shampooings, les gels capillaires, les lotions corporelles ou les protections pour les lèvres contiennent ce que l'on appelle des filtres UV. Il s'agit de substances qui absorbent les rayons UV de la lumière du soleil et protègent la peau des coups de soleil. Après la douche ou la lessive, les filtres UV peuvent parvenir de manière indirecte dans les lacs et cours d'eau par les eaux usées, via les stations d'épuration, ou en période estivale être apportés directement par les baigneurs.

Parmi ces filtres UV, le 4-MBC (4-méthylbenzylidène camphre) est suspecté d'être un perturbateur endocrinien. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), nous recensons depuis 1998 la présence de cette substance dans l'environnement. Des concentrations allant de quelques nanogrammes (milliardièmes de gramme) à 30 nanogrammes au maximum de 4-MBC par litre d'eau ont été mesurées dans plusieurs lacs de la région de Zurich. Comme on pouvait s'y attendre, les concentrations maximales ont été mesurées en été. Cela montre que les produits de protection solaire utilisés surtout pendant la période estivale contribuent fortement à la charge totale des lacs et cours d'eau en filtres UV. Le fait que l'on trouve du 4-MBC dans les rejets de toutes les stations d'épuration contrôlées prouve en outre que ces

apports indirects contribuent au moins en partie à la charge des eaux de surface en filtres UV.

Les concentrations du filtre UV 4-MBC étaient supérieures dans les lacs utilisés pour la baignade et plus élevées dans le lac de Zurich que dans le Greifensee. La concentration des filtres UV dans les lacs semble donc plutôt dépendre de l'utilisation des eaux par les baigneurs. Le filtre UV 4-MBC a également été trouvé dans les poissons peuplant ces deux lacs, comme les féras et les gardons, à raison de 40 à 90 nanogrammes de 4-MBC par gramme de graisse ou 0,5 à 1,5 nanogramme par gramme de filet. Des études récentes montrent cependant que les produits de protection solaire les plus vendus ne contiennent plus le filtre UV 4-MBC. Ce changement se traduit par une diminution tendancielle des



concentrations des eaux de surface et des poissons au cours de ces trois dernières années, et cela bien que le 4-MBC soit toujours autorisé sur le plan légal.

Marianne Balmer et Thomas Poiger
Station de recherche Agroscope
Changins-Wädenswil



Source: Fichmetz, Daniel Habegger, Burgdorf

Les truites de rivière des petits ruisseaux à fort pourcentage d'eaux usées présentait de plus hautes concentrations du filtre UV 4-MBC que les féras et les gardons des lacs.

Les biodétecteurs : utiliser des perturbés pour la détection de perturbateurs !

Une approche apparemment simple: pourquoi ne pas évaluer la menace des perturbateurs endocriniens planant sur les eaux du Léman à l'aide d'organismes vivants agissant comme «biodétecteurs» ?

Un biodétecteur est une cellule ou un organisme vivant permettant de déceler une substance potentiellement toxique, présente dans un échantillon. Les biodétecteurs permettent non seulement de mettre en évidence et de quantifier une telle substance, mais aussi de déterminer son activité biologique. Les hormones et certains perturbateurs endocriniens agissent à des doses tellement faibles qu'elles défient les capacités analytiques les plus poussées. En effet, bien que les laboratoires anti-dopage soient dotés de moyens techniques permettant de doser des agents anabolisants (tels que les androgènes) à des concentrations de l'ordre du nanogramme par millilitre, certains systèmes de biodétection peuvent donner une réponse positive avec des concentrations en stéroïdes 10 à 1000 fois plus faibles.

Les biodétecteurs possèdent encore un autre avantage majeur. Alors que les analyses clas-

siques ne peuvent détecter qu'une ou plusieurs substances données, les biodétecteurs révèlent toutes les substances – même inconnues – qui ont une certaine activité biologique. C'est précisément ce qui rend le concept de «biodétecteur» si attractif dans le contexte des perturbateurs endocriniens. Souvent, ceux-ci ne sont en effet présents qu'à de très faibles doses et constituent un mélange complexe, plutôt qu'un seul composé.

