

**Laboratoire d'hydrobiologie
Kastanienbaum
1916–2016**



eawag
aquatic research ooo

Thèses de doctorat préparées à Kastanienbaum

Gächter, R. – Phosphorhaushalt und planktische Primärproduktion im Vierwaldstättersee (Horwer Bucht), **1968** ... Stadelmann, P. – Stickstoffkreislauf und Primärproduktion im mesotrophen Vierwaldstättersee (Horwer Bucht) und im eutrophen Rotsee, mit besonderer Berücksichtigung des Nitrats als limitierenden Faktors, **1971** ... Bloesch, J. – Sedimentation und Phosphorhaushalt im Vierwaldstättersee (Horwer Bucht) und im Rotsee, **1974** ... Krummenacher, T. – Die Nährstoffbilanz des Alpnachersees, **1976** ... Ruhlé, C. – Die Bewirtschaftung des Seesaiblings (*Salvelinus alpinus salvelinus* L.) im Zugersee, **1976** ... Reinhard, M. – Die Bildung von chlorhaltigen organischen Verbindungen bei der Chlorung von natürlichem Wasser, **1977** ... Bundi, T. – Untersuchungen zur Aufnahme von Kupfer durch *Chlorella pyrenoidosa* in Abhängigkeit der Kupferspezifizierung, **1980** ... Meng, H. J. – Über die Ursachen von Saprolegnien in schweizerischen Gewässern, **1980** ... Bossard, P. – Der Sauerstoff- und Methanhaushalt im Lungernsee, **1981** ... Staub, E. A. – Diagenese im rezenten Sediment des Vierwaldstättersees und ihre Veränderung durch die Eutrophierung Tiefenprofile biologisch-chemischer Parameter im Sediment und Porenwasser, **1981** ... Polli, B. – Die immunologische Abwehrreaktion von Fischen gegen *Saprolegnia*, **1982** ... Joller, T. – Untersuchung vertikaler Mischungsprozesse mit chemisch physikalischen Tracern im Hypolimnion des eutrophen Baldeggersees, **1985** ... Kuhn, E. P. – Mikrobieller Abbau von Nitrilotriacetat und von substituierten Benzolen bei der Flusswasser/Grundwasser-Infiltration Laborstudien, **1986** ... Peter, A. – Untersuchungen über die Populationsdynamik der Bachforelle (*Salmo trutta fario*) im System der Wigger, mit besonderer Berücksichtigung der Besatzproblematik, **1987** ... Wüest, A. – Ursprung und Grösse von Mischungsprozessen im Hypolimnion natürlicher Seen, **1987** ... Laczko, E. – Abbau von planktischem Detritus in den Sedimenten voralpiner Seen: Dynamik der beteiligten Mikroorganismen und Kinetik des biokatalysierten Phosphoraustausches, **1988** ... Höhener, P. – Der Stickstoffhaushalt von Seen, illustriert am Beispiel des Sempachersees, **1990** ... Haderlein, S. B. – Die Bedeutung mineralischer Oberflächen für die Mobilität von substituierten Nitrophenolen und Nitrobenzolen in Böden und Grundwasser, **1992** ... Ventling-Schwank, A. R. – Reproduktion und larvale Entwicklungsphase der Felchen (*Coregonus* sp.) im eutrophen Sempachersee, **1992** ... Dönni, W. – Verteilungsdynamik der Fische in einer Staustufe des Hochrheins mit besonderer Berücksichtigung der Oekologie des Aals (*Anguilla anguilla* L.), **1993** ... Zeh, M. – Reproduktion und Bewegungen einiger ausgewählter Fischarten in einer Staustufe des Hochrheins, **1993** ... Bosma, T. N. P. – Simulation of subsurface biotransformation, **1994** ... Perlinger, J. A. – Reduction of polyhalogenated alkanes by electron transfer mediators in aqueous solution, **1994** ... Friedl, G. – Die Mineralogie des Mangankreislaufs in eutrophen Seen eine Untersuchung mit EXAFS-Spektroskopie, **1995** ... Heijman, C. G. – Reductive transformation of nitroaromatic compounds under iron-reducing conditions, **1995** ... Brüsweiler, B. J. – Cytotoxicity and interactions of organotins and heavy metals with cytochrome P4501A in fish hepatoma cells, **1996** ... Friedl, C. – Populationsdynamik und Reproduktionsbiologie der Bachforelle (*Salmo trutta fario* L.) in einem hochalpinen Fliessgewässer, **1996** ... Guthruf, J. – Populationsdynamik und Habitatwahl der Aesche (*Thymallus thymallus* L.) in drei verschiedenen Gewässern des schweizerischen Mittellandes, **1996** ... Lemcke, G. – Paläoklimarekonstruktion am Van See (Ostanatolien, Türkei), **1996** ... Mengis, M. – Nitrogen elimination in lakes by N₂ and N₂O emission, **1996** ... Schaller, T. – Redox-sensitive metals in recent lake sediments proxy-indicators of deep-water oxygen and climate conditions, **1996** ... Bucheli, T. D. – Occurrence and behavior of pesticides during storm water infiltration, **1997** ... Glod, G. – Cobalamin-mediated reductive dehalogenation of chlorinated ethenes, **1997** ... Brunke, M. – The influence of hydrological exchange patterns on environmental gradients and community ecology in hyporheic interstices of a prealpine river, **1998** ... Müller, R. – Einfluss elektromagnetischer Felder auf Kristallisationsvorgänge praktische Anwendungen der Schlammbehandlung von Kläranlagen und in Trinkwassersystemen,

« Être capable de se consacrer entièrement et
uniquement à la connaissance, du moins à une
quête sincère de la vérité, est certainement une
part de ce qui fait la grandeur de l'être humain. »

Richard Vollenweider (1922–2007)

100
ans

Diatomées provenant du lac des Quatre-Cantons : diatomée pennée (*Fragilaria crotonensis*), colonies en zigzag de diatomées *Tabellaria fenestrata* et colonies cylindriques de diatomées *Aulacoseira*. En arrière-plan, une colonie étoilée d'*Asterionella formosa* (= la jolie petite étoile).

Nécessité et vertu montrent la voie à suivre



Erwin Leupi
Président NGL

La Naturforschende Gesellschaft Luzern NGL (Société Lucernoise de sciences naturelles – NGL) a posé la première pierre du Laboratoire de Kastanienbaum installé sur les rives du lac des Quatre-Cantons. Après une période de mise en route qui a duré 60 ans, elle lui a donné une vocation et galvanise depuis un siècle la recherche naturaliste véritable. Il ne faut pas oublier que Kastanienbaum n'est que l'un des produits de la soif de savoir de nos ancêtres. Beaucoup de leurs efforts ont porté leurs fruits : en 1880, les membres de la société inaugurèrent la première station météorologique cantonale de Lucerne et la Commission préhistorique effectua en 1895, pour la première fois, des fouilles systématiques à Wauwilermoos. Dès 1906, ils aménagèrent un magnifique jardin alpin sur le Rigi Scheidegg. Réagissant à l'avènement au début du siècle de la protection du patrimoine, ils désignèrent en 1906 une Commission pour la protection de la nature, réalisèrent des inventaires des blocs erratiques et des arbres intéressants, déposèrent des postulats concernant la protection de la baie poissonneuse de Horw ainsi qu'une loi sur la protection des plantes. Ils complétèrent le Naturalienkabinett (Cabinet des curiosités naturelles) de l'école cantonale en y ajoutant de nombreux objets, avant d'en faire plus tard le musée d'histoire naturelle de Lucerne. En 1916, la société écrivit une page de l'histoire de Kastanienbaum.

Tous ces efforts portèrent leurs fruits à tel point que la Société n'était plus à même de tout gérer toute seule. Ses membres élaborèrent des concepts, déposèrent des demandes et réunirent des fonds pour finalement en confier la gestion à des organismes publics comme la Centrale météorologique suisse, la Commission cantonale pour la protection de la nature et du paysage, le service d'archéologie cantonale, le musée d'histoire naturelle de Lucerne ou le laboratoire de recherche de l'EAWAG.

A posteriori, l'analyse de ce cheminement montre la voie à suivre. Tous ces succès ne sont pas le tribut de la Société

lucernoise. Ils sont nés des efforts de quelques-uns auxquels la Société a offert un cadre, un espace de communication, une plate-forme de synergie et des possibilités de mise en œuvre. La Société regroupe des personnes qui ont envie de développer de nouvelles idées, de penser librement et de laisser libre cours à leur créativité. De tout temps, la fascination des sciences naturelles a cimenté la société et lui a donné la force d'agir, malgré les innombrables divergences, les problèmes sociaux, la politique ou le manque de moyens financiers. Notons que les conditions formelles sont restées les mêmes au fil de cette longue saga – jusqu'à nos jours. Le cercle de lecture mensuel équivalait à l'Internet actuel, les « réunions » qui attireraient pas loin de 100 participants à l'hôtel Wilden Mann de Lucerne furent les précurseurs des podiums actuels, le diaporama qui était projeté en 1930 en avant-programme des séances de cinéma de Lucerne jouait le rôle de page d'accueil, la propagande menée auprès des professeurs a cédé la place aujourd'hui au prix NGL.

Et maintenant, de quoi peut encore se targuer une société régionale au milieu des turbulences de la communication numérique et de la recherche intercontinentale ? L'histoire a montré que les formes, la conjoncture mondiale, les moyens évoluent, mais que l'esprit pionnier perdure. Si vous voulez découvrir des exemples actuels de l'inventivité dont nous faisons preuve, prenez le temps de naviguer sur « ngl.ch » et laissez-vous séduire par l'escapade que vous propose notre dernier volume paru (n° 39) intitulé « Der Vierwaldstättersee – eine Sehfahrt » (seulement paru en allemand).

