

2022 InfEau Magazine

Dynamique de l'eau: nouveaux outils,
nouvelles opportunités

Dynamique de l'eau: nouveaux outils, nouvelles opportunités

La surveillance des eaux de surface est une longue tradition lausannoise, notamment depuis les travaux de François-Alphonse Forel, précurseur de la limnologie dans le lac Léman, il y a environ 125 ans. Depuis, de nouvelles méthodes de surveillance ont été développées. Celles-ci permettent de mesurer et de comprendre la dynamique des systèmes aquatiques grâce à un suivi à haute fréquence réalisé à l'aide de capteurs in situ ou de satellites, drones et smartphones.

Ces jeux de données permettent d'analyser les différents processus dans des temps très courts, voire parfois en temps réel et de façon automatisée. Les données ainsi enregistrées peuvent alors être utilisées pour modéliser la quantité et la qualité des eaux de surface, que ce soit dans le bassin versant, les systèmes urbains ou les lacs.

Un des défis actuels consiste à utiliser ces nouveaux outils pour améliorer la gestion au niveau du bassin versant. **La journée d'information de l'Eawag 2022** offre un tour d'horizon des méthodes récemment développées pour surveiller les eaux de surface et aborde la question des opportunités et limites associées à ces nouvelles technologies.

Le magazine que vous tenez entre les mains est une première. Il vient remplacer les traditionnels actes du colloque en offrant davantage d'espace aux thèmes de la journée d'information et en les présentant de manière plus attrayante pour le public. En complément, de nombreuses informations, photos et vidéos sont proposées en ligne sur la plupart des contributions. **Le magazine de la journée d'information** offre ainsi au public présent un condensé qu'il aura plaisir à consulter même après la rencontre. En même temps, il offre également aux personnes qui n'ont pu y assister un excellent aperçu du sujet traité par la journée d'information.

Photo de couverture: Vue de l'embouchure du Rhône dans le lac Léman avec caméras infrarouge et hyperspectrale mesurant la température et la qualité de l'eau à partir d'un aéronef. (Photo: Damien Bouffard, Eawag)

Eawag

Dans leur essence, les recherches de l'Eawag visent une meilleure conciliation de l'utilisation des ressources et milieux aquatiques par l'homme et de la préservation d'écosystèmes aquatiques viables et robustes. L'institut compte 40 professeures et enseignants, plus de 300 collaboratrices et collaborateurs scientifiques qui, dans un environnement particulièrement propice à la recherche, se penchent sur les questions qui livreront les informations et solutions nécessaires à notre société pour relever les grands défis qui se posent à elle. Pour mener à bien sa mission, l'Eawag mise sur l'interdisciplinarité et le transfert des savoirs vers les pouvoirs publics, la société civile et les acteurs socio-économiques. En prodiguant plus de 5'000 heures d'enseignement dans les hautes écoles suisses et en encadrant plus de 140 masters et bachelors et 143 thèses de doctorat chaque année, les femmes et les hommes de l'Eawag contribuent à la formation des jeunes professionnels de l'eau en Suisse.



«Il faut adopter une vision globale du bassin versant»

Pages 8-13

Dr Damien Bouffard

Département Eaux de surface, Eawag



LéXPLORE – Le laboratoire flottant

Pages 14-17

Dr Natacha Tofield-Pasche

Faculté ENAC, EPFL



Suivi des micropolluants
en temps réel

Pages 18-20

Dr Christoph Ort
Département Gestion des eaux urbaines, Eawag



Optimiser la gestion des
eaux usées et protéger les
milieux aquatiques

Pages 21-23

Dr Frédéric Jordan et
Dr Philippe Heller
Hydrique Ingénieurs



Observer l'environnement
à partir de l'espace

Pages 24-25

Dr Daniel Odermatt
Département Eaux de surface, Eawag



«Je n'avais jamais travaillé sur un
sujet qui suscite autant d'intérêt.»

Pages 26-27

Pr. Dr Tamar Kohn
Faculté ENAC, EPFL



Kristin Schirmer: «Fish on
Chips» ou comment sauver
des vies animales

Pages 28-29

Pr. Dr Kristin Schirmer
*Département Toxicologie de l'environnement, Eawag,
Faculté ENAC, EPFL et Département USYS, ETHZ*



Surveillance des polluants
dans les sédiments

Pages 30-31

Dr Benoît Ferrari
Directeur, Centre Ecotox



Informations sur les
inondations tirées des
réseaux sociaux

Seiten 32-33

Dr João P. Leitão
Département Gestion des eaux urbaines, Eawag

Dr Salvador Peña-Haro
photrack AG

Repérer les changements
dans les glaciers/
Perturbations de la
dynamique fluviale

Pages 34-37

Pr. Dr Stuart Lane
*Faculté des géosciences et de l'environnement,
Université de Lausanne, UNIL*



**«Il faut adopter
une vision globale
du bassin versant»**





Contact:
Dr Damien Bouffard
Département Eaux de surface, Eawag

Le physicien Damien Bouffard, qui dirige le groupe Physique aquatique à l'Eawag, est co-concepteur de la journée d'information. Dans un interview, il nous expose les buts recherchés par le comité d'organisation.

Monsieur Bouffard, vous avez activement participé à la conception de la journée d'information «Dynamique de l'eau: nouveaux outils, nouvelles opportunités». Pourquoi un tel colloque était-il nécessaire?

Les technologies et instruments d'observation et d'analyse des eaux évoluent en permanence, parfois très rapidement. Ils permettent aux spécialistes de différents horizons, que ce soit de la recherche ou de l'industrie, d'étudier la dynamique des eaux de surface et de trouver des solutions pour préserver les ressources aquatiques – l'un des plus grands défis de notre époque. L'un des buts de la journée d'information est donc de rassembler tous ces spécialistes pour discuter de l'état d'avancement des techniques, et de leur permettre de partager leurs expériences. Lors de cette journée d'information, nous voulons aussi discuter de la manière d'utiliser ces nouveaux outils dans les lacs et cours d'eau, mais aussi en milieu urbain pour favoriser les approches globales et intégrées à l'échelle des bassins versants.

Vous avez longtemps travaillé avec Alfred Johny Wüest. Le professeur Wüest, qui a été membre de la direction de l'Eawag jusqu'à son récent départ à la retraite, a conçu cette journée d'information avec vous. Que reprenez-vous de cette collaboration intergénérationnelle?

Plusieurs générations de chercheuses et de chercheurs se sont déjà penchées avant nous sur ces questions et nous avons souvent les mêmes objectifs. Nous poursuivons leurs recherches, mais en disposant de nouveaux outils et technologies qui nous aident à mieux comprendre la complexité des systèmes environnementaux. Il est très important de comprendre et de connaître les acquis du passé et de construire sur leur base pour avancer au lieu de tout réinventer. Je travaille principalement sur les lacs. Aujourd'hui, grâce aux nouvelles technologies, je peux par exemple collaborer avec des spécialistes des milieux aquatiques urbains, des cours d'eau, des glaciers, etc., pour comprendre certains phénomènes touchant aux lacs. Car les plans d'eau ne sont pas des systèmes isolés, mais des intersections dans les bassins versants. En quelque sorte, ils collectent l'information. Grâce aux nouvelles technologies, nous sommes aujourd'hui à même de proposer rapidement des solutions novatrices aux problèmes qui se posent à notre société. Le dépistage des virus dans les eaux usées pendant la pandémie de Covid-19 en est un bon exemple (cf. article p. 26).

Les méthodes de surveillance et de gestion des eaux de surface à l'échelle du bassin versant sont au cœur de cette journée d'information. Quels sont, dans ce domaine, les plus grands défis pour la recherche et la pratique?

Il faut adopter une vision globale du bassin versant pour comprendre son évolution et pour pouvoir évaluer les conséquences de changements survenant localement.



Au laboratoire flottant LÉXPLORE, installé sur le lac Léman, les caractéristiques de l'eau sont mesurées en continu.

Mais une telle gestion par bassin versant est compliquée. Car elle demande d'entrecroiser des données de différentes disciplines comme l'hydrologie, la glaciologie, la biologie, la chimie ou la physique, de les analyser et de les interpréter. Et elle exige différentes méthodes de mesure comme la télédétection, les drones, les approches analytiques et les observations in situ. Il est donc indispensable de disposer de spécialistes de différentes disciplines, capables de collecter et d'analyser les données nécessaires. Et bien sûr, il est tout aussi important que ces personnes communiquent entre elles et échangent pour obtenir une vue d'ensemble et qu'elles proposent, si possible, des solutions durables qui rendent justice à la complexité du système. Les résultats doivent donc pouvoir être facilement partagés, ce qui nécessite un accès libre aux données et modèles. C'est à cette seule condition que les bassins versants peuvent être étudiés dans leur globalité. Et c'est pour cette raison que les projets de sciences ouvertes comme «datalakes» sont importants (cf. article p. 13).

Ce concept de sciences ouvertes est relativement nouveau dans la recherche. Pouvez-vous m'expliquer comment la plateforme «datalakes» fonctionne?

Le but de cette plateforme est de permettre l'échange et l'utilisation de données. «Datalakes» fonctionne sur le principe de la visualisation des données et elle est efficace parce que de nombreux chercheurs et chercheuses y chargent leurs données et les mettent à la disposition des autres. En tant qu'utilisateur, je consulte tout d'abord les données dont j'ai besoin pour mes recherches. Si par exemple, je suis limnologue et que je m'intéresse à la teneur en chlorophylle dans un lac précis, je peux télécharger les données qui correspondent à mon sujet et les utiliser librement. J'ai également accès à d'autres données, comme les données météo ou les courants, et je peux donc essayer de placer mes observations dans un contexte plus large. Le gros avantage, c'est que je n'ai pas besoin de collecter et de traiter toutes les données moi-même. Les données brutes sont traitées par de petits programmes qui les transforment en «produits» qui peuvent être utilisés directement par toute personne consultant la plateforme. Ces programmes sont également en accès libre et sont continuellement contrôlés et perfectionnés par la communauté d'utilisateurs. Les personnes utilisant la plateforme profitent ainsi du savoir et des résultats des autres.



La diversité des méthodes et techniques à la disposition de la recherche et de la pratique est impressionnante. Comment jugez-vous l'évolution qu'elles ont connue ces dernières années?

La plupart des méthodes en étaient encore à leurs balbutiements il y a à peine dix ans et ne pouvaient pas, alors, être utilisées de manière standardisée. Si on regarde le chemin parcouru, la vitesse à laquelle elles se sont développées est impressionnante. Prenons l'exemple des données satellites: il y a longtemps que les satellites livrent des images mais, jusqu'à il y a quelques années, leur résolution spatiotemporelle était assez faible. On pouvait réaliser une mesure tous les quinze jours à peu près. Aujourd'hui, les mesures sont quotidiennes et les images peuvent être dépouillées quasiment en temps réel. Il est ainsi aujourd'hui possible de suivre presque en instantané comment les blooms de cyanobactéries se développent en quelques jours dans le Léman. Ces images peuvent alors être recoupées avec les caractéristiques de l'eau que nous mesurons toutes les heures avec la plateforme de recherche «LéXPLORE» (cf. article p. 14).