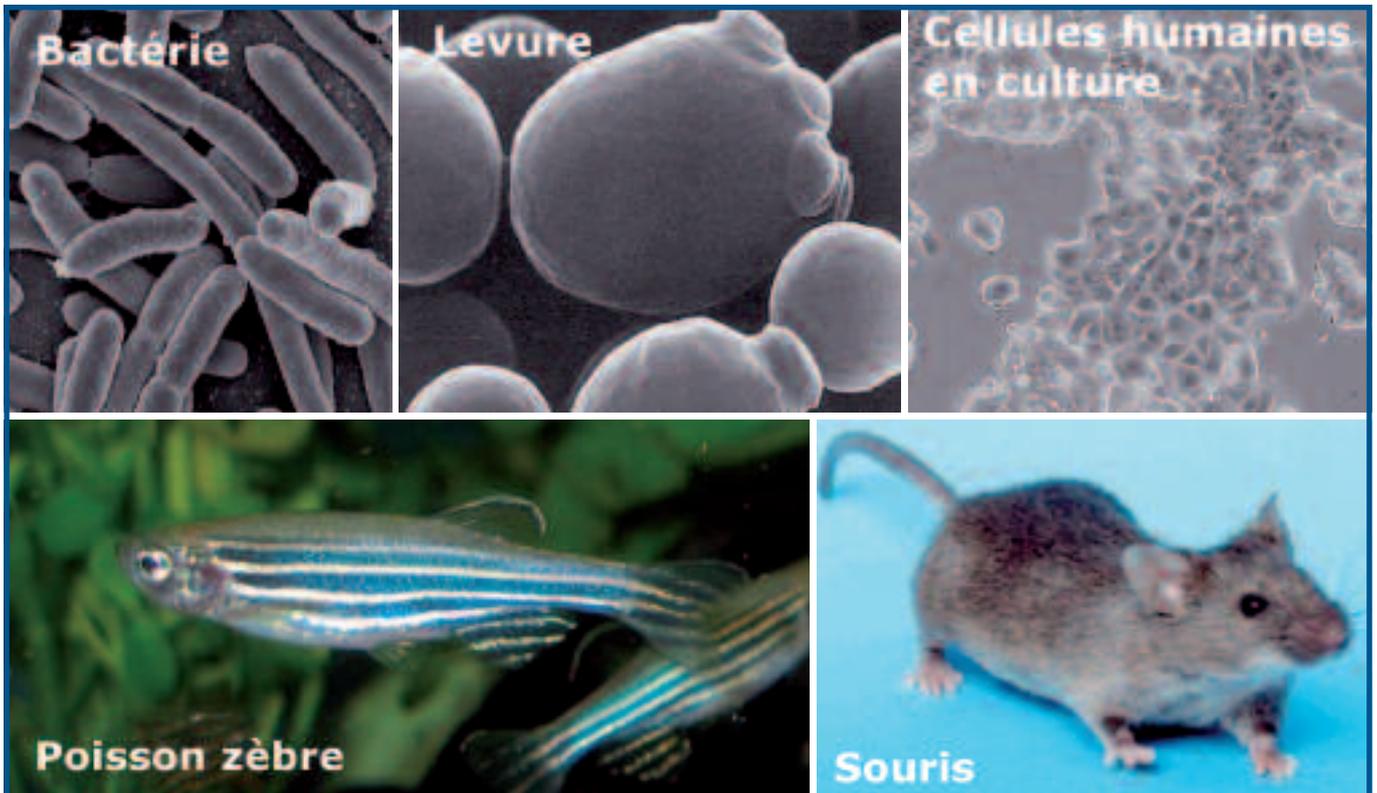
Faire le bon choix

Il y a évidemment un intérêt particulier pour les composés polluants qui influencent notre propre santé. Pour ceux-ci, nous serions nous-mêmes le biodétecteur le plus adéquat, mais à part le problème éthique, il y a aussi des difficultés techniques qui s'y opposent, certains effets ne pouvant se manifester qu'à très long terme. Pour la mise au point de biodétecteurs, on peut faire appel soit à des cellules humaines en culture ou à d'autres espèces. Pour les perturbateurs endocriniens, une large gamme de systèmes a été développée, allant des bactéries au rat de laboratoire en passant par la levure du boulanger, des cellules humaines en culture, le poisson zèbre et la souris. Parmi tous les systèmes endocri-

niens qui pourraient être perturbés chez l'humain ou chez les animaux, ce sont les estrogènes (hormones stéroïdiennes féminines) et androgènes (hormones stéroïdiennes masculines) qui ont attiré le plus l'attention à cause du rôle établi de ces hormones dans plusieurs cancers relativement fréquents (cancers du sein, de l'utérus et de la prostate). Il n'est donc pas surprenant que la plupart des biodétecteurs disponibles à ce jour vise les substances qui imitent les estrogènes ou les androgènes.

Exemples de biodétecteurs existants

Chaque biodétecteur a ses particularités. Certains sont brièvement présentés ici afin d'illustrer les approches des chercheurs. La lignée cellulaire humaine MCF7 existe depuis des décennies et est utilisée comme biodétecteur de composés estrogènes depuis une vingtaine d'années déjà. Les cellules MCF7 sont des cellules dérivées d'un cancer du sein et en ont gardé plusieurs caractéristiques. En particulier, les estrogènes stimulent la croissance de ces cellules dans une boîte de Petri. Les estrogènes, ou les substances qui les imitent, fonctionnent en activant une protéine réceptrice, appelée le récepteur aux estrogènes, qui régule tout un jeu de gènes. On peut directement utiliser ces MCF7 comme biodétecteur. Il suffit d'ajouter un perturbateur endocrinien de type estrogène et de compter les cellules au bout de quelques jours.