Nous voilà ainsi revenus à la case départ, sur les berges du lac des Quatre-Cantons, non sans avoir salué nos ancêtres et affirmé notre grande fierté à l'égard de l'esprit créateur de notre société. La joie que nous procure cet anniversaire consolide nos liens chaleureux avec Kastanienbaum, même si beaucoup de chercheurs en hydrobiologie ne séjournent plus dans notre région que pour une période limitée, celle de leur projet, et que la société n'est plus en mesure de les retenir.

Le centenaire, miroir de la tradition et de l'innovation



Janet Hering
Directrice de l'Eawag

Le centenaire de notre site de Kastanienbaum est l'occasion pour nous de réfléchir à la fois à nos réalisations passées et aux opportunités à venir. En faisant un retour en arrière, on se rend compte que la Suisse possède une tradition exceptionnelle dans l'exploration des lacs. Dans ce contexte, des noms comme François-Auguste Forel (1841–1912), Richard Vollenweider (1922–2007) ou, plus récemment, Dieter Imboden (*1943) me viennent spontanément à l'esprit. Tous trois ont fortement élargi notre compréhension des processus biologiques, chimiques et physiques auxquels les écosystèmes des lacs sont soumis. Bien avant que l'importance des approches interdisciplinaires n'ait été largement reconnue, le physicien Dieter Imboden et ses collègues de biologie, de chimie et de géologie de Kastanienbaum s'étaient lancés dans des projets de recherche pluridisciplinaires.

De nos jours, les possibilités en matière de méthodes et d'appareils pour étudier les processus dans les lacs sont considérables. Outre la détermination sous le microscope d'échantillons d'algues, nous pouvons obtenir pour ainsi dire en direct des images à haute définition, fournies par un cytomètre en flux automatique installé sur un radeau. La technique du sonar permet de relever la topographie du fond des lacs avec une précision exemplaire. Nous pouvons aujourd'hui élargir la détermination traditionnelle des espèces en recourant à des méthodes génétiques et décrire ainsi des espèces inconnues. Nous avons eu recours aux méthodes classiques et analyses des génomes par exemple pour étudier la biodiversité des corégones dans les lacs suisses et prouver l'existence de corrélations entre la surfertilisation, la perte d'habitats naturels et la disparition d'espèces. La recherche fondamentale associée à des études appliquées fournit des éléments précieux pour les prises de décision des autorités et des politiciens ainsi que pour une protection moderne de l'environnement. Lorsque Werner Stumm, alors directeur de l'Eawag, a inauguré en 1977 le nouveau site de Kastanienbaum, il a souligné l'importance

de ce type d'informations pour la planification et la mise en œuvre de mesures en matière de protection des eaux. L'Eawag publie en permanence des travaux orientés sur la pratique. Notamment sur des questions « anciennes » qui restent toujours d'actualité, comme par exemple les rapports entre les apports de phosphore et la surfertilisation des eaux. Ou encore sur de nouveaux phénomènes comme les résistances aux antibiotiques ou sur le microplastique, avec le Centre d'écotoxicologie appliquée. Par ailleurs, à Kastanienbaum, nous encourageons et exploitons aussi le Bureau suisse de conseil pour la pêche FIBER.

Aujourd'hui, notre site de Kastanienbaum fait partie intégrante de l'Eawag et est dédié à nos activités de recherche, d'enseignement et de conseil. « KB », comme nous sur-nommons affectueusement entre nous l'ancien laboratoire d'hydrobiologie, reflète l'importance de l'exploration des lacs pour le passé et l'avenir de l'Eawag.

« L'Eawag et son centre de recherches à Kastanienbaum sont des partenaires importants pour la Confédération pour toutes les questions ayant trait à l'eau et aux cours d'eau. Grâce à leur recherche, à leur enseignement et à leur consultation d'excellente qualité, ils ont acquis une réputation hors pair dans le domaine de la qualité de l'eau et de l'assainissement dans le monde entier. Ces atouts contribuent largement à ce que la Suisse soit particulièrement sollicitée au niveau international dans les questions relatives à l'eau. J'ai pu m'en convaincre l'année dernière par exemple lors d'une visite en Afrique du Sud. Je souhaite à toutes les chercheuses et à tous les chercheurs beaucoup de curiosité, de persévérance et d'énergie pour l'avenir ! »

Doris Leuthard, conseillère fédérale



Groupe de chercheuses et chercheurs sur le bateau à vapeur Schwan vers 1916.

La recherche au service de la protection des eaux

La création à Kastanienbaum d'un institut de recherche de renommée internationale s'explique par la fascination de certaines personnalités engagées de Lucerne pour le lac et ses secrets. Aujourd'hui, ses collaborateurs sont toujours internationaux et leur engagement en matière de recherche, d'enseignement et de conseil et la collaboration étroite entre les disciplines et avec les autorités et la société demeurent inchangés.

En 1862, trois cents ans après la « description du lac des Quatre-Cantons » par J.L. Cysat, Josef Stutz, étudiant en théologie de Lucerne, écrit une thèse sur les eaux stagnantes de la surface terrestre, assortie d'une description du Rotsee. Peu de temps après, la Société lucernoise de sciences naturelles NGL fait mesurer le fond de quelques lacs lucernois. Encouragé par les travaux de recherche de François-Alphonse Forel sur le lac Léman, M. Otto Suidter-Langenstein, pharmacien de profession et Président de la NGL, essaie par le biais de conférences sur l'hydrologie d'éveiller l'intérêt des jeunes chercheurs.

Un terreau peu propice aux sciences naturelles

En 1895, la Commission limnologique de la Société helvétique des sciences naturelles rédige avec le soutien de Hans Bachmann (p. 15), un programme d'étude du lac des Quatre-Cantons. On procède alors au relevé de nombreuses informations relative à la composition chimique de l'eau, à la détermination de sa température, de sa couleur et de sa transparence et même aux niveaux d'eau – données qui sont recueillies encore aujourd'hui. Un chapitre à part est consacré aux études zoologiques et botaniques. Cependant, tout le monde ne semble pas partager la même passion que Suidter et Bachmann pour les lacs, même pas au sein de la NGL. En 1895, Bachmann rapporte : « Malheureusement, les idées propices aux progrès et à la propagation des sciences naturelles n'ont jamais trouvé chez nous, à Lucerne, un terreau très propice. »

Peu à peu, Bachmann parvient cependant, avec l'aide notamment du professeur de physique Xaver Arnet et du chimiste cantonal lucernois Emil Schumacher, à enthousiasmer plus de monde pour les secrets du lac. Il réussit ainsi à créer une commission financière chargée des études, dans laquelle siègent par exemple le Directeur de la ligne ferroviaire du Saint-Gothard, deux conseillers d'état, l'administrateur des bateaux à vapeur et les directeurs des chemins de fer du Rigi et du Pilate. Petit à petit, la NGL consacre de plus en plus d'articles au lac dans ses communications scientifiques. S'intéressant avant tout au plancton, Bachmann développe pour ses prélèvements d'eau des techniques spécifiques qu'il met en œuvre non seulement sur les rives du lac des Quatre-Cantons, mais aussi en Écosse ou au Groenland dans le cadre de longs voyages d'étude.



Les prélèvements de plancton datant des débuts du laboratoire sont toujours intacts.

Un succès dû à la générosité de quelques mécènes

En 1912, Bachmann dépose auprès du Département fédéral de l'intérieur à Berne son « projet pour une Station fédérale de pêche et d'hydrologie au lac des Quatre-Cantons ». Il y joint non seulement les plans, mais aussi les coûts détaillés pour la construction d'un bâtiment de trois étages (CHF 331 250) et pour les frais d'exploitation annuels (de CHF 51 000). Pour donner plus de poids à ses arguments, il organise des cours d'hydrobiologie de renommée internationale. Lorsque la Première Guerre mondiale est déclarée en 1914, le projet visionnaire est relégué au placard par la Confédération. Cependant, Bachmann s'obstine et trouve un mécène en la personne du médecin Fritz Schwyzer qui, à son retour d'Amérique en 1911, se fait construire une demeure à Kastanienbaum (p. 15). Grâce à une donation, il permet à la NGL d'ouvrir pendant la guerre un premier petit laboratoire.

Nécessité de nouveaux appareils et de nouvelles méthodes

Le bâtiment de six mètres sur dix inauguré le 18 juin 1916, aujourd'hui propriété privée, n'a guère changé : situé devant l'Örtliegg, on y accède par une passerelle (p. 13). La NGL se voit offrir du professeur genevois Gandolfi-Hornyold un bateau à moteur et la Commission concordataire du lac des Quatre-Cantons lui fait don d'une barque. À l'étage, il y a un bureau et un aquarium ainsi qu'une chambre noire. Les combles abritent du matériel. Au début, on se sert surtout des mêmes appareils que l'on utilise couramment à l'étranger pour l'exploration des lacs et des océans. Mais comme ils manquent de précision, les chercheurs inventent et développent avec l'aide de Hans Friedinger, opticien et mécanicien de précision de Lucerne, de nouveaux appareils – entre autres la bouteille de prélèvement de Theiler avec laquelle, grâce à un mécanisme original, on peut prélever des échantillons d'eau à n'importe quelle profondeur. Des publications spécialisées permirent de faire connaître ces appareils aussi à l'étranger. Dans les années 30, les ateliers de Friedinger impriment un catalogue spécial pour les appareils scientifiques, intitulé « Appareils et fournitures pour l'hydrobiologie » et distribuent leurs produits dans le monde entier – un bon exemple de coopération réussie entre la science et l'économie.