Vous avez évoqué beaucoup de nouvelles opportunités offertes par les nouveaux développements techniques. Ne risque-t-on pas de voir l'arbre cacher la forêt?

Oui, il est vrai qu'il n'est pas impossible de perdre un peu l'objectif de vue en se focalisant sur les technologies. La collecte et l'analyse des données ne doivent pas être un but en soi, mais doivent servir à répondre aux questionnements scientifiques et à résoudre les problèmes posés à notre société. Car notre objectif est de mieux comprendre les systèmes aquatiques de surface et les processus qui s'y déroulent pour améliorer la gestion des eaux au niveau des bassins versants. C'est pourquoi nos questions et buts communs occupent une place centrale dans cette journée d'information.

Quelles sont donc pour vous les questions les plus importantes en matière de compréhension des systèmes et processus et de gestion des eaux de surface?

Nous avons une vision incomplète des processus qui se déroulent d'amont en aval dans un bassin versant – c'est-à-dire du glacier aux cours d'eau, puis aux lacs, eaux souterraines et systèmes urbains. Il nous est donc difficile de comprendre comment des changements se produisant dans le bassin versant peuvent affecter les différentes parties du système, comme les lacs ou les aquifères. J'identifie aussi des lacunes au niveau de la dimension temporelle: pour un bon suivi des eaux de surface à l'échelle d'un bassin versant, il faut réaliser des observations de longue durée pour cerner les évolutions à long terme, mais aussi des mesures plus serrées pour suivre et comprendre les évolutions à court terme. Pour certaines parties du système, nous disposons déjà de techniques plus performantes, comme le montre l'exemple des blooms algaux. Mais ce n'est pas le cas de tous les éléments du bassin versant. Il nous faut donc des mesures de longue durée à forte résolution temporelle, ce qui représente un véritable défi humain et technique.

Dans ce contexte, quels sont vos plus grands défis actuellement, en tant que chercheur?

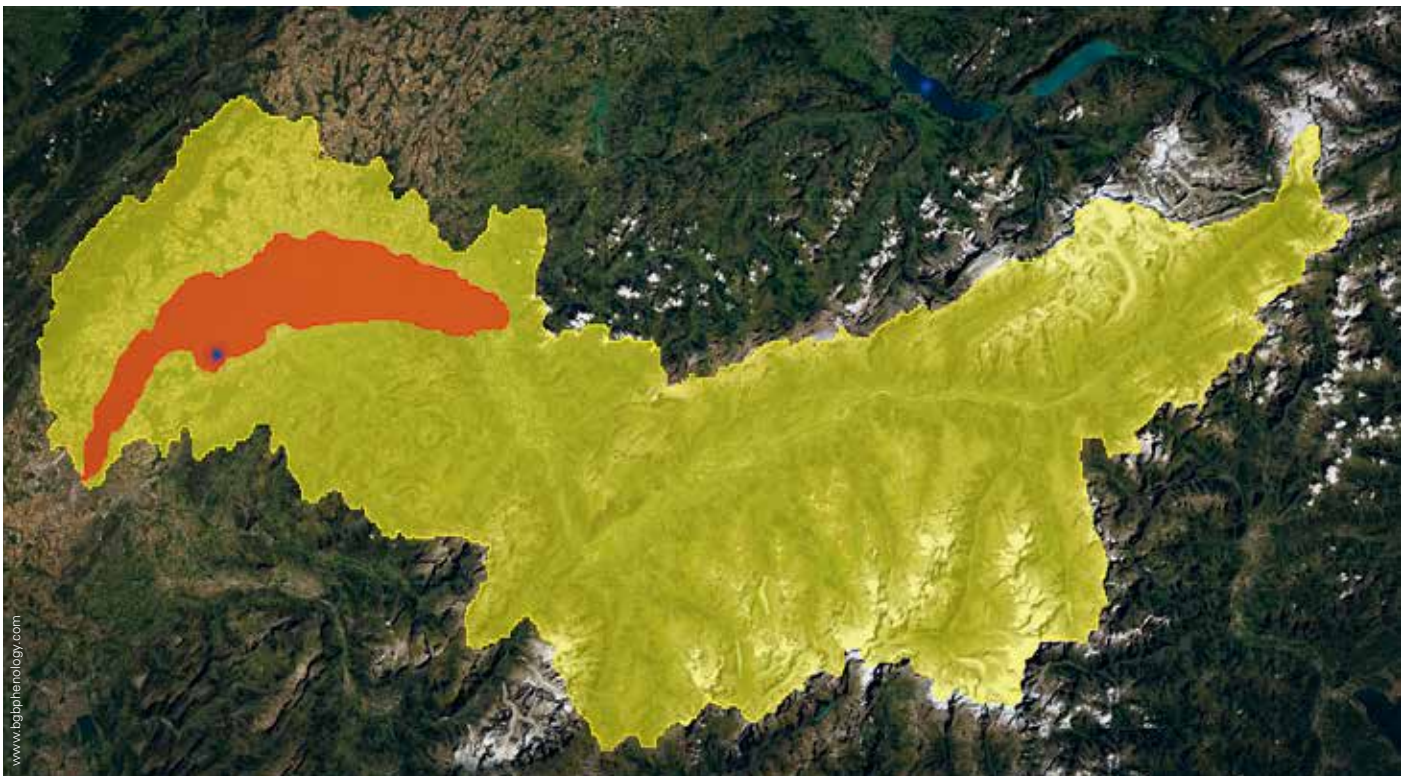
Tout d'abord, nous devons être capables de collecter, d'analyser et de sauvegarder des quantités faramineuses de données. À la station de recherche «LéXPLORE», sur le lac Léman, nous avons pu apporter une solution technique à ce problème avec le projet «datalakes». En revanche, la question de savoir comment pérenniser la collaboration entre les différentes disciplines est encore non résolue. Car dans le contexte actuel de la recherche, les projets s'étendent sur trois ou quatre ans. Or il faut du temps pour établir une collaboration interdisciplinaire durable et pour qu'elle puisse déployer tout son potentiel. La structure «LéXPLORE», conçue pour dix ans, va dans le bon sens et permet de créer de nouvelles synergies. Sans le soutien financier des universités et instituts de recherche engagés dans «LéXPLORE», il n'aurait pas été possible de programmer les études menées au laboratoire flottant sur dix ans.



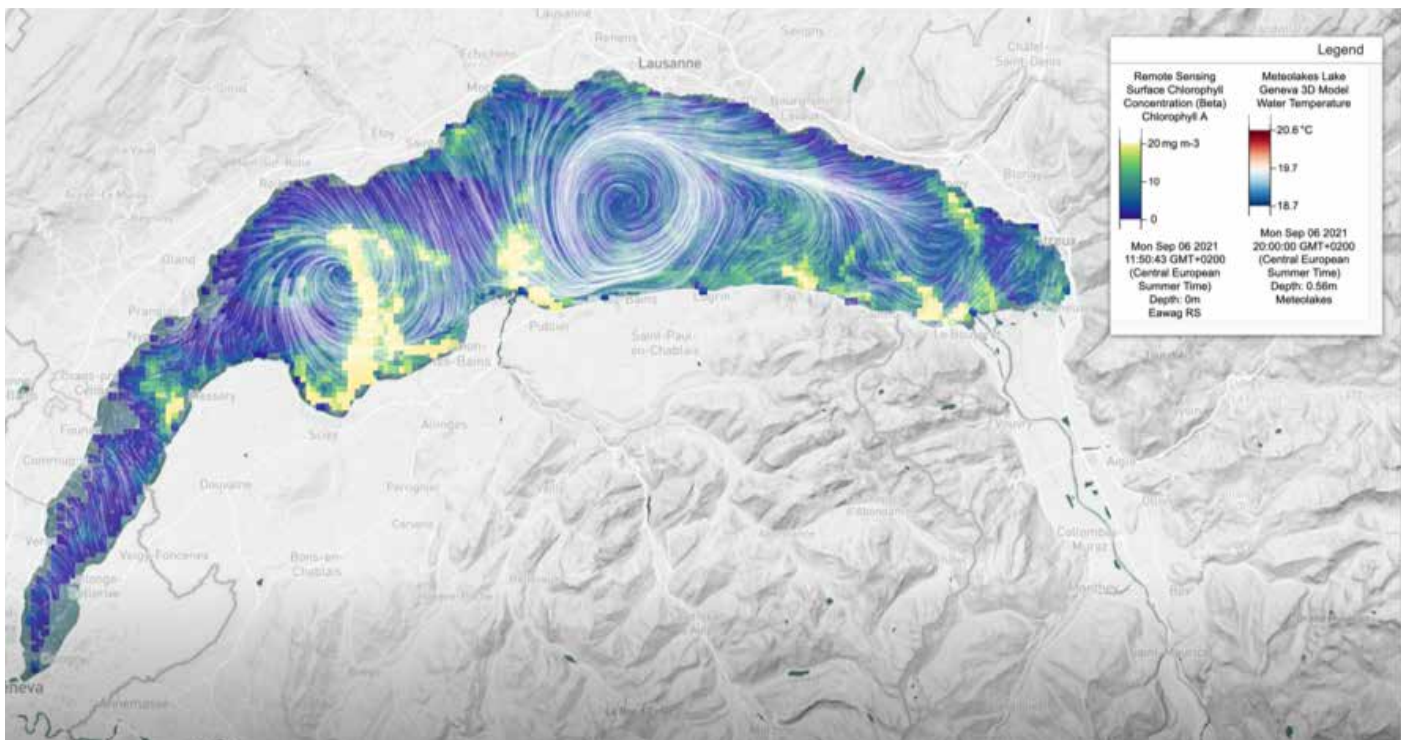
Le dépistage des virus dans les eaux usées pendant la pandémie de Covid-19 illustre bien tout le potentiel des nouvelles technologies.

Essayez d'entrevoir l'avenir: à quelles questions ou à quels problèmes les développements méthodologiques prévisibles permettront-ils d'apporter une solution ou une réponse dans les cinq à dix ans à venir?

Je ne suis pas devin, mais j'espère qu'il sera possible, d'ici quelques années, d'obtenir une vision d'ensemble et intégrée de la dynamique de l'eau dans les bassins versants. Car, en gros, les limites entre les différents éléments d'un système, comme les lacs, les rivières et les nappes souterraines pour les bassins versants, n'ont aucune importance pour les systèmes environnementaux. D'autre part, les processus physiques, chimiques et biologiques agissent les uns sur les autres et se déroulent simultanément. Les frontières entre les disciplines n'ont donc aucune raison d'être pour la compréhension du bassin versant dans son ensemble. Mon deuxième espoir serait que nous parvenions à intégrer la dimension sociale et le facteur humain dans nos analyses et notre compréhension des processus. Cette perspective sociologique est indispensable pour mieux comprendre comment l'humain influe sur les systèmes et identifier les solutions durables qui peuvent fonctionner à long terme. C'est une question urgente mais aussi un véritable défi.



Le bassin versant des lacs est souvent bien plus vaste que la superficie lacustre. La photo présente le bassin versant du lac Léman.