Quelques biodétecteurs pour mettre en évidence l'activité estrogène de composés chimiques

La levure du boulanger est un organisme modèle également très apprécié par les chercheurs. On peut même lui faire utiliser des protéines humaines comme par exemple le récepteur aux estrogènes ou celui aux androgènes. Des souches de levures indicatrices ont ainsi été produites dans lesquelles la production d'une enzyme est placée sous le contrôle d'un de ces récepteurs. Récemment, c'est l'enzyme luciférase qui a été adaptée pour des levures biodétectrices. Il est particulièrement facile de mesurer l'activité de cette enzyme puisqu'en présence de son substrat, elle produit de la lumière. Quand on incube ces souches avec une hormone stéroïdienne ou un perturbateur endocrinien, la luciférase est produite et peut facilement être mesurée avec un détecteur de luminescence. Par rapport aux cellules

humaines, la levure offre l'avantage de donner des résultats plus rapidement, à moindre frais, et de bien se prêter aux analyses à haut débit. Le comportement pharmacologique de la levure est tout de même bien différent du nôtre, si bien que le même principe a été transposé dans des animaux plus proches de l'humain, notamment le poisson zèbre et la souris. La levure reste cependant un concurrent sérieux non seulement pour les raisons évoquées ci-dessus, mais aussi parce que son utilisation ne pose pas de problèmes éthiques comme celle de l'expérimentation animale.

Vers la mise en pratique sur le lac

Chacun des biodétecteurs évoqués a été testé avec différents types d'échantillons pouvant contenir des perturbateurs endocriniens, y

compris des échantillons d'eaux usées. Il reste cependant des défis importants. Alors que ces tests sont bien introduits dans les laboratoires de recherche, des améliorations et simplifications seront nécessaires pour les utiliser dans des services effectuant des analyses de routine. Par ailleurs, il existe malheureusement plusieurs types de perturbateurs endocriniens et parfois plusieurs systèmes endocriniens pour un type de composé. Il faudra donc disposer de toute une batterie de tests. Il reste du chemin à faire avant que des biodétecteurs puissent être embarqués à bord d'un bateau sur le lac Léman pour effectuer des analyses sur le pouce.

Didier Picard

Section de biologie UNI-GE participant au PNR 50

Que fait le Fonds national suisse de la recherche scientifique pour étudier les problèmes soulevés par les perturbateurs endocriniens ?

En 2000, le Conseil fédéral chargeait le Fonds national de lancer un programme national de recherche (PNR 50) «Perturbateurs endocriniens». En 2001, 17 projets furent subventionnés pour un montant total de 6,02 millions de francs. En 2003, 7 projets supplémentaires pour un montant total de 2,94 millions de francs ont été approuvés. Le programme se terminera en 2007 et devrait permettre de tirer de premières conclusions sur l'importance de la problématique et de formuler des recommandations.

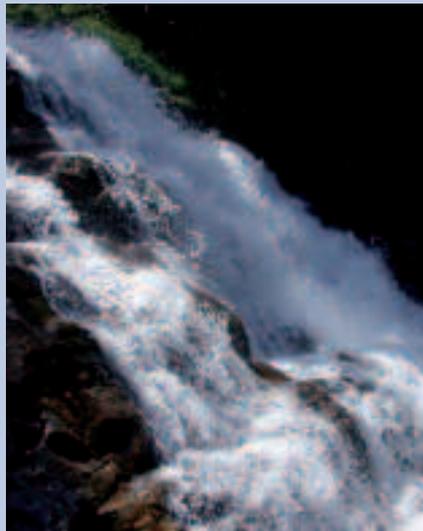
Les objectifs du programme

Comme son appellation complète l'indique, le PNR 50 «Perturbateurs endocriniens: leur importance pour les êtres humains, les animaux et les écosystèmes» vise à développer des stratégies pour évaluer les risques et dangers de l'exposition d'êtres humains ou d'animaux aux PE présents dans l'environnement. Il serait alors possible de fournir aux autorités et à l'industrie des arguments déterminants permettant d'éviter les effets négatifs de tels produits, et d'élaborer des recommandations ayant trait au développement futur de nouvelles substances. Un montant de 15 millions de francs a été mis à disposition pour réaliser ce programme interdisciplinaire d'une durée de cinq ans. Le PNR et les travaux de recherche qui le constituent sont harmonisés et coordonnés en permanence avec des projets de recherche internationaux.

Les priorités de ces recherches

Mise en évidence des nuisances

Développement et application de méthodes de chimie analytique, tests biologiques et



Les très belles cascades de Giessbach qui serviront de cadre à la prochaine rencontre des acteurs du PNR 50, destinée à faire le point sur l'état d'avancement des travaux (photo U. Rüegg)

biomarqueurs permettant la mise en évidence des effets nuisibles des PE.

Dégradation et répartition des PE dans l'environnement

Mise en œuvre d'approches écocinétiques et toxicocinétiques pour observer comment certains produits chimiques et leurs métabolites se dégradent dans l'environnement et dans l'organisme; identification de mécanismes clés impliqués dans la dégradation biologique de ces produits chimiques.