La pollution due au rejet des eaux usées

Dans les premiers temps, les utilisatrices et utilisateurs du laboratoire – parmi lesquels on compte beaucoup de visiteurs étrangers – se penchent non seulement sur des questions de technique et de méthodologie, mais s'intéressent surtout au phytoplancton. Les professeurs Saunders et Worthington de Cambridge passent notamment plusieurs semaines à Kastanienbaum. Leurs travaux ne se limitent pas au lac des Quatre-Cantons. Grâce aux voyages et aux contacts de Bachmann, plusieurs études comparatives sur des lacs du monde entier voient le jour. Les membres de la Commission hydrobiologique qui, du reste, font presque tous de la recherche pendant leurs loisirs, étudient une soixantaine de



Richard Vollenweider (à gauche) au laboratoire vers 1950.

lacs alpins. Le Rotsee, les lacs de Baldegg et de Hallwil font aussi l'objet de publications scientifiques. On ne tarde pas à prouver que ces trois lacs présentent des altérations de la teneur en nutriments et de la population de plancton ainsi qu'une prolifération de *Planktothrix rubescens*, une algue communément appelée « sang des Bourguignons ». Le rejet des eaux usées en est responsable. En 1917, cet état est pour la première fois désigné comme une pollution. Dans le cadre de la collaboration avec le laboratoire cantonal et la direction des travaux publics de Lucerne, le Rotsee figure pendant des dizaines d'années au programme d'investigation du laboratoire. Il s'ensuit un partenariat durable, orienté solution, entre la recherche, l'administration et la politique. Grâce à un don privé, on parvient même à engager l'inspecteur cantonal des denrées alimentaires Ernst Hurter en tant qu'assistant de laboratoire, poste qu'il occupe de 1920 à 1926. Il rédige des publications sur le développement des moustiques et la lutte contre ces derniers.

Comprendre les processus

Contrairement à ce que l'on prétend parfois, la recherche dans le domaine de l'eau bien avant la Deuxième Guerre mondiale n'était pas purement descriptive. On s'intéressait aussi aux processus et à leur compréhension. On y trouve



Profs de biologie en formation continue (1966).

par exemple le récit d'une croisière nocturne en bateau à vapeur au cours de laquelle les participants à l'un des cours d'hydrobiologie de Bachmann étudièrent les mouvements verticaux du plancton. Paul Steinmann et d'autres chercheurs piscicoles élaborèrent des bases, par exemple sur les corégones, auxquelles on continue d'avoir recours de nos jours. L'empoisonnement progressif des poissons fit l'objet d'une étude et on procéda à des essais létaux qui seraient pour ainsi dire impensables de nos jours. Dès 1920, Stein-

Économiser du courant malgré le froid

Travailler dans le premier laboratoire était parfois éprouvant, parce que la maison du lac n'était pas bien chauffée et que le courant électrique à l'époque de la Première Guerre mondiale était cher. Une inscription dans le registre du laboratoire et datée du 23 octobre 1918 en témoigne : « Surbeck et Steinmann doivent interrompre leurs travaux. Comme les chutes de neige du 20 ont été suivies d'une période de grand froid et que la température n'atteignait que 11 degrés le 21 octobre en soirée, il a fallu laisser le poêle allumé pendant la nuit du 21 au 22 et celle du 22 au 23. En revanche, on a essayé de faire si possible des économies de chauffage pendant la journée. Consommation totale : 93 kWh ». À titre de comparaison : à l'époque, un kWh coûtait environ 10 centimes, 93 kWh 10 francs – le salaire journalier d'un artisan. En 2015, les installations photovoltaïques de l'Eawag à Kastanienbaum et Dübendorf ont produit quelque 150 000 kWh d'électricité.

Explorer le lac des Quatre-Cantons

La Commission de limnologie de la Société helvétique de sciences naturelles élabore un « programme d'étude limnologique du lac des Quatre-Cantons » avec l'aide de la Naturforschende Gesellschaft Luzern (NGL – Société lucernoise de sciences naturelles) et de Hans Bachmann.



mann décrivait notamment dans tous leurs détails « les derniers sursauts et les gueules béantes » de truites intoxiquées par du benzène.

Malgré tout cet enthousiasme, la collecte de fonds et la sensibilisation du public à la recherche dans le domaine de l'eau sont astreignantes. Ainsi, le futur directeur de l'Eawag Otto Jaag (p. 17) déplore en 1933 que l'EPF Zurich soit encore la seule haute école suisse à enseigner la limnologie. Toutefois, il admet aussi que les limnologues eux-mêmes s'affrontent souvent au lieu de se solidariser : « Il faut bien dire que cette évolution est fatale, car à l'époque déjà, les premiers signes inquiétants de pollution des cours d'eau, des plans d'eau et même de la nappe phréatique étaient flagrants », commente Jaag. Il est d'autant plus étonnant de voir en quel temps record la NGL réussit en 1938 à remplacer le laboratoire plein à craquer par un nouveau bâtiment spacieux : le nouveau hangar à bateaux voit le jour à 500 mètres au sud de l'ancien site, et il est équipé d'une salle de microscopes, d'un laboratoire et d'une salle d'apprentissage. En 1964, on y ajoute une petite annexe et le complexe est complètement rénové en 2007.

La fin de la recherche bénévole

En 1940, après le décès de Hans Bachmann, le formateur Heinrich Wolff devient recteur bénévole du laboratoire. Il publie entre autres des articles sur les daphnies, mais aussi sur ses études des lacs de haute montagne du col du San Bernardino. Pendant la guerre, il organise même des cours de vacances pour les étudiants de Zurich et Bâle, mais aussi pour les professeurs de gymnase et du secondaire. C'est ainsi que la collaboration avec l'Eawag et son directeur Otto Jaag voit le jour dès 1952. Pour des raisons professionnelles, Wolff arrête le bénévolat en 1953 – déçu de ne plus pouvoir mener de recherche compétitive avec l'étranger par manque de mécènes privés. L'assistant de Wolff, un enseignant du secondaire, Richard Vollenweider, quitte Kastanienbaum en 1954 pour assumer un poste à l'Institut limnologique de Pallanza (p. 16).

Affligement et joie à la NGL

Par la suite, la NGL ne se sentant plus en mesure d'assurer la qualité de ses travaux de recherche dans son laboratoire, le comité directeur décide de céder le laboratoire à l'Eawag qui était encore géré comme un institut EPF. La reprise n'est pas une tâche facile pour le directeur de l'Eawag Otto Jaag. « Il nous a fallu beaucoup de courage pour nous atteler à cette nouvelle tâche, rapporte-t-il, car le laboratoire se trouvait à certains égards dans un mauvais état. Il nous a fallu en premier lieu procéder à un nettoyage complet de toutes les salles, ce qui nous a pris des semaines de travail. » L'Eawag ne reprend donc définitivement la station qu'en 1960 après une période d'essai. Grâce à la Fondation



Colette Grieder et le directeur des sciences halieutiques, Wolfgang Geiger, examinent un barbeau près de Beznau (vers 1973).

de l'économie pour la promotion de la protection des eaux, elle réussit à réunir les fonds nécessaires pour rééquiper la station et acheter une nouvelle barque. Toutefois le « Hans Bachmann » étant trop long pour le hangar à bateaux, on n'hésite pas à agrandir ce dernier. Heinz Ambühl (p. 18), un doctorant d'Otto Jaag, est le premier à prendre la direction du service de limnologie de l'Eawag à Kastanienbaum. La reprise du laboratoire par l'Eawag, permet à Bachmann de réaliser son rêve d'un institut national, mais réclame certains sacrifices de la part de la NGL : « Nous Lucernois, nous tenons à ajouter ceci : nous regrettons beaucoup la disparition de notre Laboratoire d'hydrobiologie qui a été pendant 44 ans au centre des activités scientifiques de notre société. Mais nous nous réjouissons aujourd'hui sincèrement que la prise en charge digne et la pérennité de cet institut soient assurées », déclare Wolff en 1964 en évoquant cette période.

Eutrophisation et premiers modèles de lac

Jusqu'au milieu des années 70, les travaux de recherche menés à partir de 1960 à Kastanienbaum portent sur des processus chimiques et biologiques dans le lac des Quatre-Cantons et dans d'autres lacs de la Suisse Centrale. On obtient d'importantes informations sur le rôle des nutriments phosphore (P) et azote (N) et de leur décomposition dans l'eutrophisation, une forme de pollution des lacs. Des analyses effectuées sur le plancton végétal et animal, sur des sédiments et des organismes du sol attestent la dégradation progressive du lac dans les années 60 et 70. Il s'avère que seule une baisse significative et durable de la teneur en phosphore dans les lacs peut apporter remède à cette situation. La Confédération, les cantons et les communes en tiennent compte en introduisant la précipitation du phosphore dans les stations dans le bassin-versant du lac ou en construisant des canalisations circulaires pour détourner les eaux usées. À Kastanienbaum, l'Eawag suit l'impact de ces mesures dans différents lacs. Au bord du lac des Quatre-Cantons, les prélèvements biologiques et chimiques réalisés tous les mois depuis 1961 constituent une base de données d'une valeur inestimable pour les études à long terme sur



L'analyseur d'oxygène développé par Heinz Ambühl pour mesurer l'oxygène et d'autres paramètres (env. 1963).