Map Viewer de «datalakes»: visualisation d'un modèle 3 D du lac Léman avec les données de température de l'eau et de teneur en chlorophylle a.
 Source: <https://www.datalakes-eawag.ch/>

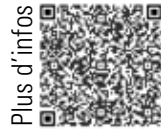
La plateforme «datalakes»

Datalakes offre un accès libre et gratuit à des données de mesures physicochimiques et biologiques effectuées dans les eaux de surface. Les ordinateurs de la plateforme enregistrent en continu les données fournies par des capteurs in situ, stations météorologiques et satellites ou obtenues par d'autres méthodes. Elle dispose d'une interface en ligne qui traite et visualise les données en temps réel. Ses logiciels simulent d'autre part différents scénarii et permettent une extraction simple et rapide des données et produits. «Datalakes» est un projet commun de l'Eawag, du Swiss Data Science Center (SDSC), de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), de l'université de Lausanne (UNIL), de l'université de Genève (UNIGE) et du Centre Alpin de Recherche sur les Réseaux Trophiques et les Écosystèmes Limniques de l'INRAE (CARTEL) à Thonon-les-Bains (FR).



Les données mises à disposition par «datalakes» comprennent notamment a) des mesures effectuées in situ dans les lacs, b) des données de capteurs météo, c) des données de télédétection satellite et d) et des données hydrologiques. (Source: <https://datascience.ch>)





Contact:
Dr Natacha Tofield-Pasche
Faculté ENAC, EPFL



La sonde avec les capteurs pour des mesures automatiques en profondeur de la station de recherche («profilateur automatique multiparamètre»). (Sources: Minaudo et al. 2021, Wüest et al. 2021)

LéXPLORE – Le laboratoire flottant

Depuis 2019, une structure de recherche unique au monde flotte sur le Léman. Grâce à ses équipements de mesure automatique et à l'interdisciplinarité de ses projets, elle contribuera fortement à améliorer notre connaissance des lacs.

Les lacs sont des écosystèmes sensibles et complexes qui, non contents d'offrir un habitat à de nombreuses espèces, sont d'une importance vitale pour nous, êtres humains, puisqu'ils nous fournissent des ressources essentielles comme l'eau potable. Bien que les lacs soient étudiés depuis fort longtemps, certains aspects les concernant n'ont pas encore été élucidés. Il est donc difficile d'évaluer leurs réactions aux modifications environnementales comme le changement climatique ou d'envisager la façon de les protéger d'atteintes telles que les déversements de pesticides ou de nutriments. Au lac Léman, les limnologues disposent depuis 2019 d'une station de recherche unique au monde: la plateforme flottante LéXPLORE. D'une surface d'environ 100 mètres carrés, elle est équipée de capteurs high-tech capables de mesurer en continu de nombreux paramètres physiques, chimiques et biologiques jusqu'à 110 mètres de profondeur. Ces capteurs enregistrent également les phénomènes rapides tels que les fluctuations de température qui peuvent se produire en l'espace de quelques minutes ou de quelques heures. Combinés à d'autres données de surveillance, les paramètres mesurés contribuent aussi à une meilleure compréhension des phénomènes de longue durée comme l'accumulation de polluants ou le recul des teneurs en phosphore dans les lacs.

Les capteurs travaillent aussi de nuit

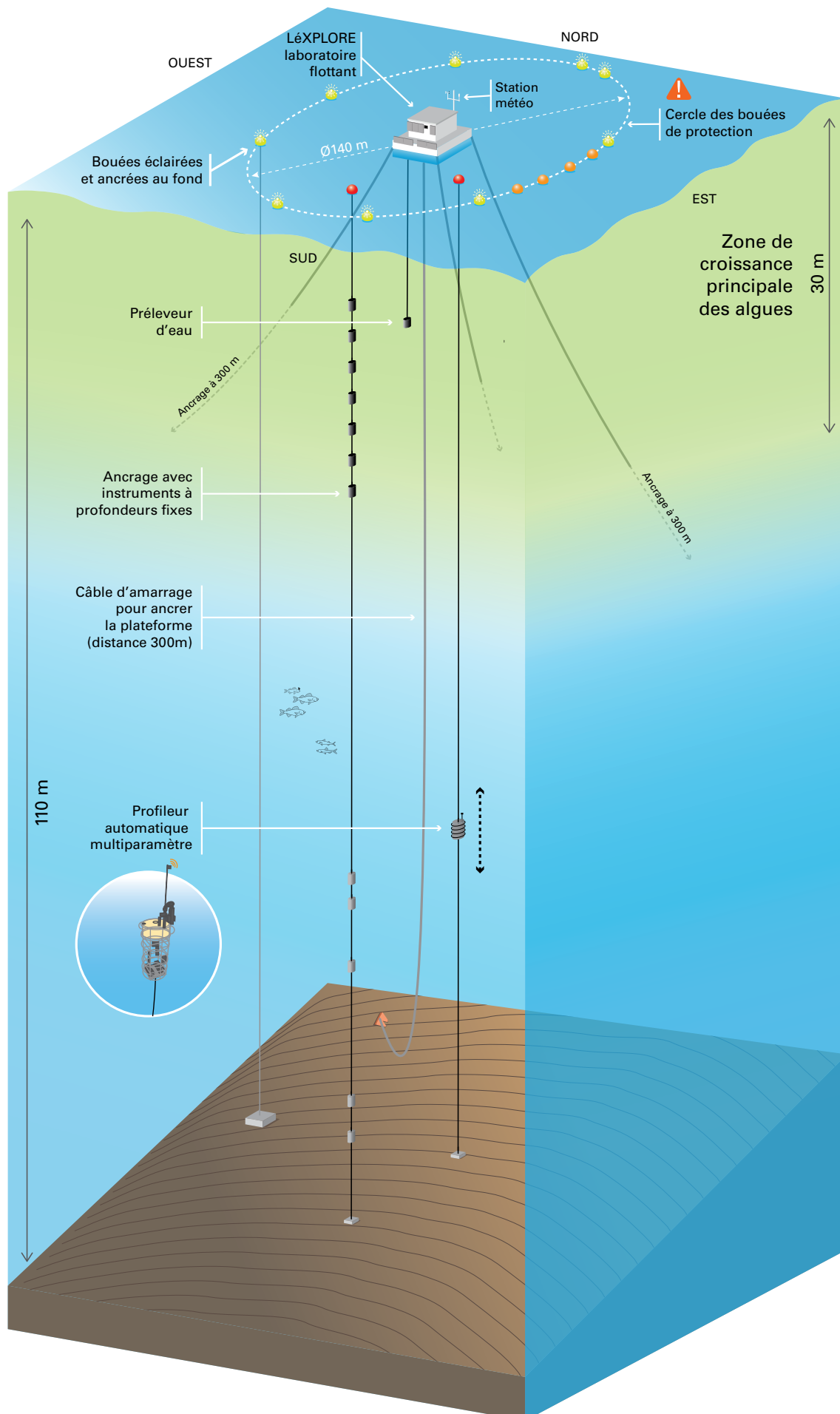
Les lacs sont habituellement étudiés en prélevant des échantillons à partir d'un bateau ou à l'aide d'instruments fixés à certains endroits. Une fois collectés, ces échantillons sont traités puis transportés au laboratoire pour y être analysés. Les opérations d'échantillonnage et d'analyse demandent des moyens techniques et logistiques importants, ce qui, jusqu'à présent, a fortement limité la fréquence et l'étendue des mesures. On ne disposait ainsi quasiment pas de mesures continues sur 24 heures puisqu'il est extrêmement rare que des échantillons soient prélevés la nuit. Or de nombreux processus lacustres, comme la production primaire liée à la concentration d'oxygène, suivent un rythme circadien et ne peuvent donc être suivis de manière adéquate que par des mesures sur 24 heures. Sur ce plan, la plateforme LéXPLORE offre de nouvelles possibilités : elle dispose de capteurs qui effectuent des mesures de manière automatisée et continue et envoient leurs données directement aux ordinateurs de la plateforme «datalakes» où elles sont transmises sauvegardées, et mises à disposition en temps réel sur un portail public (cf. article p. 13).

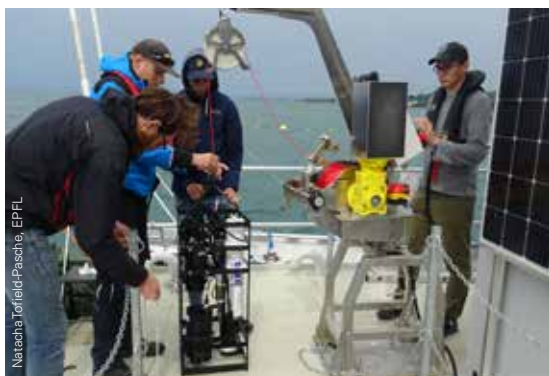
Observation des cyanobactéries par satellite

En plus d'offrir des équipements hors pair, la station de recherche LéXPLORE facilite les approches collaboratives, par exemple dans le cadre de la validation



Connaître tout le lac grâce aux images satellites

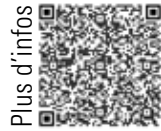




La proximité des capteurs avec la plateforme facilite leur utilisation et leur entretien de même que l'analyse des données.

des données satellitaires (cf. article p. 24). Les images satellites peuvent par exemple être utilisées pour observer le phytoplancton, et notamment les algues bleues, dans les lacs. Les algues bleues, ou cyanobactéries, peuvent proliférer de manière explosive en l'espace de quelques jours en libérant des toxines dangereuses pour la santé animale et humaine. Avec les méthodes classiques, il n'est guère possible de détecter les blooms algaux de façon précoce et de suivre leur développement. Les biologistes de LÉXPLORE ont confronté des images satellites du Léman aux données mesurées automatiquement par les capteurs. Leurs résultats montrent que les données satellitaires peuvent être utilisées pour détecter les efflorescences de cyanobactéries. Il sera donc désormais plus facile d'alerter la population à temps sur le risque de blooms et donc de toxines dans l'eau.

La station de recherche LÉXPLORE est gérée par l'Eawag, l'EPFL, les universités de Genève et de Lausanne et le Centre Alpin de Recherche sur les Réseaux Trophiques et les Ecosystèmes Limniques de l'INRAE (CARRETEL) à Thonon-les-Bains (FR). Équipée de laboratoires, elle offre 16 postes de travail sur place et se trouve à la disposition de tous les chercheurs et chercheuses intéressés. Près de 40 projets sont actuellement en cours afin d'étudier les processus physiques, chimiques et biologiques du lac ou de développer de nouvelles technologies. Le site Web de LÉXPLORE (<https://lexplore.info>) en propose une liste actualisée assortie d'une sélection de publications. Tous les scientifiques de la station s'engagent à mettre gratuitement leurs données à disposition sur le portail public «datalakes». Ce magazine présente certains de ces projets, notamment dans les articles consacrés à la surveillance environnementale à partir de l'espace (cf. article p. 24) ou aux travaux de Kristin Schirmer (cf. article p. 28).



Plus d'infos

Contact:
Dr Christoph Ort
Département Gestion des eaux urbaines, Eawag



MS²field en action au niveau du Doubs.



L'ingénieur environnementaliste Christoph Ort et le chimiste de l'environnement Heinz Singer dans la remorque du MS²field.