Toxicologie et écotoxicologie expérimentale

Études de population, identification et obser-

vation à long terme, dans différents écosystèmes, d'espèces manifestant une grande sensibilité comme indicateurs, mise en évidence des effets sur la reproduction, le développement, le système immunitaire et d'autres fonctions des organes.

Modèles animaux

Développement de modèles animaux pour l'étude des troubles du développement et d'autres atteintes dus aux PE.

Effet de substances isolées et de mélanges de substances

Comment les PE influent-ils sur la reproduction? Comment induisent-ils des maladies? Élucidation de la chaîne de réactions à l'aide de nouvelles techniques telles que la génomique fonctionnelle, la protéomique et les relations quantitatives entre structure et activité.

Écosystèmes

Développement d'approches de modélisation pour analyser et prévoir les effets de PE dans les écosystèmes.

Evaluation du risque et mesures à prendre

Synthèse des résultats des recherches, élaboration de bases de décision et de recommandations à l'attention des autorités et de l'industrie.

Urs Rüegg,

Section des sciences pharmaceutiques
UNI-GE et UNIL, membre du Comité
de direction du PNR 50

L'exemple des corégones du lac de Thoune

On a constaté chez les corégones (*Coregonus lavaretus*) du lac de Thoune une forte prévalence de gonades présentant des malformations. Or, dans la mesure où des observations similaires ont été effectuées au sein de populations de poissons vivant dans des écosystèmes aquatiques contaminés par des

substances à action endocrinienne, on a vite incriminé ce type de composés dans le cas des corégones du lac de Thoune. Ici, les sources possibles de contamination sont d'une part les munitions¹ immergées dans les années 50 et 70 et d'autre part les produits chimiques provenant de la construc-



Malformation de testicule de corégone



Capture de corégones dans le lac de Thoune

tion du tunnel du Lötschberg dans le cadre de NLFA, arrivant au lac de Thoune par la rivière Kander. Il faut bien constater que, jusqu'à aujourd'hui, aucune preuve expérimentale ou épidémiologique ne vient étayer de telles spéculations. Le PNR 50 vise justement à évaluer si les malformations gonadiques sont réellement dues à l'exposition des corégones à l'environnement du lac de Thoune et si les eaux, les sédiments ou les planctons servant d'alimentation contiennent des substances susceptibles de perturber le système endocrinien.

*Helmut Segner
Université de Berne*

¹ Le produit principal des munitions est le TNT (trinitrotoluène) mais près de 400 substances peuvent être présentes dans les vieilles munitions.

Est-il nécessaire d'adapter les stations d'épuration en vue d'éliminer les micropolluants ?

Ces dernières années, le champ de la recherche environnementale s'est élargi en ajoutant aux polluants «classiques» comme les PCB, le DDT, les dioxines et les pesticides, des substances médicamenteuses et des produits pour soins corporels. Une évaluation quantitative de l'importance de ces composés (en comparant par exemple les pesticides, les produits chimiques industriels, les substances pharmaceutiques et les hormones) n'est pas possible à l'heure actuelle car on ne connaît pas encore de façon précise leur impact sur l'environnement et les ressources en eau. Les sources de ces micropolluants (par exemple agriculture, industries, consommation des ménages) ne sont pas non plus toujours identifiées.

Diverses considérations laissent néanmoins penser que les STEP représentent une source non négligeable d'émission mais offrent aussi la possibilité d'appliquer des procédés centralisés de traitement. La consommation de pesticides dans les pays développés est de l'ordre de 0,2 - 1,6 kg

par personne et par an, une quantité nettement plus élevée que celle des médicaments (0,025 - 0,06 kg par personne et par an). Toutefois, pour ce qui concerne les eaux de surface, les composés issus de l'agriculture et ceux provenant des zones d'habitation peuvent avoir une importance comparable car les concentrations relevées dans ces eaux peuvent s'élever jusqu'au microgramme par litre pour les deux catégories de substances. Cela s'explique par le fait qu'une faible partie des pesticides épanchés se retrouve dans les eaux de surface, alors qu'une fraction significative des substances pharmaceutiques issues des stations y aboutit en raison d'une efficacité de traitement insuffisante. Des STEP supplémentaires pourraient donc paradoxalement accroître la charge de pesticides émise dans l'environnement aquatique. Enfin, d'autres sortes de micropolluants passant à travers les STEP peuvent également revêtir une importance quantitative: ainsi, les agents conservateurs et les parfums, présents dans les produits de soins corporels jusqu'à une teneur de 0,1%, engen-

drent des concentrations dans les eaux usées de l'ordre du microgramme par litre.