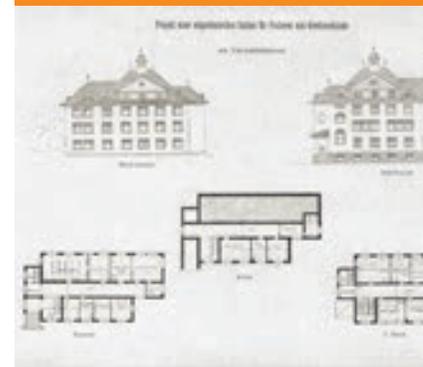
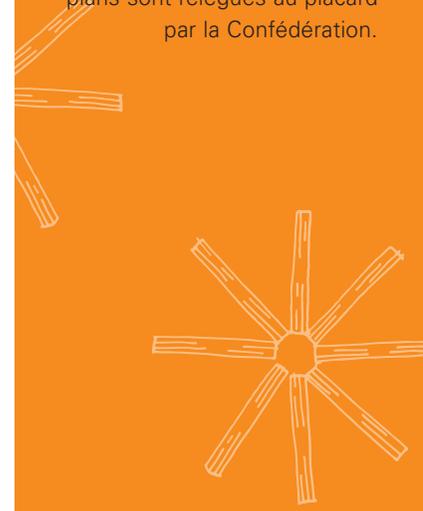
l'impact écologique des assainissements de lacs. De plus en plus, la priorité est donnée aux travaux portant sur les processus physiques, chimiques et biologiques qui ont lieu au sein du « système lac » complexe. Dès 1972 paraît une première publication sur une approche de modélisation numérique de ce système, permettant de prévoir la réaction d'un lac à des modifications et à choisir des mesures de protection des eaux appropriées.

La construction du nouveau bâtiment stoppée

Dès 1970, Werner Stumm, le nouveau directeur de l'Eawag, et Heinz Ambühl relancent le projet de construction d'un institut plus grand. Après l'achat du terrain de Seeheim (en 1968) et l'aménagement de baraques comme solution provisoire, l'emménagement dans les nouveaux locaux réalisés en terrasses, à flanc de colline a lieu en 1976. En raison du programme d'austérité du gouvernement, seule la première tranche des travaux est réalisée. Par ailleurs, le gel des embauches contraint l'Eawag à transférer des postes de Dübendorf à Kastanienbaum pour assurer le fonctionnement de l'organisme. Bien que fastidieuses, les innombrables

De grands projets

Hans Bachmann dépose des plans auprès de la Confédération pour une « Station fédérale de pêche et d'hydrologie au lac des Quatre-Cantons ». Le bâtiment doit être construit à « Winkel » dans la baie de Horw. Devis : 331 250 francs. Pendant la Première Guerre mondiale, les plans sont relégués au placard par la Confédération.



semaines d'études organisées dans le cadre de la formation des enseignants et des cours de biologie en blocs des collèges font diversion. Souvent, les locaux d'hébergement de Seeheim et la salle de microscopie sont pleins à craquer et les groupes gênent les chercheurs dans leurs travaux. En 2008, la direction décide de ne plus héberger les séminaires organisés pour les collègues sur plusieurs jours. Avec ses Summer-Schools destinées aux étudiants, ses cours axés sur la pratique (www.eawag.ch/peak), ses visites guidées publiques et quelques visites rapides de groupes, l'Eawag continue d'offrir au public une foule d'occasions de découvrir ses activités et les résultats de ses recherches.

Recherche et conseil – sur le plan politique aussi

En 1976, tout le département des sciences halieutiques est transféré à Kastanienbaum. La thématique de l'exploitation des lacs cède la place à de nouveaux pôles de recherche, notamment sur la dynamique des populations de corégones et de gardons. Ces pôles étendent le champ de leurs investigations à l'analyse des habitats lacustres et des cours d'eau et multiplient les observations au niveau des écosystèmes. À la suite des travaux effectués sur les déficits constatés – par exemple sur les quantités d'eaux résiduelles insuffisantes – la nouvelle Loi fédérale sur la protection des eaux de 1991 intègre l'idée globale de la protection des eaux dans ses textes. Lors de sa révision en 2011, les juristes tiennent compte pour une grande part des résultats des recherches de l'Eawag, par exemple pour supprimer les effets négatifs de la restitution de l'eau par éclusée, en aval de centrales hydrauliques (p. 26). Une étude réalisée pour le compte des cantons adjacents au lac des Quatre-Cantons entre 1988 et 1994 permet de montrer comment intégrer totalement la protection des eaux dans le bassin versant du lac. En collaboration avec l'Office fédéral de l'environnement, l'Office fédéral de l'économie des eaux et les services cantonaux, une méthode pluridisciplinaire d'analyse et d'appréciation des cours d'eau largement étayé est mise au point : le système modulaire gradué. Son principal objectif reste la préservation de la diversité des espèces dans tous les types

de cours d'eau différents. Même les questions concernant la pêche, notamment le recul du rendement des captures ou l'utilité d'alevinages, ne sont pas négligées.

Dans le domaine de l'analyse physico-chimique des cours d'eau, l'Eawag veille à ce que non seulement Dübendorf, mais aussi Kastanienbaum disposent des analyseurs les plus modernes et procède, dès 1975, à l'acquisition d'appareils de mesure pour l'analyse des concentrations en métaux et la production d'algues. Aujourd'hui, le laboratoire abrite une unité d'analyse isotopique moderne et des laboratoires d'études en génétique moléculaire.



En moonboots sur le lac – déplacement d'une bouée de mesure vers 1988.

Regroupement d'une multitude de disciplines sous un même toit

Sous la direction conjointe de Dieter Imboden (p. 19), René Gächter et Peter Baccini ont mis en place en 1977 le groupe, puis en 1978 la division de « Recherche limnologique multidisciplinaire – RLM ». Des chercheurs issus des disciplines ingénierie, physique, biologie et géologie collaborent étroitement sous un même toit – ce qui est toujours l'un des points forts que le site de Kastanienbaum continue de cultiver aujourd'hui. Parmi les premiers grands projets, on ne manquera pas de citer une étude au long cours sur la toxicité des métaux lourds dans les eaux lacustres et les sédiments (p. 33). La division RLM développe des concepts en vue d'assainir des lacs menacés d'eutrophisation et, à cette fin, met au point un modèle mathématique de lac. Les calculs servent de base à des systèmes d'aération installés dès 1982 dans les lacs de Baldegg, Sempach et Hallwil, plus tard dans les lacs de Pfäffikon et Greifen, puis dans plusieurs lacs de faible superficie. Parallèlement, l'Eawag participe en collaboration avec les cantons à la surveillance limnologique des lacs et des mesures spécifiques à chaque lac. Les physiciens de l'environnement contribuent grandement à la compréhension des mélanges dans les lacs – des bases dont on se sert encore aujourd'hui, notamment pour évaluer les conséquences de prélèvements de chaleur importants (p. 34) – ainsi que pour les processus à l'interface sédiments –

eau et dans les sédiments-mêmes. La division RLM mérite d'être désignée comme l'une des « cellules germinales » de la filière Sciences environnementales de l'EPF Zurich inaugurée en 1987.

De nouvelles méthodes qui portent leurs fruits

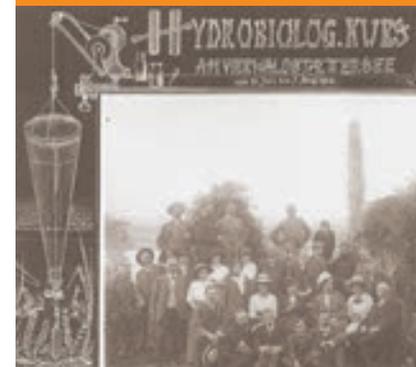
Grâce à l'équipement remarquable des laboratoires, mais surtout aussi grâce à la collaboration des scientifiques et des techniciens spécialisés, de nouvelles méthodes d'investigation sont régulièrement mises au point et affinées, permettant d'obtenir des résultats prometteurs. La détermination de différents isotopes de carbone dans le méthane permet d'isoler des réseaux trophiques microbiologiques et celle d'isotopes de l'azote de démontrer l'existence de modifications très anciennes de courants marins (p.40). Avec des analyses génétiques de plus en plus précises et rapides, il est possible d'assister « en direct » à la formation de nouvelles espèces (p. 22). Les chercheurs recourent à des essais en mésocosmes et à des prélèvements automatisés pour prouver que l'habitat n'est pas le seul à déterminer la biodiversité, mais qu'à l'inverse aussi la diversité et le nombre des habitants ont un impact sur l'habitat (p. 30).

Kastanienbaum, un haut-lieu du catholicisme

Les employés de Kastanienbaum, dont le nombre dépasse maintenant la centaine, ont certes un lieu de travail situé quelque peu en périphérie, mais question paysage, il est incomparable. De plus, ils bénéficient chaque année d'un plus grand nombre de jours fériés que leurs collègues de Dübendorf. Lucerne étant catholique, ils ont des jours fériés supplémentaires comme la Fête-Dieu, l'Assomption etc. René Gächter a fait lui-même l'expérience que certaines personnalités importantes de cette région ont une pratique stricte de la religion catholique : comme il était le tout premier doctorant de Kastanienbaum et qu'il travaillait pour le Prof. Ambühl, il dormait dans les combles du hangar à bateaux. Il était strictement interdit de recevoir de la visite féminine. Lorsqu'il protesta, parce qu'il venait juste de se marier, le Prof. Ambühl l'obligea d'abord à présenter sa femme aux voisins afin de ne pas compromettre la bonne réputation du laboratoire.

Cours internationaux

Pour démontrer la nécessité de construire un grand institut, Hans Bachmann organise en 1911 et 1913 des cours d'hydrobiologie de portée mondiale. En 1915, le Conseil d'État lucernois autorise la NGL à ériger un « hangar à bateaux avec un laboratoire d'hydrobiologie » sur le « fond du lac devant le domaine de Kastanienbaum de Mme Fischer-Meyer ».