Suivi des micro-polluants en temps réel

Les résultats ont étonné même les chercheurs: dans un petit ruisseau, tel qu'il en coule des centaines entre les champs et les plantations de fruitiers, les concentrations de pesticides mesurées ponctuellement en début d'été 2019 étaient telles qu'elles dépassaient parfois d'un facteur 30 les valeurs maximales autorisées. Ce constat est le fait de «MS²field», soit en français «le spectromètre de masse qui va sur le terrain».

C'est le manque de connaissances sur ces pics de pollution dans les cours d'eau qui a poussé l'ingénieur environnementaliste Christoph Ort à développer le système «MS²field» avec le chimiste de l'environnement Heinz Singer: «Avec les méthodes traditionnelles, il faut investir beaucoup de temps et de moyens pour prélever, transporter et traiter les échantillons avant même de pouvoir commencer les mesures. On prélève donc souvent des échantillons composites qui couvrent une certaine période mais donnent peu d'informations sur la dynamique du moment.» Si beaucoup de temps s'écoule entre le stockage et l'analyse des échantillons, il se peut d'autre part que certaines substances se modifient et que les résultats soient donc biaisés. Autre inconvénient, il faut souvent attendre des semaines voire des mois pour obtenir les résultats définitifs avec des méthodes traditionnelles. Si ces résultats révèlent la présence de pollutions critiques, un temps précieux s'est déjà écoulé avant que des mesures aient pu être prises.

Suivi «en live» grâce au smartphone

MS²field change maintenant la donne: les scientifiques peuvent suivre les mesures en direct avec leur smartphone et voir quels polluants sont présents et comment leurs concentrations évoluent. Pour ce faire, de l'eau est prélevée en continu au moyen d'une pompe dans le cours d'eau à étudier et acheminée vers l'appareillage avec un tuyau. Toutes les 20 minutes, un petit échantillon est filtré et préparé automatiquement dans la remorque du MS²field. Les substances contenues dans l'eau sont ensuite séparées par chromatographie pour pouvoir être analysées quantitativement et qualitativement par le spectromètre de masse intégré au système. Une fois la mesure terminée, les données sont dépouillées automatiquement en quelques minutes et transférées vers un serveur où elles sont accessibles à tout moment par Internet. Si le but des recherches l'exige, les mesures peuvent être poursuivies pendant plusieurs mois en ne demandant qu'un minimum d'entretien (en général une fois par semaine).

Dépassement massif des valeurs mesurées de façon traditionnelle

L'étude du petit ruisseau déjà évoqué a fait très nettement apparaître les avantages du premier laboratoire ambulant entièrement automatisé: comme des échantillons composites traditionnels y ont également été prélevés pendant la même période et analysés à l'Eawag, les deux méthodes de mesure ont pu être di-



Principaux éléments de la remorque climatisée de MS²field: une **pompe (1)** relève en continu de l'eau dans le cours d'eau à étudier; une petite partie du flux entrant est déviée vers un **filtre (2)** pour être analysée; pour la quantification des substances, une **seringue doseuse (3)** ultraprécise injecte un mélange **d'étalons marqués aux isotopes (4)** dans un volume prédéfini d'échantillon; lorsque la **vanne de commutation (5)** est en position I (ligne pointillée bleue), cet échantillon est envoyé dans une **cartouche SPE (6)** sur laquelle les substances solubles vont se fixer et s'accumuler; la vanne passe ensuite en position II (ligne rose) et les substances sont à nouveau entraînées hors de la cartouche SPE à l'aide de la **pompe de chromatographie en phase liquide (LC) (7)**, puis séparées dans la **colonne de chromatographie en phase liquide (LC) (8)** pour être enfin dosées dans le **spectromètre de masse (9)**. Toutes ces opérations sont commandées par un **automate programmable industriel (API) (10)** relié à des capteurs de surveillance (du débit, de la pression, de la température, etc.). Le cas échéant, l'API envoie des messages d'alerte au personnel par texto, permet à celui-ci de prendre les commandes manuellement par un **accès à distance (11)** et de contrôler l'intérieur de la remorque à l'aide de **webcams (12)**. **L'évolution des concentrations de substances dans le cours d'eau (13)** peut être observée en ligne, à raison d'une nouvelle mesure toutes les 20 minutes.

rectement comparées. Il s'est avéré que les concentrations mesurées toutes les 20 minutes par MS²field pouvaient atteindre des pics jusqu'à 170 fois supérieurs aux concentrations moyennes des échantillons prélevés sur 3,5 jours. Plusieurs études ont déjà montré que, suivant les pesticides, les organismes aquatiques pouvaient subir des dommages même en n'étant exposés qu'une heure durant à des concentrations trop élevées; les analyses de MS²field permettent maintenant, grâce à leurs pas de temps resserrés, de prendre la réelle mesure de ce risque. Grâce à ce genre de données, il est aujourd'hui possible pour toute une série de produits phytosanitaires de mieux évaluer les fluctuations et pics de concentration auxquels les organismes aquatiques peuvent être exposés.

Une grande diversité d'applications possibles

Le dosage des pesticides dans les cours d'eau n'est cependant que l'une des applications possibles de MS²field. Le laboratoire ambulant a ainsi déjà servi à étudier les eaux usées en entrée et en sortie de station d'épuration. Là encore, les mesures effectuées toutes les 20 minutes ont dévoilé des rythmes de pollution qui seraient passés inaperçus sans elles. Ces observations permettent notamment de savoir comment les micropolluants parviennent dans les égouts. Ainsi, l'étude des eaux usées de Fehrltdorf-Russikon a montré que les concentrations

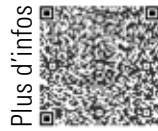
de candésartan, un antihypertenseur très courant, variaient de manière systématique au cours de la journée. Les valeurs les plus élevées sont mesurées le matin, ce qui est probablement lié au premier passage aux toilettes. Des produits phytosanitaires ont également été détectés dans les eaux usées. Par exemple, les plus fortes concentrations de mécoprop, qui est utilisé dans les toits plats pour éviter la croissance des racines à travers les bandes bitumineuses, ont été mesurées après la seule pluie de la période d'étude, dont il est probable qu'elle a lessivé les toitures et entraîné l'herbicide dans les égouts.

Le prototype a fait ses preuves

L'étude du petit ruisseau et celle des eaux usées de Fehraltdorf-Russikon montrent bien une chose: même si MS²field n'est encore qu'un prototype, il livre des données aussi fiables qu'intéressantes. Un bilan extrêmement positif pour Christoph Ort et Heinz Singer: «Sincèrement, nous ne nous attendions pas à ce que MS²field fonctionne sans problème dès le début et nous sommes très heureux de constater la stabilité de l'appareil à l'emploi. Apparemment, le soin que nous avons apporté à la préparation du projet a porté ses fruits. L'utilisation d'un tel appareil n'est déjà pas évidente en conditions uniformes de laboratoire. Personne n'avait jamais installé un tel instrument dans une remorque pour effectuer des mesures sur le terrain. Nous avons dû penser à énormément de facteurs qui devaient être identifiés et traités automatiquement – ou faire en sorte que les problèmes soient signalés par SMS et résolus à distance.»

Prochain objectif: un mini labo portable

Mais cette success story ne doit pas s'arrêter là: les chercheurs prévoient pour les années à venir d'étendre continuellement le champ d'application. Christoph Ort remarque à ce sujet: «Chaque jour nous apprend comment diversifier encore plus les utilisations de MS²field. Bien souvent, cet enseignement vient de nouveaux talents qui apportent des idées neuves qui peuvent être appliquées et testées rapidement avec du matériel électronique et des capteurs adaptés grâce au soutien et à la compétence de nos services techniques.» Il est ainsi prochainement prévu d'étudier les eaux de source et les déversoirs d'orage des stations d'épuration. Des demandes viennent aussi des professionnels, et même de l'étranger. Mais MS²field reste surtout un instrument conçu pour la recherche car, même s'il est automatisé, son utilisation correcte demande de solides connaissances en chimie analytique. L'Eawag travaille donc à le rendre encore mieux adapté à la pratique. Mais l'équipe de MS²field a encore d'autres visions d'avenir: «Nous voulons réduire encore le pas de temps des mesures et le prochain modèle devra être plus petit, plus autonome et consommer moins d'énergie. Cela nous permettrait d'utiliser MS²field dans des endroits non accessibles en voiture et non raccordés au réseau électrique.»



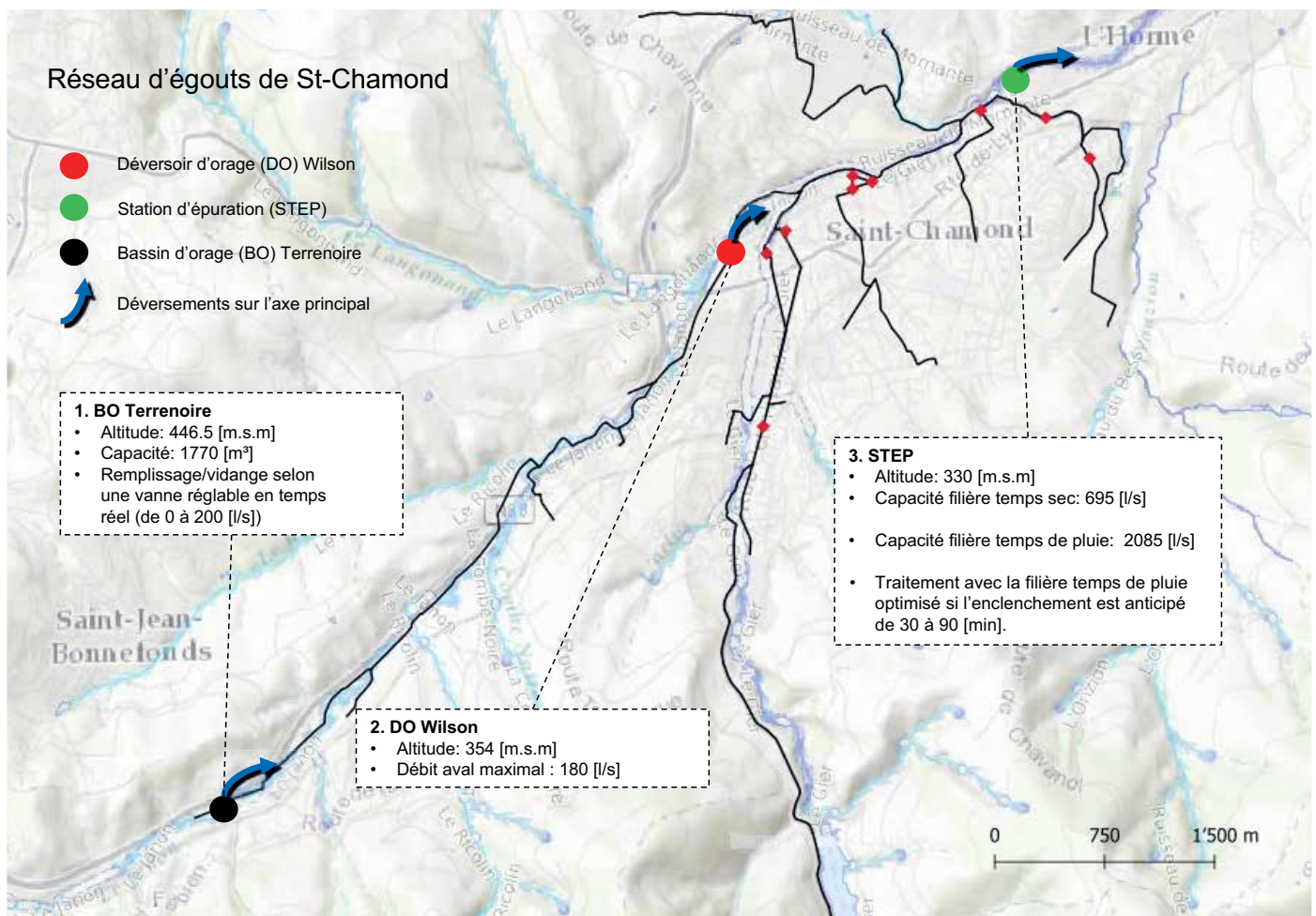
Contact:
Dr Frédéric Jordan et Dr Philippe Heller
Hydrique Ingénieurs