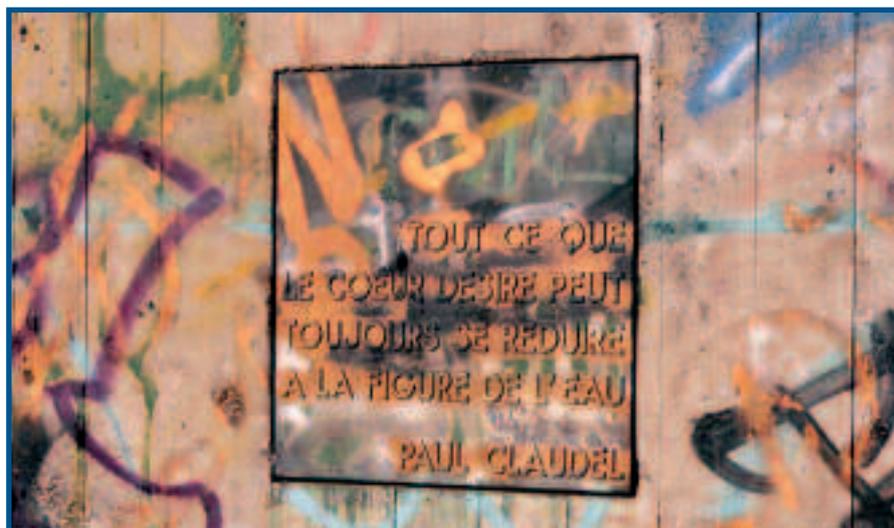
Les catégories de composés bioactifs suivants se retrouvent dans les eaux usées en quantités qui pourraient justifier un traitement particulier:

- hormones et autres perturbateurs endocriniens;
- antibiotiques, désinfectants, antiseptiques et autres biocides;
- autres substances médicamenteuses comme l'anti-inflammatoire non stéroïdien le diclofénac et les agents cytostatiques;
- filtres UV et parfums des produits de soins corporels;
- retardateurs de flamme bromés (produits ignifugeants);
- agents tensioactifs polyfluorés.

C'est un défi considérable que de rechercher des concentrations seuils de micropolluants en se basant sur une approche analytique causale: en réalité, la complexité du milieu aquatique, les

organismes qui y vivent, les mélanges de substances et les types d'effets observés sont le plus souvent réhibitaires. La dégénérescence des coréones du lac de Thoune est un exemple de phénomène dont la recherche n'a pas permis pour l'instant de discerner les causes.

Il est toutefois normal que la population s'alarme lorsque des produits pharmaceutiques provenant des eaux usées sont trouvés dans l'eau potable, même si les concentrations sont infiniment plus faibles que les doses thérapeutiques. Par conséquent, il pourrait être de l'intérêt public de décider de débarrasser les eaux usées des micropolluants sur la base **du principe de précaution** tel que défini par la Commission européenne en 2000: **intervention urgente face à un possible danger pour la santé humaine, animale ou végétale, ou pour la protection de l'environnement même en l'absence de données scientifiques permettant une éva-**



A l'entrée de la STEP d'Aire - une citation un peu polluée par quelques tags

Photo: J.-C. Maili

luation complète du risque. On peut mentionner comme exemples d'observations préoccupantes: la féminisation et les insuffi-

sances rénales chez les poissons, l'accumulation de diclofénac chez les poissons, ou encore l'extinction de 90% de la population des vautours induite par le diclofénac en Inde et au Pakistan.

Développement historique du traitement par la boue activée

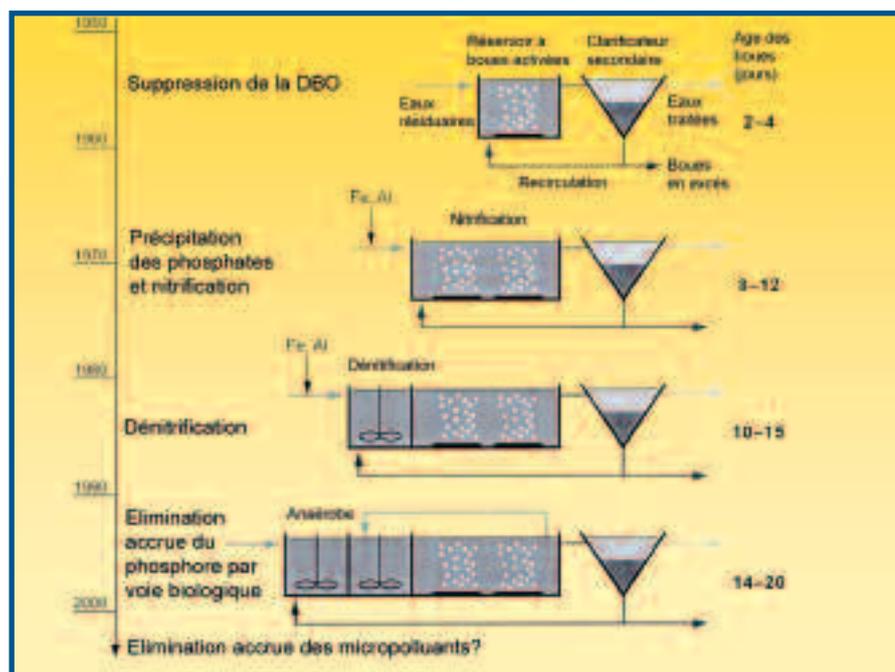
Dans les années 50 et 60, les stations d'épuration n'étaient conçues que pour réduire la demande biologique en oxygène (DBO)¹ des eaux usées. A la fin de cette période, on introduisit la précipitation chimique des phosphates en vue de diminuer la charge en phosphore. Dans les années 70 et 80, on ajouta des procédés de transformation de l'ammoniac (provenant en premier lieu des urines et se montrant toxique pour les poissons) en nitrate (une forme d'azote moins toxique). Durant la décennie suivante, les ingénieurs mirent en place des méthodes pour convertir le nitrate en azote moléculaire (le nitrate est un aliment limitant pour la croissance des algues côtières et des plantes aquatiques). Enfin, une élimination biologique accrue des phosphates fut introduite au milieu des années 90 en mettant en œuvre une zone anaérobie.