Le laboratoire d'hydrobiologie aujourd'hui

- 1) Hangar à bateaux/port : cœur du laboratoire d'hydrobiologie de 1938 : places de travail pour étudiants, salles de réunion
- 2) Seeheim (ancienne villa) : salle de séminaire, bureaux, hébergement simple pour 24 personnes au maximum, jardin public
- 3) Petit établissement de bains
- 4) Bâtiment du laboratoire (1976) : aquariums, ateliers, laboratoire moléculaire, laboratoires analytiques, bureaux, cafétéria.
- 5) Annexes, « Castagnettas » (2012) : bureaux, bibliothèque

Nom et exploitant

1916/1950

**Laboratoire d'hydrobiologie
Kastanienbaum sur les rives du
lac des Quatre-Cantons (1916)
Station d'hydrobiologie (1950)**



1969

**Station de recherches
limnologiques**



1976

**Laboratoire de recherches
limnologiques Kastanienbaum (SFLK)**



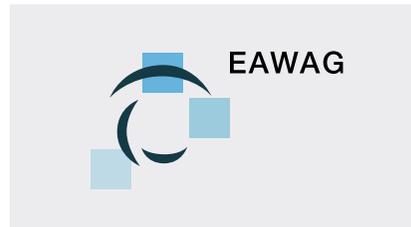
1981

**Laboratoire limnologique
Kastanienbaum**



1992

**Centre de recherches en
limnologie (FZL)**



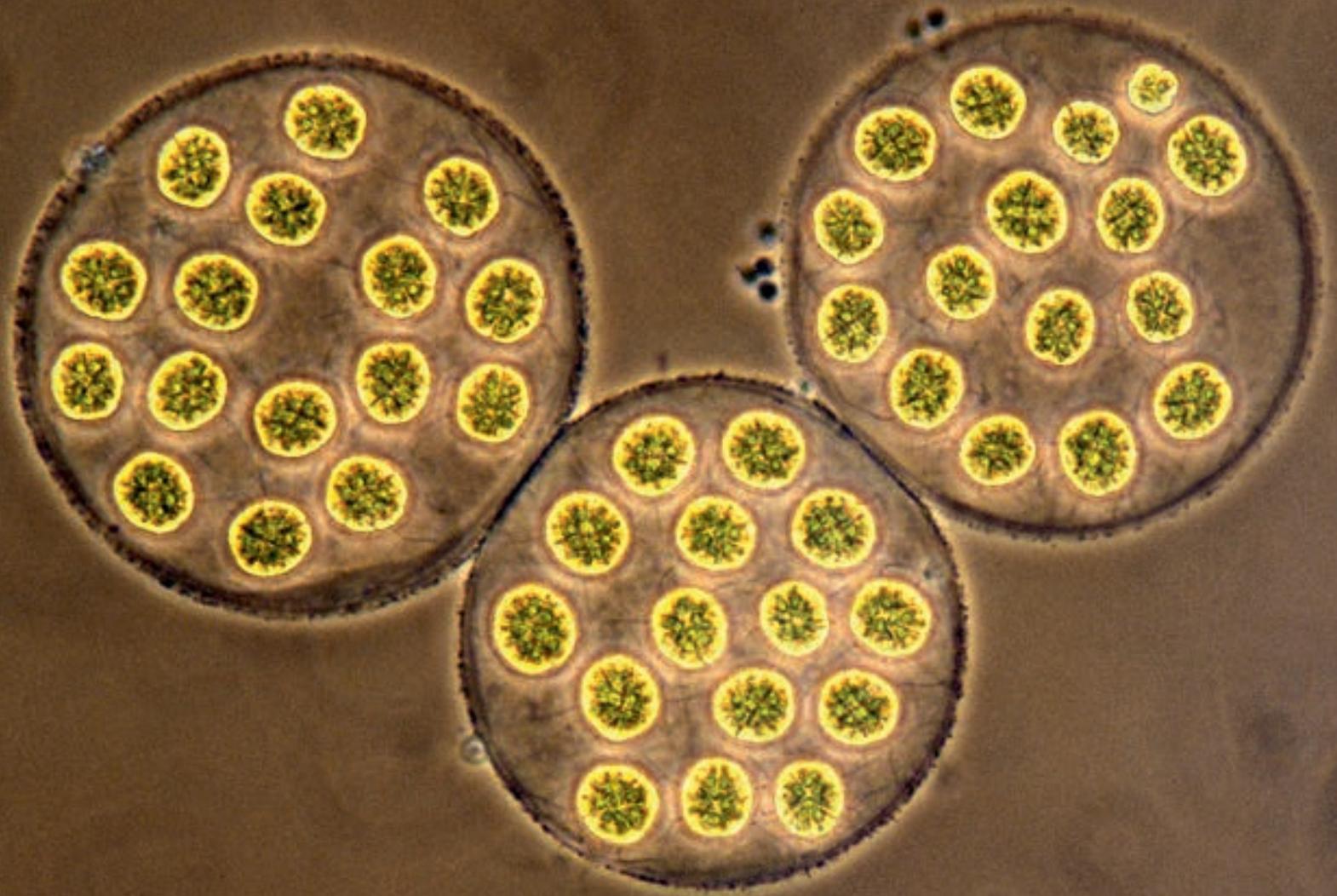
2010

**Centre de compétence en
matière d'écologie, d'évolution
et de biogéochimie (CEEB)**

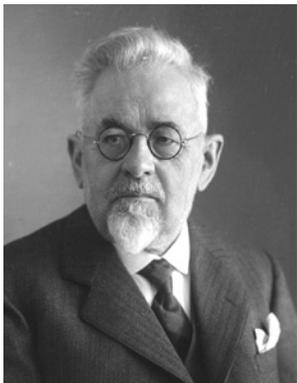


Un généreux médecin
Grâce à une donation de Fritz Schwyzer (p. 15), la NGL peut célébrer l'inauguration du nouveau petit laboratoire lors de l'assemblée générale du 18 juin 1916. La ville et le canton de Lucerne, les Forces motrices de Suisse centrale, la Commission concordataire pour la pêche dans le lac des Quatre-Cantons, le banquier Bidler-Brunner et le directeur de la BNS à Lucerne, Eduard Humitzsch, ont aussi participé au financement.





Stades de reproduction d'une algue verte ressemblant à un Volvox. Les 16 cellules filles respectives des cellules d'origine se sont divisées de nouveau. Chaque cellule fille donne une colonie complète de cellules miniatures flagellées, entourée de mucus.

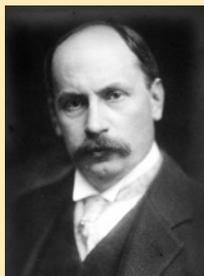


Hans Bachmann (1866-1940) – « hostile à tout traitement inexact »

L'année des 100 ans de « son » Laboratoire d'hydrobiologie à Kastanienbaum coïncide avec le 150e anniversaire de la naissance de Hans Bachmann. Né en 1866 à Lieli au bord du lac Baldegg (LU), il suit l'école normale à Hitzkirch

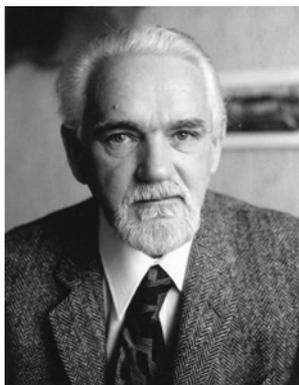
pour devenir instituteur. C'est dans un deuxième temps qu'il fréquente le gymnase, puis étudie la biologie à l'université de Bâle, notamment auprès du zoologue Friedrich Zschokke. Lorsqu'il obtient son doctorat en 1895, il enseigne depuis trois ans déjà l'histoire naturelle au gymnase de Lucerne. Ses contemporains rapportent son insatiable soif de savoir et le décrivent comme un enseignant charismatique et unique en son genre, capable d'enthousiasmer ses élèves pour la biologie, tant en classe qu'en excursion. À la fois ami et éducateur paternel de ces jeunes gens, il pouvait aussi se montrer très exigeant. Après le décès de Bachmann, Heinrich Wolff écrira de lui : « Il n'avait qu'une conception véritable, solide et sincère de l'histoire naturelle et était profondément hostile à tout traitement inexact, opaque ou mièvre de cette discipline. » Son travail sur le phytoplancton d'eau douce, et en particulier du lac des Quatre-Cantons (1911), constitue une découverte majeure pour l'hydrobiologie. Il sait aussi motiver d'autres chercheurs à participer à ses projets. C'est ainsi qu'avec l'aide de bactériologues, zoologues, spécialistes de la pêche et du laboratoire cantonal de Lucerne, il cerne les raisons de la détérioration des conditions d'hygiène et de pêche dans les cours d'eau, ce qui fait de lui un expert des questions d'eaux usées. Dès 1915 et jusqu'à sa mort, il préside la commission d'hydrobiologie de la Société helvétique des sciences naturelles. En 1924, l'EPFZ lui décerne le titre de docteur honoris causa, et la ville de Lucerne la citoyenneté d'honneur. On peut se demander

comment cet homme est parvenu à concilier recherches, conférences et excursions avec son activité d'enseignant. Il est certain que son épouse lui a apporté un énorme soutien. Ida Bachmann (Berchtold) avait d'exceptionnels talents d'organisatrice et était une hôtesse avisée : « Les amis du couple Bachmann n'oublieront jamais les heures passées au Musegg, dans la bonne humeur et la convivialité, le tout agrémenté d'une pointe d'humour », soulignera Wolff⁴.



Fritz Schwyzer (1864-1929) – ami et généreux mécène

La photographie de Fritz Schwyzer porte la mention « Stifter und Förderer des Hydrobiol. Laboratoriums Kastanienbaum » (bienfaiteur et mécène du Laboratoire d'hydrobiologie de Kastanienbaum). Mais la portée réelle de sa donation en 1916 à la Société lucernoise de sciences naturelles n'est inscrite nulle part. Son ami Hans Bachmann n'avait qu'à lui envoyer toutes les factures. Après un doctorat sur des bacilles obtenu à Wurtzbourg en 1887, le Zurichois, devenu pathologiste, mène différentes recherches. Il travaille une année à Berlin en 1892, au moment même où Robert Koch y pose les fondements de la microbiologie moderne, puis va s'installer à New York. Une de ses publications parues en 1901 dans le New York Medical Journal traite de l'empoisonnement chronique par l'eau fluorée, un thème sur lequel l'Eawag se penchera aussi un siècle plus tard. En 1911, il s'établit à Kastanienbaum avec son épouse Jeanne. Jeanne Schwyzer (1870-1944) fonde en 1920 l'Union lucernoise pour les revendications féministes, donne des cours d'instruction civique pour femmes, soutient l'ouverture de restaurants sans alcool et participe aussi à la pétition pour le suffrage féminin de 1929. De plus, elle est la première femme à siéger au conseil d'administration de la Banque populaire suisse (1934-1940).