Optimiser la gestion des eaux usées et protéger les milieux aquatiques

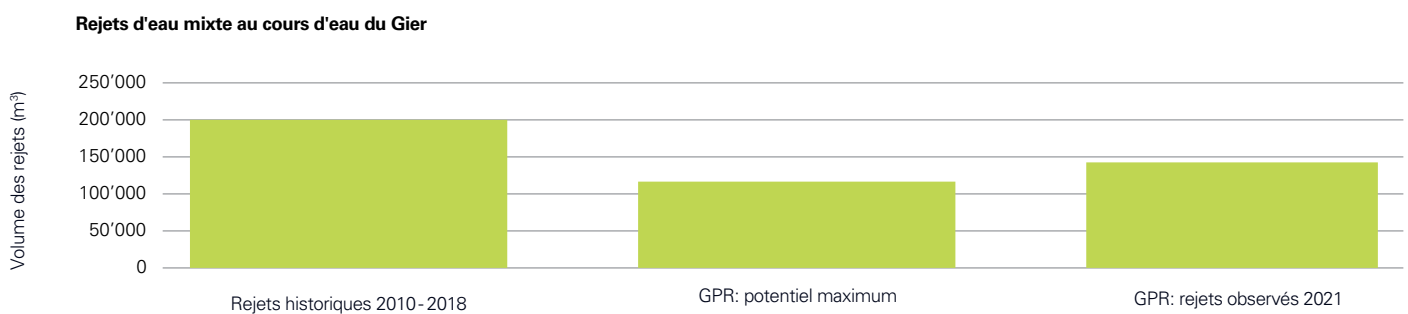
Les milieux aquatiques naturels subissent régulièrement des déversements d'eaux usées non traitées via les déversoirs d'orage des réseaux unitaires. Grâce à un «digital twin» ou jumeau numérique, la gestion du réseau d'assainissement peut être améliorée et ce type de pollution grandement évité.

Les ménages et l'industrie déversent régulièrement des produits chimiques, des métaux lourds et des hormones dans les égouts. Si les stations d'épuration ne les éliminent pas, ces polluants viennent contaminer les écosystèmes aquatiques. Dans beaucoup de zones urbaines et industrielles, les eaux usées sont évacuées avec les eaux de pluie dans un système d'égouts unitaire et acheminées ensemble vers une station d'épuration. Les eaux traitées sont ensuite déversées dans un ruisseau, une rivière ou un lac voisin. Dans le contexte urbain, en particulier, le système unitaire atteint cependant ses limites : en cas de pluies torrentielles, les quantités d'eau sont subitement si importantes qu'elles ne peuvent pas s'infiltrer sur place dans les sols qui sont largement imperméabilisés. Elles doivent donc être évacuées par les égouts qui disposent cependant de capacités d'accueil limitées. Si celles-ci sont atteintes, le surplus, composé d'eaux usées et d'eau de pluie, est évacué sans traitement dans le milieu aquatique.

Pour absorber les pointes de débit et limiter les déversements d'eaux usées dans le milieu aquatique, les zones desservies par les égouts unitaires sont souvent équipées de tout un réseau d'ouvrages de délestage. Un système d'assainissement élaboré comprend ainsi, en plus de la station d'épuration, des bassins d'orage et des déversoirs d'orage. Les bassins d'orage recueillent les eaux de pluie et les stockent de manière temporaire, tandis que les déversoirs d'orage évacuent les eaux mixtes non traitées vers un lac ou un cours d'eau naturel lorsque le volume à transporter est trop important. Une telle infrastructure comprenant collecteurs, station d'épuration et ouvrages de délestage est extrêmement onéreuse, aussi bien à l'investissement qu'à l'entretien. Les communes doivent donc faire face à un véritable défi si elles souhaitent continuer à réduire la pollution des eaux. Car le changement climatique s'accompagne d'une augmentation des événements pluvieux extrêmes tandis que les villes ne cessent de s'étendre.



Le réseau d'assainissement de la ville de Saint-Chamond, dans le département français de la Loire.



À Saint-Chamond, le volume d'eaux usées non traitées devant être déviées a pu être réduit de 29 pour cent grâce à la prise en compte des prévisions météo locales. (Graphique: auteurs)

Vers une gestion dynamique des systèmes d'assainissement

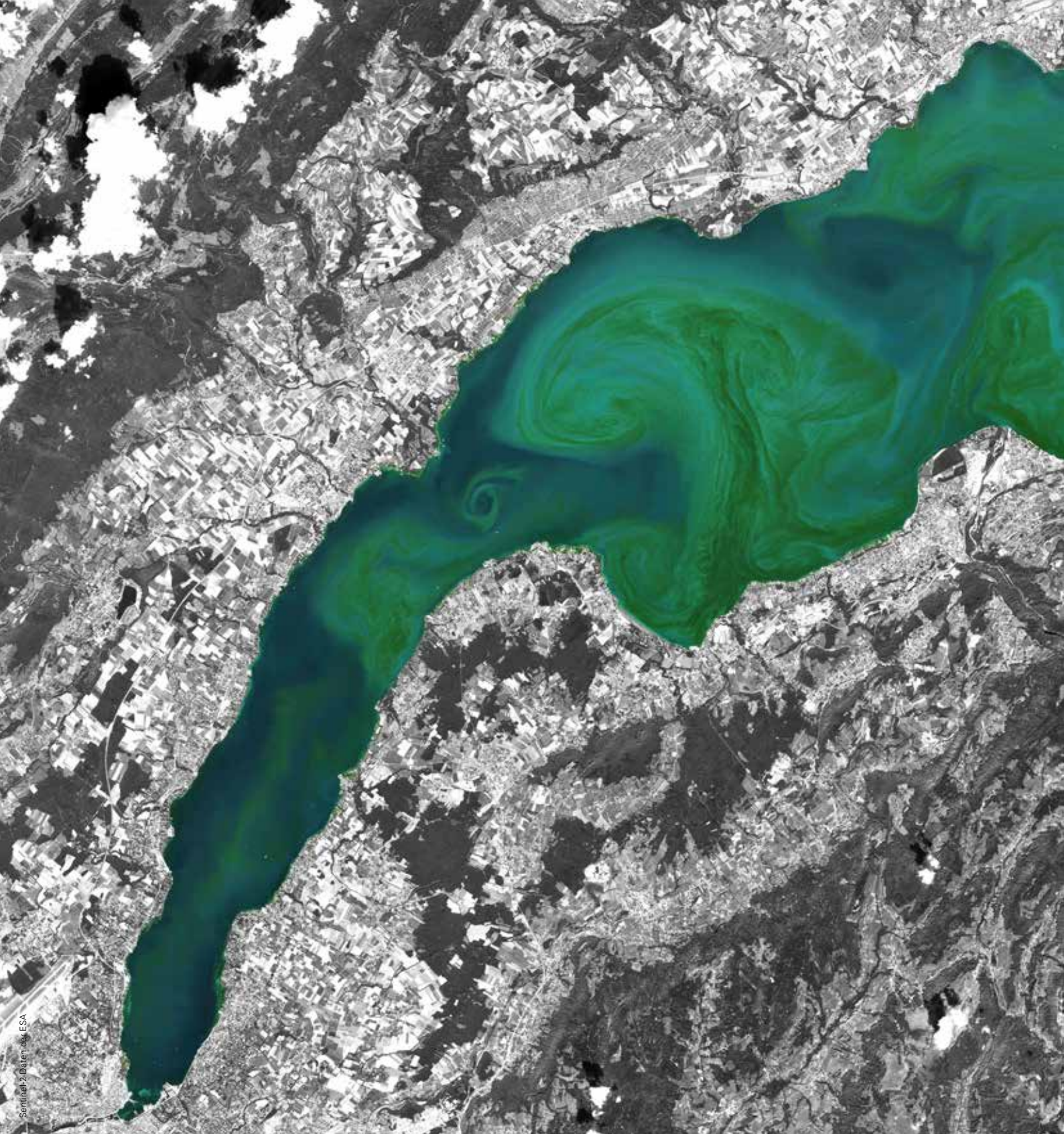
Beaucoup de systèmes d'assainissement sont gérés de manière statique. Les bassins et déversoirs d'orage se délestent à partir de seuils fixes indépendamment des conditions météorologiques. Si les prévisions météo et données pluviométriques locales étaient prises en compte dans la gestion des ouvrages, l'infrastructure en place pourrait être exploitée avec beaucoup plus d'efficacité et la pollution du milieu aquatique réduite. Grâce au concept de jumeau numérique, une telle gestion dynamique devient possible. Le terme de jumeau numérique ou «digital twin» vient du monde de la communication et désigne la réplique numérique d'un objet qui est liée à l'objet d'origine par un échange de données en temps réel. Dans un tel système, les données mesurées en temps réel étant reliées au modèle, cela permet de simuler les processus et d'améliorer le modèle en continu. Cette démarche permet alors d'optimiser la gestion du système réel.

Comment le concept du jumeau numérique peut-il être appliqué à la gestion des systèmes d'assainissement? Le réseau d'assainissement d'une commune donnée (l'objet d'origine) est tout d'abord reproduit dans un modèle (la copie numérique). Les données issues de mesures en temps réel des flux d'eaux usées et d'eaux de pluie et de la pluviométrie sont ensuite fournies au modèle pour optimiser la gestion du réseau. Les modèles s'appuient sur le logiciel RS URBAN développé pour les systèmes urbains qui permet de combiner les modélisations hydrologiques et hydrauliques des zones urbaines avec les modélisations de bassins versants naturels.

Le jumeau numérique du réseau d'assainissement de Saint-Chamond

La ville de Saint-Chamond, dans la région lyonnaise, a été l'une des premières communes de France à se doter d'un jumeau numérique pour la gestion de son réseau d'assainissement. La population de Saint-Chamond compte 36'000 personnes. Intégrant une importante zone industrielle, le territoire urbain de la commune est imperméabilisé sur 71 pour cent de sa surface. Le Gier, la rivière qui le traverse, s'écoule sous terre sur de larges portions avant de se déverser dans le Rhône à Givors. Son bassin versant est de 403 kilomètres carrés. Le réseau d'assainissement de Saint-Chamond comprend une station d'épuration (STEP) et divers ouvrages de délestage, à savoir le bassin d'orage de Terrenoire, d'un volume de 1770 mètres cubes, le déversoir d'orage latéral Wilson et d'autres déversoirs d'orage non concernés par la régulation du bassin d'orage.