¹ La DBO représente le besoin en dioxygène d'une eau pour assurer la dégradation biochimique des matières organiques qu'elle contient. Si la DBO est trop élevée, cela peut aboutir à une désoxygénation de l'eau.

Des études récentes ont montré que le traitement additionnel à l'ozone ou au charbon actif des eaux usées traitées biologiquement permet une élimination quasi complète des micropolluants à un prix acceptable pour la société. Ces deux techniques sont bien connues car très utilisées dans la production d'eau potable. Avec un coût inférieur à 50 francs par personne et par an et avec la capacité démontrée d'éliminer une vaste palette de composés chimiques, elles présentent un excellent rapport coût-bénéfice. Là où les eaux usées sont déversées dans des environnements sensibles ou en amont de captages d'eau potable, la décision d'améliorer leur traitement dans les STEP pourrait se justifier dès maintenant.

Cependant, avant d'envisager une application à grande échelle, certains problèmes demandent davantage d'attention; il convient en particulier de:

- mieux définir les critères de qualité de l'eau à respecter en matière de micropolluants, en prévoyant des tests qui visent à quantifier leurs effets toxicologiques et environnementaux;
- démontrer que l'ozonisation de la vaste gamme de composés proches entraîne bien la disparition des effets biologiques ou toxiques;
- comparer l'efficacité économique des différentes options de mise à niveau des stations d'épuration.



Evolution des performances des STEP. A quand l'élimination des micropolluants?

(adapté de « Human Pharmaceuticals, Hormones and Fragrances: The Challenge of micropollutants in urban water management », T. A. Temes et A. Joss, IW Publishing, Londres, 2006)

Adriano Joss
eawag - Engineering dept. Duebendorf

En guise de conclusion : Quelle attitude adopter face au problème des PE ?

Les perturbateurs endocriniens, de par leur mode d'action et leur présence ubiquitaire et durable dans l'environnement, sont susceptibles de provoquer des effets nocifs sur la santé des populations animales et humaines. Il faudra vraisemblablement un temps considérable et un investissement massif de la recherche scientifique, clinique et épidémiologique pour parvenir à préciser les risques qu'ils font courir et les moyens de les neutraliser.

Même en admettant que les PE soient réellement responsables de tous les effets qu'on leur a attribués sur la santé humaine, ce qui n'est pas scientifiquement démontré, cela n'en ferait pas forcément des facteurs de

risque majeurs; toutefois, ils peuvent contribuer au « fardeau global de la maladie ». Remarquons en passant que beaucoup de maladies ne résultent pas d'une cause unique: est-il donc raisonnable d'ajouter encore des facteurs de risque potentiels à tous ceux qui interviennent déjà? Par ailleurs, les effets démontrés des PE sur le monde animal et l'environnement en général constituent un sujet de préoccupation très sérieux.

La question centrale est en somme la suivante: pouvons-nous nous permettre d'attendre que toute la vérité soit faite sur ce problème, ou ne devons-nous pas entreprendre déjà ce qui est faisable pour restreindre ou interdire l'usage

de ces produits et pour les éliminer autant que possible du milieu naturel?

Comment réduire la pollution de l'eau par les PE ?

Des actions sont possibles et souhaitables sur différents axes et à tous les niveaux:

- Soutien à la recherche, synthèse des résultats, information et sensibilisation des décideurs politiques et du grand public.
- Contrôle des sources ponctuelles de pollution, telles que les effluents industriels, les rejets dans l'air des usines d'incinération des déchets, les décharges (notamment celles de produits chimiques): c'est surtout à l'Etat d'intervenir par des lois, des règlements d'application et des instances de contrôle; des installations d'épuration spécifiques séparées pourraient être prévues pour certaines usines ou pour les hôpitaux.
- En ce qui concerne les sources diffuses de pollution, c'est-à-dire l'utilisation par l'agriculture de pesticides, herbicides, fongicides et autres, et l'utilisation par la population de médicaments, produits de soins corporels et d'hygiène, produits de nettoyage et de désinfection, on pourrait agir:
 - en interdisant ou limitant la production, la commercialisation et l'utilisation de certains produits (ce qui s'est déjà fait pour certains, mais cela ne peut pas s'appliquer à tous; peut-on imaginer par exemple d'interdire la pilule contraceptive?),
 - en développant des produits de remplacement exempts d'effets perturbateurs et biodégradables,
 - en essayant d'éliminer les substances présumées nocives au niveau des stations d'épuration. Par exemple, le traitement des effluents des STEP par filtration (sur membrane ou par osmose inverse), fixation sur colonne échangeuse d'ions, ozonation, photocatalyse et rayons UV semble capable d'éliminer certains médicaments présents dans ces effluents. Il serait également important d'optimiser le rendement des STEP en généralisant le système séparatif. Enfin, une technologie prometteuse semble être le traitement séparé de l'urine.