Richard A. Vollenweider (1922-2007) – un Lucernois au chevet de tous les lacs malades du monde

Dans les années 80, Richard Albert Vollenweider est considéré comme le premier limnologue de son temps. En 1986, lui et Werner Stumm, directeur de l'Eawag, se voient décerner le Tyler Prize – le « Prix Nobel » des sciences de l'environnement

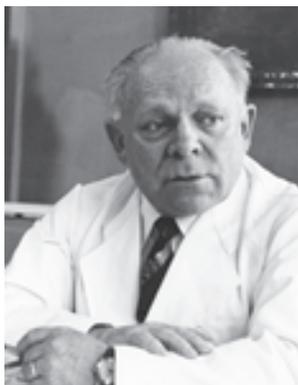
– pour leurs travaux sur l'eutrophisation des lacs. Dans son télégramme de félicitation, le président américain Ronald Reagan écrit : « Vous avez tant contribué à freiner la pollution des Grands Lacs. Tous les Américains et Canadiens vous doivent une profonde gratitude. »

Dans son enfance déjà, le Lucernois se promène dans la nature avec une loupe et une boîte d'herboriste. Il affiche aussi un penchant pour la musique, jouant du violon, du piano et de la trompette. Vollenweider ne débute véritablement une carrière en recherche lacustre qu'en 1949. Alors biologiste et enseignant au secondaire, il devient assistant à temps partiel au Laboratoire d'hydrobiologie de Kastanienbaum. Il s'intéresse vite à la croissance des algues et des bactéries et adapte la méthode émergente de datation au carbone 14 pour déterminer la photosynthèse. Après avoir œuvré à Palanza (Italie), Uppsala (Suède), Alexandrie (Égypte) et Paris, il travaille au Canada Centre for Inland Waters à Burlington et comme professeur à l'Université d'Hamilton lorsqu'il publie en 1968 sa formule sur l'asphyxie des lacs eutrophiés. Son ouvrage *Scientific Fundamentals of the Eutrophication of Lakes and Flowing Waters, with Particular Reference to Nitrogen and Phosphorus as Factors in Eutrophication* (Paris, 1968) lui forge une renommée mondiale. Même devenu une sommité et un conseiller de l'OCDE⁵ et de nombreux États, il reste modeste : « Sans vraiment le vouloir, j'ai écrit un bestseller dans le domaine de l'eutrophisation des eaux », écrit-il à un ami.

Non seulement Vollenweider a compris le lien direct entre les concentrations de phosphore et le degré trophique des eaux, mais il a aussi proposé un système de classification précieux et commencé à voir les milieux aquatiques comme des systèmes ouverts avec des apports et des fuites de nutriments. Sur cette base, il a développé des modèles mathématiques capables de prévoir la prolifération des algues. Le plus grand mérite de Richard Vollenweider est d'avoir réussi à transformer des considérations théoriques en mesures pratiques. Pour ce faire, il a compté sur la coopération des scientifiques et des gouvernements, « car la bonne volonté seule ne suffit pas », estime-t-il. Les Grands Lacs entre le Canada et les USA lui en ont offert la possibilité, puis ont suivi les lacs et fleuves malades du monde entier. À intervalles réguliers, Vollenweider revenait passer du temps à Kastanienbaum avec ses amis Heinz Ambühl et Otto Jaag. Il décède en 2007 à Burlington.

Une famille unie

Le plaisir de la recherche n'est pas seulement réservé aux doctorants qui célèbrent aujourd'hui leurs fêtes au Badhüsli de l'institut. En 1911, lorsque Hans Bachmann donna son premier cours d'hydrobiologie, il régnait parmi les 42 participants internationaux une ambiance bon enfant. Pour s'en faire une idée, on lira la description qu'en fit l'un d'entre eux dans la revue intitulée « Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie » : « Malgré la diversité et le grand nombre de participants, les étudiants n'ont pas tardé à se lier d'amitié ; même les rapports entre les chargés de cours et les « élèves » étaient extrêmement collégiaux. L'étroitesse des locaux à terre et sur l'eau y a peut-être contribué. Le fait est qu'à l'issue du cours, tout le monde formait une famille unie sous la vigilance du directeur de cours, le Prof. Bachman. »



Otto Jaag (1900–1978) – un professeur influence la politique environnementale

Otto Jaag, instituteur à Beringen (SH), étudie les sciences naturelles à Genève et achève en 1929 un doctorat sur les lichens. Au sein de l'EPFZ, il travaille à l'Institut de botanique systématique et comme privat-docent d'hydrobiologie. Il

est nommé professeur en 1941 et, en 1952, prend la tête de l'Eawag, qui était alors encore un institut de l'EPFZ. À la tête d'une commission extraparlamentaire, Jaag s'investit tout personnellement pour concilier les intérêts en jeu en vue de l'introduction d'un article constitutionnel sur la protection des eaux, que le Peuple adopte en 1953 avec une impressionnante majorité de 81,4 % des voix. La loi correspondante sur la protection des eaux contre la pollution entre en vigueur en 1957. Son travail de sensibilisation a indéniablement contribué à faire adhérer le peuple suisse à cette cause. Ses interventions énergiques et son engagement public étaient nécessaires. En effet, la croissance économique qui avait suivi la Deuxième Guerre mondiale, accompagnée d'une consommation en hausse de l'énergie et des ressources, se répercutait sur les milieux aquatiques. Les offices de protection de l'environnement n'existaient pas encore, et en 1960, seul un dixième de la population était raccordé à une station d'épuration. Constatant que la loi sur la protection des eaux reste sans effet, Jaag se bat pour sa révision, et notamment pour un meilleur système de subventions. Un article sur les subventions est adopté en 1962, suivi en 1971 de la nouvelle loi qui favorise la construction d'égouts publics et de stations d'épuration des eaux. Aujourd'hui, près de 97 % des eaux usées en Suisse sont traitées dans des installations modernes.

À l'Eawag, Jaag crée un département de limnologie, tout en renforçant les activités de conseil et l'enseignement, sur-

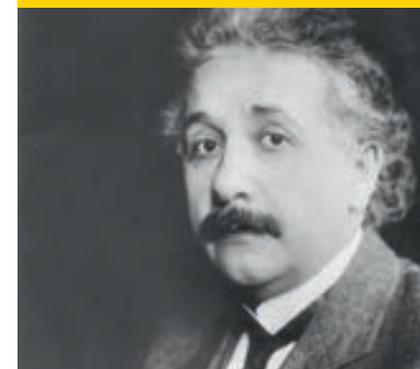
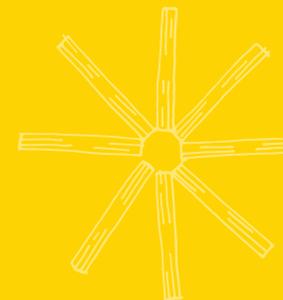
tout pour les ingénieurs civils. En 1955, il agrandit l'institut avec un département de recherche sur les déchets, un lien ayant été établi entre l'élimination des déchets et la pollution des eaux. Les disciplines scientifiques de l'Eawag se voient renforcées en 1960, suite à la reprise du Laboratoire d'hydrobiologie de Kastanienbaum, géré jusque-là par la Société Lucernoise de sciences naturelles. Sans renoncer aux conseils prodigués aux communes, aux cantons et à la Confédération, l'Eawag se consacre alors de plus en plus à la recherche, ce que confirment les premiers travaux et thèses sur l'eutrophisation des lacs ou le pouvoir autoépuration des cours d'eau, réalisés à Kastanienbaum. Grâce à ses relations, le directeur Otto Jaag trouve les fonds nécessaires à la rénovation et à la modernisation de cette station de recherche.

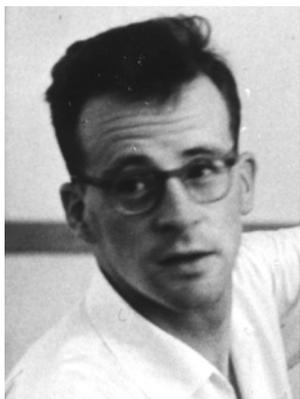
Des scientifiques difficiles

Le professeur Otto Jaag s'est efforcé d'entretenir des liens étroits avec les milieux de la pratique. Il a cherché sans relâche les moyens de réunir des intérêts divergents autour d'un objectif commun. Malgré son enthousiasme pour la pureté de l'eau, il n'a jamais attaqué de front ses nombreux pollueurs. Il ne se privait pourtant pas de critiques véhémentes et défendait la liberté scientifique : « Les scientifiques sont des individualistes. Ils ne voient que leur mission de recherche et n'ont en général d'égards ni pour leurs collègues ni pour l'opinion des gens de terrain. C'est là la base de la fiabilité et de l'incorruptible objectivité de leur travail. Il ne viendrait à l'idée de personne d'exiger des scientifiques qu'ils modifient leur point de vue en fonction de contingences pratiques. Cette attitude leur vaut pourtant de nombreux conflits – entre eux et avec la pratique. »

Relation personnelle avec Albert Einstein

En octobre 1924, l'entrepreneur Hans Bachmann organise et préside l'assemblée générale de la Société helvétique des sciences naturelles au Kursaal de Lucerne. L'EPFZ lui décerne le titre de docteur honoris causa. Deux conférenciers, avec lesquels Bachmann entretient une relation épistolaire, sont invités : Francis William Aston, inventeur du spectromètre de masse, et Albert Einstein (image).