La société Veolia Eau France, qui exploite le réseau d'assainissement de Saint-Chamond, a chargé l'entreprise suisse Hydrique Ingénieurs de développer un jumeau numérique du système d'évacuation des eaux. Aujourd'hui, les responsables municipaux peuvent gérer leur système d'assainissement de manière flexible en s'adaptant aux conditions météo locales et à la production d'eaux usées. Grâce au jumeau numérique, la capacité de rétention du bassin d'orage de Terrenoire a ainsi pu être optimisée et le système de régulation de la station d'épuration automatisé. Frédéric Jordan, le directeur d'Hydrique Ingénieurs, s'en réjouit: «En 2020, nous sommes parvenus à réduire les déversements d'eaux non traitées dans le Gier de 17 pour cent et les apports de matières en suspension et d'azote ammoniacal (NH_4^+) de 20 et 34 pour cent, respectivement. En 2021, les rejets d'eaux usées non traitées ont même été réduits de 29 pour cent!» Les premiers résultats sont donc très encourageants. Car, d'après Frédéric Jordan, le potentiel d'optimisation est encore loin d'être totalement exploité: grâce au jumeau numérique, l'infrastructure existante peut en effet être utilisée avec une efficacité croissante à mesure que le modèle s'améliore à la faveur des données locales mesurées en temps réel qui lui sont fournies.



Satellite 2 Data of ESA

Plus d'infos



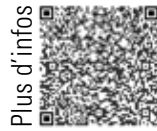
Contact:
Dr Daniel Odermatt
Département Eaux de surface, Eawag

Sur cette photo satellite du lac Léman, l'étendue et les différences d'intensité d'une efflorescence algale de chrysophycées (*Uroglena spp.*) sont parfaitement observables. Les satellites détectent les composants visibles de l'eau et leurs données sont validées avec des mesures de référence effectuées automatiquement par des capteurs circulant dans la colonne d'eau du lac Léman.



Observer l'environnement à partir de l'espace

Le programme européen Copernicus collecte depuis 2014 des données satellites qu'il met gratuitement à la disposition de la recherche sur l'environnement. L'Eawag en extrait des indicateurs de qualité de l'eau comme les concentrations de chlorophylle a pour les trente lacs les plus grands de Suisse et teste les possibilités d'intégration de ces indicateurs dans les systèmes traditionnels d'observation de l'environnement. Pour que cela soit possible, les données satellites doivent être validées par des mesures in situ. De telles mesures de référence sont ainsi effectuées à la station de recherche LÉXPLORE, sur le lac Léman, (cf. article p. 14) pour les comparer à des images satellites optiques. Les prises de vue satellites détectent les composants visibles de l'eau comme le phytoplancton ou la matière organique dissoute colorée (CDOM). Pour obtenir les valeurs de référence correspondantes, des capteurs mesurent automatiquement à chaque passage de satellite différentes grandeurs telles que la réflexion, l'adsorption et la diffusion de la lumière. Ces valeurs sont alors directement comparées aux photos satellites. D'autres paramètres tels que la température ou la teneur en oxygène peuvent être considérés en complément pour interpréter les prises de vue.



Plus d'infos

Contact:
Prof. Dr. Tamar Kohn
Faculté ENAC, EPFL



Esther Michel, Eawag

L'ingénieure environnementaliste Tamar Kohn.

«Je n'avais jamais travaillé sur un sujet qui suscite autant d'intérêt.»

L'ingénieure environnementaliste Tamar Kohn est professeure à l'EPFL depuis 2007. Elle y dirige le Laboratoire de chimie de l'environnement (LCE) et étudie le comportement des virus pathogènes dans l'environnement. Elle nous parle du programme de monitoring du coronavirus dans les eaux usées qu'elle a co-initié.

Professeure Kohn, le virus SARS-CoV-2 a été identifié en Chine début janvier 2020. Dès le mois de février, vous et votre équipe avez commencé à prélever des échantillons d'eaux usées pour y dépister le virus. Comment avez-vous pu réagir aussi rapidement?

Grâce à un post-doc qui travaille dans mon équipe depuis 2018 sur les virus dans les eaux usées, nous avons déjà toutes les compétences au laboratoire et nous savions comment détecter les virus. Quand le nouveau coronavirus a fait son apparition en Chine, le chef du groupe de recherche Agents pathogènes & santé humaine de l'Eawag, Tim Julian, avec qui j'avais déjà souvent travaillé, m'a contactée. C'est un spécialiste de la transmission des agents pathogènes dans l'environnement. Nous avons également recruté Christoph Ort de l'Eawag dans notre équipe «d'intervention spéciale» car, en tant que chef du groupe de recherche sur les polluants dans les égouts, il connaissait parfaitement le milieu de l'assainissement en Suisse. Il lui suffisait – en quelque sorte – de décrocher son téléphone pour que les échantillons nous parviennent. Grâce à son savoir interdisciplinaire, nous avons pu démarrer dès que la pandémie a atteint la Suisse.

Avez-vous agi à la demande des autorités ou de votre propre initiative?

C'était de l'initiative de notre équipe de recherche. Du point de vue du génie de l'environnement, il était clair dès le début que la détection de l'agent du Covid-19 dans les eaux usées serait une méthode possible de surveillance de la pandémie. Un réseau international s'est alors très vite formé entre les chercheurs. Le problème a plutôt été de «vendre» l'idée aux spécialistes de santé publique. Le principe est certes déjà appliqué depuis longtemps à la surveillance des agents de la poliomyélite mais la stratégie adoptée est plutôt qualitative, basée sur des prélèvements ponctuels aléatoires. Nous effectuons au contraire un suivi quantitatif basé sur un échantillonnage très serré dans le temps. Il nous a donc fallu travailler en amont pour démontrer la valeur de la méthode et prouver que cela valait la peine d'y investir des moyens. Au bout d'un an, environ, l'OFSP a adhéré à notre idée et a fini par financer un projet de surveillance au niveau de six stations d'épuration suisses.



Esther Michel, Eawag

Prélèvement d'échantillons d'eau usée à la station d'épuration de Werdhölzli, à Zurich.



Christoph Ort et Tamar Kohn

Quel est l'avantage de la détection des virus dans les eaux usées par rapport aux tests sur les personnes?

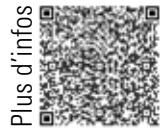
Cette approche permet de suivre la dynamique de la pandémie indépendamment de la volonté de la population de se faire tester et de voir, par exemple, où une mesure donnée a des effets sur la concentration de virus. Maintenant que la fréquence des tests diminue, nous pouvons encore voir comment évolue la pandémie à travers les eaux usées. Et nous pouvons aussi détecter très tôt l'apparition de nouveaux variants en Suisse s'ils ont déjà été observés ailleurs dans le monde. Il est en revanche très difficile de trouver quelque chose si l'on ignore ce que l'on cherche. Là, le système d'alerte précoce atteint ses limites.

Quels ont été pour vous les moments forts – ou difficiles – de ce projet de recherche?

Ce qui a été formidable, c'est que la collaboration a super bien fonctionné, aussi bien à l'international qu'au niveau national, et aussi bien avec les consœurs et confrères de l'ETH Zurich qu'avec les services cantonaux et le personnel des stations d'épuration. Le fait que le public se soit fortement intéressé à notre approche – surtout quand nous avons détecté le variant alpha avant qu'il n'apparaisse dans les tests – a aussi été très stimulant. Je n'avais jamais travaillé sur un sujet qui suscite autant d'intérêt et qui soit aussi près de l'actualité! Le revers de la médaille, c'est que cela nous a demandé énormément de travail, notamment pendant le confinement, alors que notre équipe Covid était encore restreinte. Nous étions dépendants de laboratoires qui, en principe, devaient être fermés, devons en même temps apprendre à donner des cours en ligne et avions à la maison de jeunes enfants à qui nous devons faire l'école. Les premiers mois ont vraiment été très durs!

Et maintenant, comment se poursuit la surveillance du SARS-CoV-2? Est-ce que cette approche sera étendue à d'autres agents infectieux?

Notre projet de recherche se terminera probablement fin 2022. Mais en parallèle, l'OFSP a étendu la surveillance systématique du SARS-CoV-2 à 100 stations d'épuration réparties dans toute la Suisse. Nous avons donc de bonnes cartes en main pour une surveillance à long terme des eaux usées. Il a fallu du temps pour mettre en place la logistique nécessaire et créer un bon réseau. Mais ce travail est maintenant derrière nous et il serait assez simple de continuer sur notre lancée. Au niveau international, il y a aussi une volonté de maintenir la surveillance à partir des eaux usées, non seulement pour le Covid mais aussi, par exemple, pour la grippe. D'autres maladies pourraient également être bien suivies par cette approche. J'espère sincèrement que la Suisse continuera à miser généralement sur ce monitoring pour surveiller et analyser les maladies infectieuses dans la population.



Plus d'infos

Contact:

Prof. Dr Kristin Schirmer, *Département Toxicologie de l'environnement, Eawag, Faculté ENAC, EPFL et Département USYS, ETHZ*



Peter Fritzsche, Eawag

Kristin Schirmer

Kristin Schirmer: «Fish on chips» ou comment sauver des vies animales

Fish on chips – non, il ne s'agit pas de la fameuse spécialité de nos amis britanniques composée de poisson frit dans de la pâte et de frites, mais de cellules de poisson sur puces, résultat d'une carrière scientifique hors du commun que Kristin Schirmer avait imaginée bien différente.

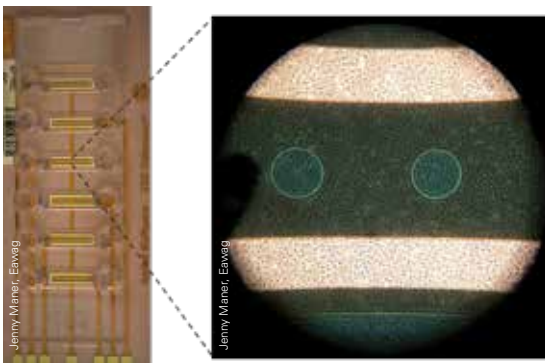
Née en 1967, Kristin Schirmer a grandi à Dresde, dans l'ancienne RDA. Elle passait une grande partie de son temps libre dans la nature, notamment au bord d'un étang non loin de l'appartement familial. «Pour moi, c'était le quotidien: j'ai toujours aimé être dans la nature et je m'intéressais à la biologie, je traquais les têtards et attrapais les puces d'eau.» Elle avait une autre passion: le sport. Et comme à l'époque, la RDA avait besoin d'enseignants, Kristin Schirmer choisit assez logiquement de suivre une formation de professeur d'éducation physique et de biologie après le lycée, d'autant plus motivée qu'elle avait réussi le difficile examen d'entrée à cette filière.