D'une manière beaucoup plus générale, et pour conclure sur une vision d'avenir à long terme, ne serait-il pas temps de remettre sérieusement en question notre vieille habitude du « tout à l'égout »?

Jean-Claude Mulli

Laetitia Bourquin



Photo: Urs Rilegg

Le sens des proportions

Les concentrations de certaines hormones dans le sang sont de l'ordre du nanogramme par millilitre (ng/ml), soit un milliardième de gramme (10⁻⁹ g) par ml. Les concentrations de substances à action endocrinienne dans l'eau citées dans certains des articles de ce numéro sont de l'ordre du nanogramme par litre, soit mille fois moins. On peut saluer la performance des systèmes d'analyse qui permettent de mesurer d'aussi minuscules quantités. On peut aussi essayer de se représenter la chose en se posant la question : combien faut-il d'eau pour diluer un morceau de sucre (5 grammes) au milliardième ? Réponse : 5 x 10⁹ ml d'eau, soit...cinq millions de litres ou, si vous préférez, 5000 mètres cubes. Quelque chose comme le contenu de deux piscines olympiques de 50 mètres de longueur sur 25 de largeur et 2 de profondeur.

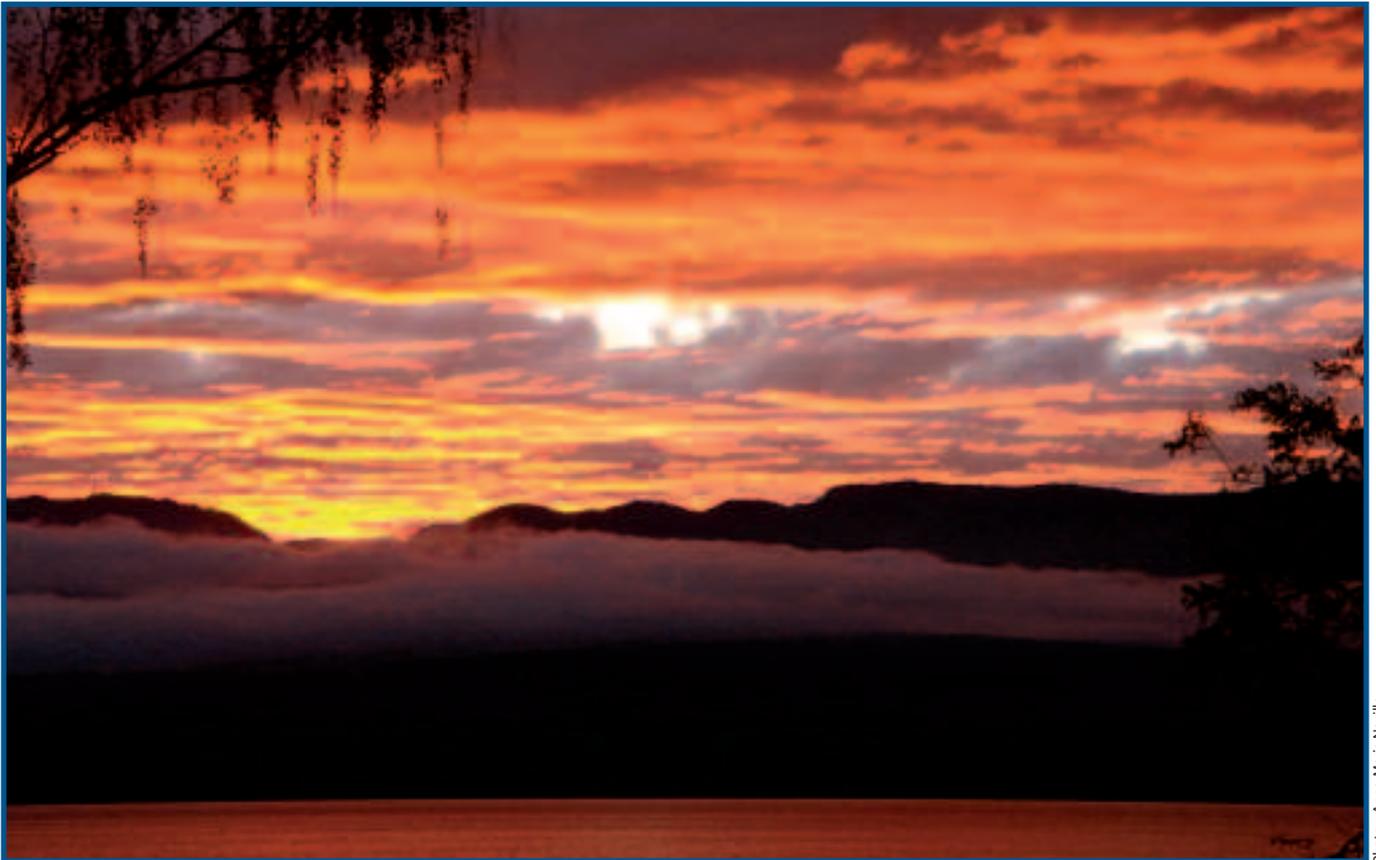


Photo : Anne-Marie Naville

Pour en savoir plus: choix de sites internet à consulter

http://www.who.int/ipcs/publications/new_issues/endocrine_disruptors/en/ Texte complet (en anglais, format pdf, 180 pages) du rapport « Global assessment of the state-of-the science of endocrine disruptors » préparé par un groupe d'experts de l'ICPS (International Programme on Chemical Safety, patronné par l'OMS, l'OIT et le PNUE).

<http://www.greenfacts.org/fr/index.htm> GreenFacts a.s.b.l. est une organisation sans but lucratif située à Bruxelles dont la mission est de fournir aux non spécialistes une information scientifique impartiale sur des questions d'environnement et de santé. Son site en plusieurs langues présente notamment des dossiers sur les perturbateurs endocriniens, les PCB, les phtalates, les dioxines... Présentation très claire et objective, nombreux liens, très bon site de vulgarisation avec plusieurs niveaux allant du résumé aux détails.

<http://www.edenresearch.info/> Site en anglais financé par la Commission Européenne et publiant des recherches sur les perturbateurs endocriniens. On y trouve aussi le texte de la Déclaration de Prague sur les perturbateurs endocriniens.

<http://www.nrp50.ch/> Site en anglais présentant le Programme National Suisse de la Recherche Scientifique sur les perturbateurs endocriniens (PNR50) du Fonds National suisse pour la recherche scientifique.

<http://www.emcom.ca/EM/indexfr.shtml> Excellent site canadien en français et en anglais d'information sur les perturbateurs endocriniens réalisé par le Centre McLaughlin, Institut de recherche sur la santé de la population, Université d'Ottawa.