Heinz Ambühl (1928-2007) – rien n'est impossible

Inspiré par son professeur de gymnase Paul Steinmann, Heinz Ambühl étudie la biologie à l'EPFZ. Sa thèse sur l'importance des courants comme facteurs écologiques fixe déjà de nouvelles références et lui ouvre les portes de l'Eawag après plusieurs années d'activité

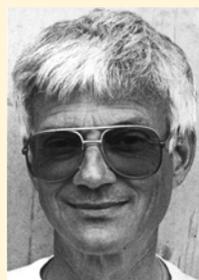
en qualité de chimiste cantonal chargé des eaux en Argovie. Il affine les analyses chimiques, ce qui permet pour la première fois de déterminer au microgramme près les nutriments limitant la croissance des plantes. En 1960, il devient le premier chef du département d'hydrobiologie de l'Eawag à Kastanienbaum et assume de plus en plus de charges d'enseignement. En 1972, il est nommé professeur extraordinaire à l'EPFZ. Sa didactique est remarquable, mais il est aussi dans son élément lors des excursions ou des stages.

Il incite les chercheurs de Kastanienbaum à se pencher davantage sur des thèmes pratiques relevant de la limnologie, et non plus uniquement de l'hydrobiologie. De nombreux aspects de la recherche de l'époque, comme l'ichtyologie, l'écotoxicologie ou des études multidisciplinaires basées sur des modèles mathématiques, ont débouché sur la création de nouveaux secteurs de recherche, devenus entre-temps des départements autonomes.

Ambühl a aussi œuvré comme expert dans les commissions internationales pour la protection du Rhin et des eaux du lac de Constance, puis dans la Commission du Danube. Lors de la construction des premières centrales nucléaires, ses recherches ont joué un rôle décisif pour que la « pollution thermique », soit prise en compte et que les rejets thermiques des centrales ne puissent être évacués dans les fleuves que dans une mesure limitée, une problématique plus actuelle

que jamais avec le réchauffement climatique. Bien avant les programmes informatiques de recherche bibliographique, il a classé et mis à disposition de l'Eawag quelques 20000 titres d'ouvrages originaux dans un fichier incluant des centaines de termes techniques. Il ne laissait pas non plus au hasard la publication des résultats scientifiques, puisqu'il a rédigé jusqu'en 1984 la Revue suisse d'hydrologie, devenue aujourd'hui la renommée Aquatic Sciences.

S'il manquait une méthode d'analyse ou une technique appropriée, Ambühl s'employait lui-même à concevoir une nouvelle approche ou un appareil ingénieux. Plus de trente doctorants ont bénéficié de son soutien sans qu'il souhaite que son nom apparaisse dans leurs publications. Dans le cas de recherches pratiques – comme l'assainissement des lacs du Plateau – il faisait de ces projets une question prioritaire, investissant toutes ses forces dans leur réalisation. Sans se laisser déstabiliser par les nouvelles possibilités expérimentales, il a poursuivi sur de longues années des études sur les écosystèmes et collecté des données à long terme, considérées aujourd'hui comme une « mine d'or limnologique » pour établir des modèles climatiques ou mener d'autres travaux⁶.



Rene Gächter (*1939) – mentor et moteur

Avec Rene Schwarzenbach (*1945), le biologiste Rene Gächter dirige le Département de recherche limnologique multidisciplinaire de 1988 jusqu'à la réorganisation complète de l'Eawag en 1992. S'il fallait considérer un seul scientifique

comme le père de l'aération des lacs, ce serait lui. Gächter s'est penché en détail sur l'activité métabolique dans les lacs, notamment les interactions entre les sédiments et les couches profondes des eaux. Sa thèse portait déjà sur l'équilibre en phosphore dans la baie de Horw, au lac de Quatre-Cantons. Très rapidement, il ne considère plus le lac comme un système isolé, mais prend en compte les influences du bassin versant tout entier. À sa manière désintéressée et parfois presque ascétique, il motive et soutient les jeunes scientifiques. Il n'a pas seulement aidé un nombre considérable de doctorants sur le plan professionnel ; il les a aussi soutenus dans la recherche de fonds pour mener d'autres projets ou publier d'autres ouvrages. Bien que depuis longtemps retraité, Rene Gächter reste un auteur et un expert très demandé, en dernier lieu pour les Chinois au lac Dianchi, le réservoir d'eau potable eutrophié de la ville de Kunming avec laquelle Zurich est jumelée.



Dieter Imboden (*1943) – aborder les choses sous un autre angle

Dieter Imboden, originaire de Horgen (ZH), étudie la physique théorique à Berlin et à Bâle, où il soutient en 1971 une thèse sur la physique théorique des solides. Dès 1974, il travaille à l'EPFZ, où il obtient son habilitation en 1982 avec une

thèse sur la modélisation des processus environnementaux et est nommé professeur ordinaire en 1988. Une année plus tôt, avec le directeur Werner Stumm et d'autres chercheurs de l'Eawag, il joue un rôle moteur dans le lancement de la nouvelle filière des sciences environnementales à l'EPFZ.

Dès 1971, il participe à Kastanienbaum à l'extension de la recherche en physique environnementale au sein de l'Eawag. Il élabore bientôt son premier modèle lacustre, encore utilisé aujourd'hui sous une forme perfectionnée. Jusqu'à son entrée dans le professorat, il fait partie de l'organe directeur du groupe de recherche lacustre interdisciplinaire, et dirige jusqu'en 1992 le nouveau département de physique environnementale à Kastanienbaum. Épisodiquement, il mène aussi des recherches en Californie à la Scripps Institution of Oceanography. Longtemps, ses recherches ont porté sur la chimie et la physique des eaux, les processus de mélange et de transport, notamment dans le cas de grands lacs comme le lac Baïkal ou la mer Caspienne.

Imboden dirige le Département de sciences environnementales de l'EPFZ entre 1992 et 1996, et préside le Fonds national suisse (FNS) de 2005 à fin 2012. Ses manuels sur la chimie organique de l'environnement et sur la modélisation mathématique des systèmes naturels sont devenus des ouvrages de référence. Ses cours sur l'analyse des systèmes appliquent les méthodes de quantification – bien connues en

physique – à d'autres disciplines pour traiter les problèmes environnementaux. Dieter Imboden est à la fois un scientifique précis, un stratège et un homme d'action – des compétences qui s'excluent chez beaucoup d'autres. Il a jeté des ponts entre les sciences naturelles, humaines et sociales. Son credo : Si possible, considérer les choses sous un angle inhabituel et aussi essayer tout simplement quelque chose en appliquant la méthode de « planification par vagues », a ouvert un grand nombre de portes à ses étudiants et à lui-même.

« La revalorisation écologique des lacs du Plateau dure depuis plus de 30 ans. Je connais depuis tout aussi longtemps le grand engagement ainsi que les analyses orientées solutions des chercheurs de l'Eawag à Kastanienbaum lors de la consultation du canton de Lucerne sur des questions relatives au problème délicat de l'équilibre phosphorique, aux processus spécifiques de mélange et à la dynamique critique de l'oxygène dans les lacs. »

Thomas Joller, doctorant de la division Recherche limnologique multidisciplinaire 1985 : chef de service Environnement et Energie du canton de Lucerne jusqu'en juillet 2015.

Nouvelle construction en temps record

Dès 1930, le laboratoire prélève des échantillons au milieu du lac (Kreuztrichter) tous les quinze jours et le manque de place se fait vite ressentir. De plus, la propriétaire du pré entre la route et le laboratoire interdit d'utiliser son chemin. Au printemps 1938, la NGL nomme une commission de construction et cherche un terrain pour un nouveau bâtiment. Le hangar à bateaux avec laboratoire, qui existe encore aujourd'hui, est construit en un temps record et inauguré lors d'une petite fête à l'hôtel Kastanienbaum le 25 septembre 1938. Le repas coûte 3 fr. 50 par personne.



Voici comment les chercheurs naviguent sur le lac

avant 1916



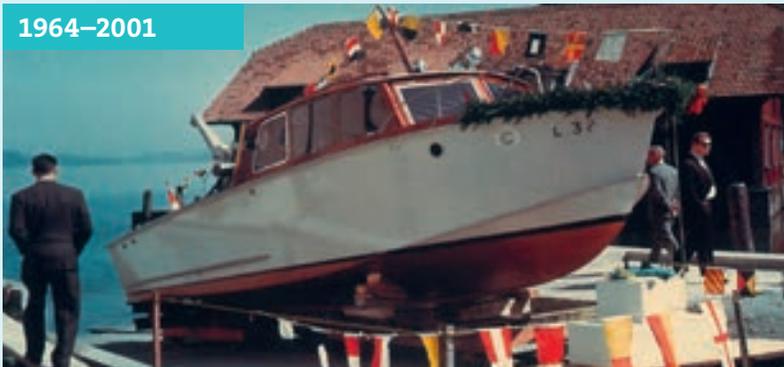
Schwan, (« Cygne »), avant 1916. Le Schwan s'appelait en fait Brünig. Mais lorsqu'il sombra en 1871 ; le bateau à vapeur fut repêché, transformé et rebaptisé sous le nom Schwan. Jusqu'à sa conversion de la vapeur au moteur à essence en 1920, la NGL (Naturforschende Gesellschaft Luzern) et Hans Bachmann ont régulièrement utilisé le Schwan pour des excursions limnologiques (grâce aux faveurs du directeur de la société de navigation du lac des Quatre-Cantons), généralement pour un prix de 50 francs par jour. Réformé en 1933.

1916–1955



Charlotte, 1916–1955, Bois. H. Wolff et R. Vollenweider montrent les instruments de mesure et les équipements d'échantillonnage sur le petit bateau à moteur devant le premier laboratoire. Le bateau était un cadeau du professeur genevois Duc de Gandolfi-Hornoyold. La NGL reçut un bateau à rames comme cadeau de la part de la Commission du Concordat du lac des Quatre-Cantons.