C'est une blessure qui la força à abandonner son rêve d'une carrière de professeur du secondaire. Au lieu de se décourager, elle se lança dans des études de biologie avec la même énergie qu'elle avait consacrée à sa formation d'enseignante. Après ce tournant personnel, c'est le pays tout entier qui changea de direction en 1989: «Malgré une enfance heureuse, on se sentait à l'étroit et ça a été formidable d'assister à la chute du mur de Berlin.» Kristin Schirmer saisit alors la première chance qui s'offrait à elle pour passer à l'ouest: avec son mari, qu'elle connaissait depuis le lycée, elle partit s'installer à Stuttgart en 1991, où elle continua ses études à l'université.

L'aiguillage décisif au Canada

Mais les deux jeunes gens eurent bientôt envie d'aller plus loin: le Canada serait leur nouveau projet. Avec sa pugnacité légendaire, Kristin Schirmer réussit à obtenir un poste à l'université de Waterloo (Ontario) où son mari voulait préparer une thèse. Elle intégra alors le laboratoire de Niels Bols, un spécialiste réputé de biologie cellulaire. C'est Bols qui lui apprit à isoler les cellules de truite arc-en-ciel et à les faire se développer sur un milieu nutritif pour obtenir une culture cellulaire pouvant être entretenue indéfiniment. Lorsque Bols lui proposa un poste de doctorante dans son laboratoire, elle sut bientôt quel serait désormais son but: utiliser les lignées de cellules de poissons pour remplacer les essais sur animaux, même si, de son propre aveu, «personne, à l'époque, ne pensait que cela pouvait fonctionner».

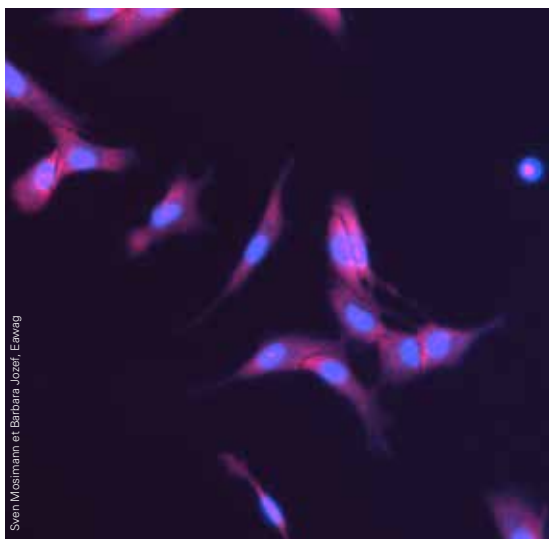
Avant qu'un produit chimique puisse être mis sur le marché, il doit être démontré qu'il est sans danger pour l'être humain et qu'il ne porte pas atteinte à l'environnement – et donc aux organismes vivant dans l'eau, par exemple. L'un des tests les plus courants est le test de toxicité aiguë pour les poissons. Des poissons sont



Jenny Manier, Eawag

Jenny Manier, Eawag

Puce à six canaux (à gauche) dans lesquels les cellules sont disposées pour se développer (à droite). Les cercles sur la puce correspondent aux électrodes qui permettent de mesurer la résistance des cellules.



Sven Mosimann et Barbara Jozef, Eawag

Cellules d'une lignée de cellules branchiales de truite arc-en-ciel (RTgill-W1) vues au microscope (en bleu: noyau, en rouge: cytoplasme)

exposés à des concentrations croissantes de produit chimique dans des aquariums pour mesurer le temps qu'ils mettent à mourir. Des millions de poissons meurent ainsi chaque année pour les besoins de ces tests – une situation que Kristin Schirmer juge intolérable.

Un mérite qui revient à de nombreuses personnes

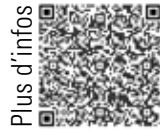
Ce qui avait commencé un peu par hasard est ainsi devenu une véritable cause pour Kristin Schirmer. Que ce soit dans son post-doc (au Canada puis à Leipzig), à la direction du département de Toxicologie cellulaire (Leipzig) ou, depuis 2008, à la tête du département Toxicologie de l'environnement de l'Eawag, elle a mis toute son énergie dans le développement d'un test de toxicité qui utilise des cellules de poisson au lieu des poissons. En 2016, elle s'est associée à d'autres spécialistes pour fonder «aQuaTox-Solutions» afin de commercialiser ce nouveau test. En lançant celui-ci sur le marché, la spin-off de l'Eawag a suscité beaucoup d'intérêt dans l'industrie. Mais c'est en 2019, lorsque l'Organisation internationale de normalisation a adopté le test en tant que «norme ISO» que Kristin Schirmer et son équipe ont véritablement percé. Puis, deux ans plus tard, c'est le couronnement final: en 2021, l'ODCE donne son feu vert au test sur lignées cellulaires de poissons. Les entreprises et les autorités du monde entier peuvent désormais évaluer la toxicité environnementale des produits chimiques sans recourir à l'expérimentation animale. «Nous sommes plus qu'heureux d'y être parvenus et nous avons toujours pu compter sur le soutien total de l'Eawag, souligne Schirmer. Le mérite du succès de ces dernières années revient à de très nombreuses personnes. Malgré des vents parfois contraires, nous avons toujours réussi à poursuivre nos recherches et le résultat est là.»

Encore beaucoup d'objectifs

C'est cette persévérance, doublée de courage et de flexibilité, ainsi que la confiance qu'elle place dans un vaste réseau de relations, qui ont conduit Kristin Schirmer là où elle se trouve aujourd'hui. Mais c'est aussi la certitude de se battre pour la bonne cause. De façon générale, elle trouve très important de réfléchir aux gestes du quotidien et de se comporter de manière responsable et durable. Elle a par exemple décidé de devenir végétarienne. «Pour moi, tout est lié, c'est donc aussi une question de mode de vie.» Elle transmet aussi cette vision globale des choses à ses étudiantes et étudiants – de même qu'à ses enfants qui ont déjà eux-mêmes commencé des études. Car la passion de l'enseignement ne l'a jamais quittée, comme le montre le Prix que les étudiantes et étudiants de l'EPFL lui ont décerné en 2021 pour son engagement en tant que professeure.

Mais elle n'est pas du genre à se reposer sur ses lauriers. Elle s'est encore fixé de nombreux objectifs sur le plan professionnel. Il lui importe alors de ne jamais perdre de vue la perspective de la pratique. «Ces dernières années m'ont appris qu'en tant que scientifiques, nous pensons souvent que les chiffres parlent d'eux-mêmes et que tout est logique, alors que ce n'est pas le cas. Nous devons intégrer les parties prenantes dans nos projets dès le début et réfléchir ensemble aux aspects qui leur semblent importants et à ce que nous pouvons atteindre ensemble.»

Tout en haut de son agenda figure maintenant le projet «Fish on chips»: une équipe de chercheuses et de techniciens de l'Eawag est déjà parvenue à cultiver des cellules de poissons sur des puces portant des électrodes qui permettent de mesurer la résistance des cellules et donc leur vitalité. Les scientifiques souhaitent maintenant utiliser ces biocapteurs sur le terrain pour évaluer la toxicité de l'eau directement dans les rivières ou dans les lacs. De premiers essais ont déjà été réalisés au laboratoire LÉXPLORE sur le Léman (voir p. 14). «Pour le moment, il y a encore beaucoup de problèmes, nous sommes encore en plein développement. Nous travaillons à perfectionner le système pour qu'il soit bientôt possible de suivre la toxicité du milieu pour les cellules en direct sur un smartphone sans que la vie d'un seul poisson ne soit mise en danger.» Pour ceux qui connaissent Kristin Schirmer, il n'y a aucun doute qu'elle parvienne également à atteindre cet objectif-là. 29



Contact:
Dr. Benoît Ferrari
Directeur, Centre Ecotox

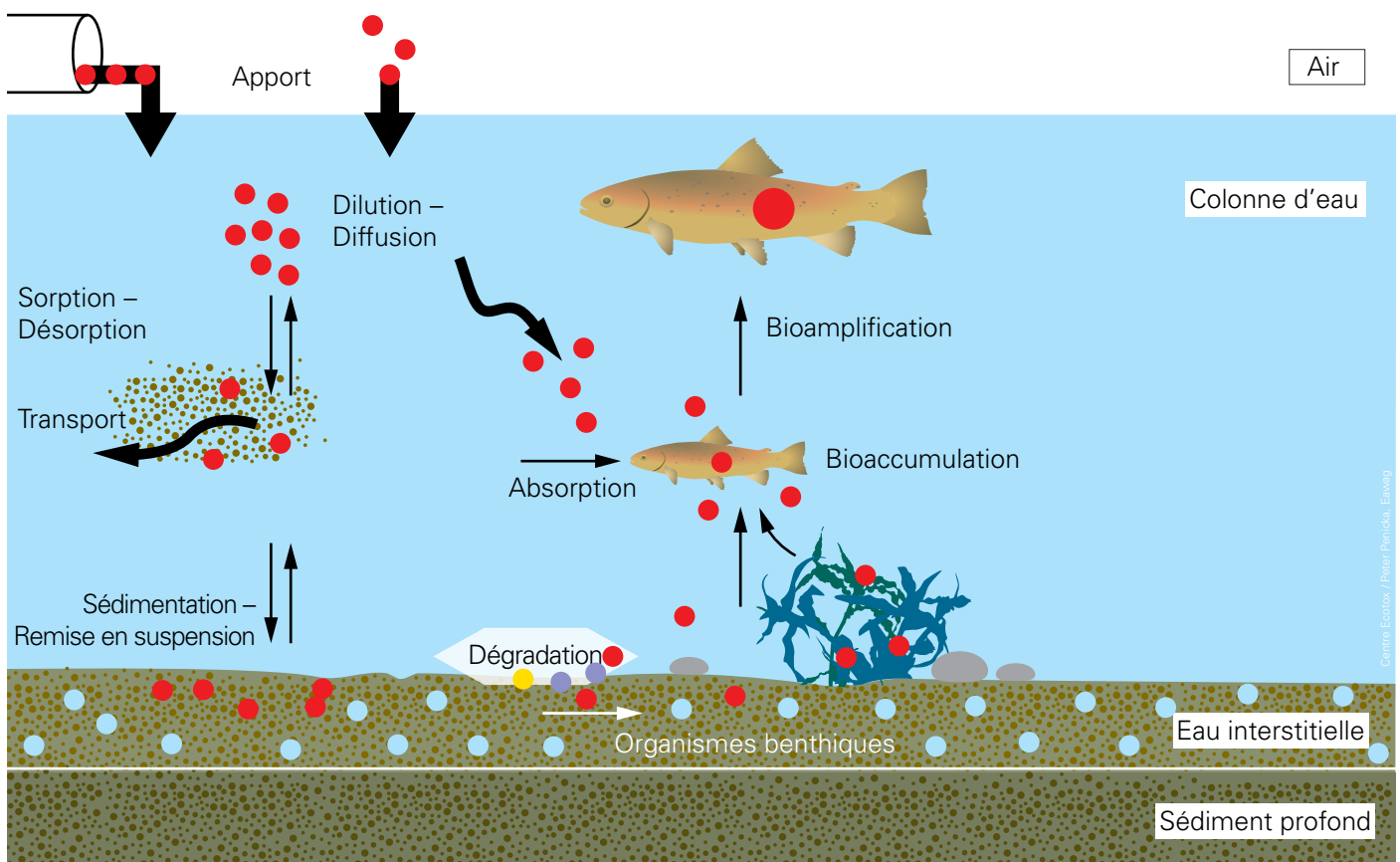


Surveillance des polluants dans les sédiments

Une nouvelle stratégie développée par le Centre Ecotox montre comment la qualité des sédiments peut être évaluée de façon harmonisée en Suisse et pose ainsi les bases d'un monitoring à l'échelle du pays. La méthode est actuellement à l'essai dans le canton de Berne.