<http://www.eawag.ch/> Site en allemand et en anglais de l'eawag (Institut de Recherche de l'Eau du Domaine des EPF / Das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs / Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology), anciennement EAWAG (Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz).

<http://www.novaquatis.ch/> Site en allemand et en anglais consacré à la problématique de la séparation des polluants à la source (collecte et traitement séparés de l'urine).

<http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/fr/index.html> Site en 4 langues (français, allemand, italien et anglais) de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV).

Ces liens figurent sur <http://www.asleman.org/divers/lem062.html>

Remerciements

La rédaction de LEMANIQUES remercie les auteurs des articles pour leur précieuse contribution à l'élaboration de ce dossier sur les risques engendrés par les concentrations croissantes de micropolluants susceptibles de perturber le système hormonal chez l'homme et l'animal.

Elle est également reconnaissante au groupe de travail «Perturbateurs endocriniens» de l'ASL pour la conception de ce numéro et sa très large participation à son édition.

Merci enfin à Daniel Ossent, membre du comité, d'avoir mis ses compétences informatiques au service de ce numéro et de s'être prêté à la lecture critique des manuscrits.

Raphaëlle Juge,
LÉMANIQUES

L'ÉTÉ DE L'ASL - TOUT AUTOUR DU LÉMAN



Genève – Stand et intervention ASL
Congrès du Rhône



Villeneuve - Léman tradition
Stand ASL



Lausanne - Vote pour la Charte de l'eau
Stand ASL au Comptoir Suisse



Yvoire - Stand ASL
Fête centrale des sociétés de sauvetage



Rolle - Passeport vacances ASL
une Step ça pue!



Versoix - Camp de vacances ASL
dissection des poissons pêchés le matin



Morges - Passeport Vacances ASL - les pieds dans l'eau



Genève - Passeport vacances ASL - La pêche au plancton

IMPRESSUM - LEMANIQUES Journal trimestriel de l'Association pour la Sauvegarde du Léman (ASL) - **Responsable de la Rédaction** : Raphaëlle Juge, tél. : 41 (0)22 379 71 03
E-mail : Raphaelle.Juge@LEMANIQUES.ch - **Secrétariat général** : Gabriëlle Chikhi-JANS
Rue des Cordiers 2 - CH-1207 Genève - Tél. : 41 (0)22 736 86 20 - Fax : 41 (0)22 736 86 82
www.asleman.org - asl@asleman.org - **Adhésion à l'ASL et dons** : CCP 12-1531-6-0
Tirage : 9'500 exemplaires (papier recyclé) - **Impression** : Imprimerie des Bergues SA,
Carouge - Edité avec l'appui de la fondation Hans Wilsdorf

**L'ASL vous souhaite de joyeuses fêtes
et une heureuse année 2007**