Les sédiments jouent un rôle-clé dans les écosystèmes aquatiques. Ils donnent ainsi naissance à des habitats propices à une faune et une flore de spécialistes comme les plantes pionnières et servent de milieu de vie ou de reproduction à de nombreux organismes aquatiques. Ils conditionnent par ailleurs des fonctions essentielles des bassins versants comme les écoulements, la morphologie du lit des rivières et la connectivité des milieux au sein et le long des cours d'eau.

La stratégie d'évaluation de la qualité des sédiments décrit notamment la marche à suivre pour prélever les échantillons de sédiment.



Il est difficile d'évaluer l'occurrence et les effets des substances chimiques dans les sédiments car ils dépendent de plusieurs processus différents qui se déroulent souvent simultanément. La figure décrit le modèle conceptuel de la contamination dans le sédiment et la chaîne alimentaire. Bioamplification: accumulation d'un polluant dans les organismes successivement le long de la chaîne alimentaire. Bioaccumulation: accumulation d'un polluant dans un organisme suite à son absorption par la nourriture ou au contact de l'environnement. Organismes benthiques: organismes vivant dans ou sur le sédiment.



La stratégie expose également la méthode de prétraitement des échantillons avant leur analyse.

Mais les sédiments remplissent aussi une fonction de puits. Autrement dit, ils accumulent des substances qui peuvent nuire aux organismes aquatiques. Ces polluants qui se sont déversés dans le milieu aquatique peuvent être d'origines diverses comme l'agriculture, le milieu urbain, les voies ferrées ou les routes. Les sédiments se voient donc contaminés par différents types de substances comme les pesticides, le mercure ou encore les PCB (polychlorobiphényles). On connaît cependant encore assez mal l'étendue de cette contamination et encore moins son évolution au cours des dernières années, car la Suisse ne dispose pas, pour l'heure, de programme de surveillance standardisée de la qualité des sédiments. De même, la connaissance des processus liés à cette contamination est lacunaire: on commence à peine à comprendre comment les polluants se déversent dans le milieu aquatique, comment ils se fixent sur les particules de sédiment et comment ils agissent sur les organismes aquatiques. Car tous ces processus sont extrêmement complexes et souvent simultanés (voir Figure).

Une stratégie de surveillance pour la Suisse

En 2021, le Centre suisse d'écotoxicologie appliquée (Centre Ecotox) a publié une stratégie d'évaluation de la qualité des sédiments pour la Suisse. Elle décrit une méthode de prélèvement et de prétraitement des échantillons et propose des critères de qualité écotoxicologique pour vingt polluants et groupes de polluants prioritaires ainsi qu'un système d'appréciation et de notation de la qualité. Partant des connaissances existantes sur les substances, la stratégie propose une démarche en plusieurs étapes pour évaluer le risque pour un site donné de présenter des sédiments dangereux pour les organismes aquatiques. La stratégie se base sur des méthodes déjà employées par les services cantonaux et peut s'intégrer dans le système modulaire gradué suisse (SMG). Le SMG constitue un ensemble de méthodes d'analyse et d'appréciation de l'état des eaux en conformité avec la loi sur la protection des eaux.

La stratégie est donc une première étape vers une surveillance de la qualité des sédiments à l'échelle de la Suisse. Rico Ryser, responsable du domaine Analyse environnementale de l'Office bernois de l'eau et des déchets, teste la méthode dans l'Aar: «Jusqu'à présent, nous n'avions pu étudier que les teneurs en métaux lourds des sédiments de l'Aar. Grâce à la nouvelle stratégie, nous pouvons maintenant procéder à une appréciation plus approfondie de la qualité des sédiments. Nous avons prélevé les échantillons et nous effectuons actuellement les tests écotoxicologiques et les analyses de polluants organiques avec le Centre Ecotox et l'université de Berne. Il nous tarde de voir les résultats!» La publication de toutes les données sur l'Aar (y compris sur les invertébrés benthiques et les tests d'écotoxicité) est prévue pour le printemps 2023.



Chaudhary, P. et al., FloodWater, Level Estimation from Social Media Images

Informations sur les inondations tirées des réseaux sociaux

Grâce à une méthode de traitement automatique des images mise au point par l'Eawag, la société photrack AG et l'ETH Zurich, les vidéos enregistrées par les téléphones portables et mises en ligne peuvent être utilisées pour obtenir des données sur les crues et inondations. Les secours peuvent alors intervenir de manière encore plus ciblée et la population être avertie plus tôt.

«Intempéries à Lausanne», «Des pluies record mettent des quartiers de Sydney sous les eaux», «Déluge à Münster» – avec le dérèglement climatique, ces titres à sensation, aujourd'hui déjà très présents, orneront de plus en plus souvent nos journaux. À l'avenir, les pluies torrentielles seront probablement plus fréquentes et plus intenses, provoquant davantage d'inondations. Les villes sont particulièrement concernées. Étant donné que les grandes quantités d'eau peuvent très difficilement s'infiltrer dans les rues et places goudronnées, elles se fraient un chemin entre les maisons, transformant les rues en torrents et inondant les caves. En un rien de temps, elles provoquent d'immenses dégâts et deviennent un danger, parfois mortel, pour les habitants.

Étant donné que les phénomènes météorologiques qui provoquent ces pluies torrentielles sont souvent localisés, il est difficile de prévoir où des crues éclairs vont se produire et quand. Les villes peuvent donc difficilement s'y préparer. Qui plus est, par souci d'économie, elles n'ont installé que très peu de capteurs capables de mesurer la vitesse du courant et le niveau de l'eau en cas de crue. Or ces données seraient nécessaires pour pouvoir simuler les futures inondations sur ordinateur et calculer les risques.

Des essais sur un terrain d'exercice de l'armée

Une équipe formée autour de l'ingénieur environnementaliste João Leitão s'est donc fixé pour objectif de combler ce manque de données sur les écoulements. Le chercheur a choisi une approche inhabituelle: «Quand quelque chose se passe quelque part, il s'écoule en général très peu de temps avant qu'une vidéo prise par un téléphone portable apparaisse sur les réseaux sociaux. Les crues et inondations n'échappent pas à la règle. Nous avons voulu savoir si ces séquences pouvaient nous servir de sources de données». Dans une première étape, les scientifiques ont inondé les rues et caves d'un terrain d'exercice normalement utilisé par les soldats et les pompiers pour s'entraîner à intervenir en cas d'inondation. Pendant les essais en conditions contrôlées, un radar a mesuré le niveau et la vitesse de l'eau. En parallèle, les scientifiques ont filmé l'inondation avec des caméras de vidéosurveillance classiques puis ont exploité les images avec un algorithme spécialement développé



Chaudhary, P. et al., FloodWater, Level Estimation from Social Media Images

À partir de la taille d'objets connus, il est possible d'estimer à quelle hauteur se trouve le niveau de l'eau par rapport au sol.

à cet effet. Cet algorithme calcule la vitesse à partir d'éléments connus à la surface comme des vagues ou des feuilles mortes et détermine le niveau en se repérant à des points fixes sur le site. La comparaison des mesures du radar avec les résultats de l'exploitation des données a montré que les caméras de vidéosurveillance livraient des données fiables sur les écoulements.

De nouvelles potentialités pour la pratique

Dans un deuxième temps, l'équipe de Leitão a cherché à savoir si des données comparables pouvaient également être tirées des vidéos prises par téléphone portable disponibles sur Internet. Ces vidéos présentent souvent l'inconvénient de ne pas comporter de points de référence qui seraient nécessaires pour calculer la hauteur d'eau. Les scientifiques ont donc exploité des milliers d'images d'inondations pour mettre au point une méthode qui permet d'estimer le niveau d'eau à partir de la localisation de classes d'objets dont la taille est à peu près connue, comme des voitures ou des personnes.

Cette approche offre de nouvelles perspectives dans la pratique: «Les données tirées d'inondations passées peuvent par exemple être utilisées pour améliorer les cartes de dangers. Mais le grand avantage des vidéos publiées sur Facebook ou sur Instagram, c'est surtout qu'elles sont gratuites et qu'elles livrent des informations en temps réel sur les inondations. Notre système entièrement automatisé de traitement des images permet maintenant aux services de sauvetage de disposer de films de résolution suffisante pour prendre des mesures au bon endroit et pour avertir la population de manière précoce.»



ALPWISE, UNIL

Plus d'infos



Contact:
Prof. Dr Stuart Lane, *Faculté des géosciences et
de l'environnement Université de Lausanne, UNIL*



Repérer les changements dans les glaciers

Les glaciers se situent à la tête des bassins versants alpins. Leur évolution a donc un impact sur la totalité des plans et cours d'eau de leur bassin respectif. Grâce à de nouvelles technologies comme les drones, il est possible de détecter les changements intervenant localement, comme les effondrements, et d'étudier leurs effets sur les éléments du bassin situés plus en aval, comme les cours d'eau, les lacs, les eaux souterraines et les milieux urbains. Il est alors indispensable d'adopter une approche holistique pour améliorer la gestion des bassins versants.



ALPWISE, UNIL

Marge proglaciaire du glacier inférieur d'Arolla dans le canton du Valais à l'été 2016



Perturbations de la dynamique fluviale

Les cours d'eau sont des écosystèmes peuplés par des espèces spécialisées, qui sont notamment modelés par la dynamique des débits et des sédiments. Les aménagements hydroélectriques comme les barrages peuvent interrompre ou fortement perturber le flux sédimentaire, ce qui peut grandement affecter les écosystèmes fluviaux en aval. L'usage de drones permet d'évaluer l'importance de la dynamique des sédiments dans un bassin versant et d'en étudier les modifications.

Rédaction: Communication Eawag

Collaboration: Natur Umwelt Wissen GmbH, Manuela di Giulio

Graphisme: Communication Eawag

Traduction: Laurence Frauenlob

Relecture: Interserv AG

© Eawag, 2022

Le magazine de la journée d'information paraît en allemand et en traduction française.
Seule la version allemande fait foi.

Eawag
Überlandstrasse 133
8600 Dübendorf
Schweiz
+41 (0)58 765 55 11

Eawag
Seestrasse 79
6047 Kastanienbaum
Schweiz
+41 (0)58 765 21 11

info@eawag.ch
eawag.ch

<https://doi.org/10.55408/eawag:25685>



Les textes, les photos portant la mention «Eawag» et l'ensemble des graphiques et tableaux sont protégés par la licence Creative-Commons «Attribution 4.0 International». Ils peuvent être librement reproduits, partagés et adaptés sous réserve de mention de la source. Pour plus d'informations sur la licence, voir <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