1964–2001



Hans Bachmann, 1964–2001, Bois, homologué pour 12 personnes, 9 m de long. Fut victime d'une voie d'eau dans le lac en 2001 et réformé en urgence. Bachmann fut le premier bateau de l'Eawag conçu de A à Z comme bateau de recherche. Le directeur Otto Jaag amena la «Stiftung der Wirtschaft zur Förderung des Gewässerschutzes in der Schweiz» («Fondation de l'économie pour l'encouragement de la protection des eaux en Suisse») à financer le bateau. Comme il était plus long que prévu, le hangar à bateaux dut être prolongé,

1964–1989



Gloeocapsa, 1964–1989, Bois, 6 personnes, 6,8 m de long, hors-bord de 85 CV, bateau côtier équipé d'une petite grue, utilisée surtout pour des prélèvements de plancton. Mis en œuvre dans le cadre d'un écosystème modèle (limnocorail) dans le lac des Quatre-Cantons. Également financé par la Fondation de l'économie pour la protection des eaux.

à partir de 1979



Salm 1–3, à partir de 1979. PRV, Meier Dintikon, 5 personnes, 7 m de long, 1,8 m de large. Mise en service en 1979. Utilisé pour des prélèvements sur les lacs les plus divers, comme ici lors de l’immersion de pièges à sédiments dans le lac de Silvaplana. Deux bateaux Salm ont été reliés temporairement pour former une plateforme afin d’installer une plus grande grue.

à partir de 1988



Thalassa, à partir de 1988. Acier, chantier naval : Succes NL, aménagement : Hensa, Altendorf. 12 personnes, 10 m de long, 3 m de large, env. 8 tonnes ; grâce à la grue arrière et à une hydraulique robuste, le Thalassa peut effectuer les travaux les plus exigeants sur le lac. Il a entre autres déjà navigué sur le lac Majeur ou sur le lac de Neuchâtel ; il est souvent employé pour les travaux pratiques des étudiants. Achat par Dieter Imboden lorsque celui-ci a repris la nouvelle chaire de physique environnementale à l’EPFZ.

à partir de 2004



Perca, à partir de 2004. 9 m de long, 3 m de large, 3,3 t, 12 personnes ; Perca fluviatilis est le nom latin de la perche commune. Le bateau remplace le « Hans Bachmann » réformé. Il est avant tout utilisé lors des travaux pratiques en limnogéologie et lors de prélèvements sur le lac des Quatre-Cantons.

à partir de 2007



Salm II, à partir de 2007. Aluminium, construction de bateau Chavanne, 6 personnes, 6,9 m de long, 2 m de large, 1070 kg. Facilement remorquable comme les Salm 1 et 3 pour une utilisation sur divers cours d’eau. Construction identique à celle du **Gloeocapsa II**, mis en service en 2009. Ce nom de baptême fait référence à Otto Jaag (p. 17) qui a étudié ce type de cyanobactéries de manière approfondie, en particulier leur capacité à effectuer la photosynthèse même dans des conditions de faible luminosité.

Apparition et disparition d'espèces

En Suisse, la diversité des poissons, en particulier des corégones, a fasciné très tôt les chercheurs. Elle provient « seulement » des 10 000 ans qui ont suivi la dernière ère glaciaire. Aujourd'hui, on a compris comment les espèces ont évolué en s'adaptant à différentes conditions écologiques, comme la nourriture ou les zones de frai. On en sait aussi beaucoup sur la disparition répétée d'espèces, due notamment à l'eutrophisation des eaux.



Collection de référence de corégones au musée d'histoire naturelle de Berne.

En 1905, Walther Nufer – comme Hans Bachmann (p. 15), un élève du zoologue Friedrich Zschokke de l'Université de Bâle – publia un rapport détaillé sur les poissons du lac des Quatre-Cantons. Pour Nufer qui, plus tard, travailla souvent au laboratoire d'hydrobiologie de Kastanienbaum, il s'agissait avant tout de se faire une idée, aussi précise que possible, des conditions de vie dans lesquelles vivent les poissons. Ce savoir, estimait le chercheur, était la base de méthodes de pêche rationnelles et il fallait donc accorder une plus grande importance aux autres animaux aquatiques et aux plantes aquatiques – ce que son collègue Bachmann ne manqua pas de faire. Nufer trouvait que le lac des Quatre-Cantons s'y prêtait très bien. En effet, « malgré les multiples activités hostiles aux poissons, comme le trafic intensif des bateaux à vapeur et à moteur et l'extension permanente des rives », il avait « le grand avantage de n'être pas souillé par des eaux usées toxiques provenant d'usines ».

Les corégones en bocaux

En 1950, Paul Steinmann, professeur à l'école cantonale d'Argovie, publia une monographie des corégones de Suisse. Il séjourna à plusieurs reprises aussi à Kastanienbaum pour y faire des recherches. Sa collection de corégones est conservée et sert de référence à de nouvelles études (p. 24). Même si un grand nombre des espèces décrites par Steinmann ont disparu entre-temps, en Suisse, on recense au moins 24 espèces endémiques de corégones. Cela dit, selon les lacs, on relève jusqu'à six espèces endémiques, c'est-à-dire des espèces indigènes spécifiques au lieu. Les différences écologiques se manifestent au niveau

des dimensions et de la forme du corps, de la morphologie et du nombre de branchiospines ainsi que de la forme des mâchoires et de la coloration des nageoires et du dos. Les différentes espèces se nourrissent d'organismes benthiques ou pélagiques variés, ont des périodes de reproduction différentes et frayent à différentes profondeurs.

Le lac de Walen à l'image du lac Victoria

De nos jours, les chercheurs et chercheuses spécialistes de l'évolution de Kastanienbaum ont recours à des analyses génétiques modernes pour décrire avec encore plus de précision l'apparition et la disparition de cette diversité encore désignée sous le terme de radiations adaptatives. La radiation de loin la plus impressionnante est celle du cichlidé (ou perche multicolore) dans le lac Victoria, en Afrique. Ici, 500 espèces de cichlidés se sont développées en l'espace de 15 000 années seulement. Dans le cadre d'un projet de grande envergure, mené avec 27 autres instituts de recherche du monde entier, les scientifiques ont montré que les ancêtres du cichlidé avaient accumulé des mutations dans leur patrimoine génétique au cours d'une phase sans grande pression sélective. Le Prof. Ole Seehausen explique ce phénomène ainsi : « À l'époque, cette variation n'avait guère de sens, mais elle s'avéra d'une utilité incroyable lors-

que les poissons colonisèrent les lacs de l'Afrique orientale. Là-bas, des niches très diversifiées leur fournirent soudain les possibilités d'adaptation les plus diverses ». C'est pourquoi les chercheurs soulignent que la protection de la diversité des espèces dépend essentiellement du maintien de la diversité génétique. En outre, ils ont établi un lien entre la taille de l'habitat et la diversité. Celle-ci est certes influencée par la surface et l'ensoleillement, mais aussi et surtout par la profondeur des lacs. Les grands fonds, pour autant qu'ils offrent un habitat aux poissons, favorisent le mieux la création de niches écologiques variées. Un autre résultat : ce sont les processus locaux d'apparition d'espèces qui sont déterminants pour la diversité – et non pas la migration d'espèces existantes.

Dans les lacs subalpins aussi, comme les lacs de Brienz, de Thoune et de Walen, la profondeur garantit une plus grande diversité des espèces endémiques. Mais les scientifiques ont découvert, à l'aide des espèces de corégones suisses, un autre rapport de causalité : plus le taux de nutriments a déjà été élevé dans un lac, moins il existe maintenant de différences génétiques entre les espèces qui y vivent encore.

Chaque don compte

En 1912, Hans Bachmann voulait construire pour la somme de 331 250 francs une « Station fédérale de pêche et d'hydrologie au lac des Quatre-Cantons ». Ce projet n'a abouti à rien. Le hangar à bateaux, petit mais solide, édifié en 1916 avec un laboratoire à l'étage, a dû coûter moins du dixième de la somme initiale. Pendant la guerre, chaque don était le bienvenu. Le livre d'or fait état des sommes versées à partir de 15 francs. Même les dons en nature sont énumérés : deux aquariums offerts en cadeau par la Fédération suisse des pêcheurs, une carte géologique du lac des Quatre-Cantons avec des profils, léguée par le célèbre géologue Albert Heim, une barque d'occasion cédée par la Commission du Concordat et des stylos fournis gratuitement par la papèterie lucernoise Messerli. Enfin, les chargé(e)s de cours en hydrobiologie de 1913 firent don au laboratoire de « 30 coupes en verre, 18 serviettes, 600 lamelles en verre et 100 compte-gouttes ».

Difficultés financières et démission

Pour rester compétitif à l'étranger, le laboratoire doit absolument s'agrandir et acquérir de nouveaux appareils. Il devrait aussi pouvoir enfin engager des scientifiques rémunérés, car tous les employés travaillent alors bénévolement, même le responsable du laboratoire, Heinrich Wolff (à gauche avec le chapeau), qui enseigne à l'école normale. Toutefois, la NGL ne parvient pas à réunir l'argent. Wolff démissionne, suivi un an plus tard par son assistant Richard Vollenweider (à droite; p. 16). On ne mène dès lors plus guère de recherches au laboratoire.



Projet Lac – le grand inventaire des poissons

Étudier les lacs alpins et subalpins en profondeur. Tel est l'objectif du plus grand inventaire de poissons jamais réalisé en Suisse. En effet, les statistiques sur les prises des pêcheurs ne peuvent fournir qu'une image incomplète de la véritable diversité des espèces piscicoles. Avec des méthodes homogènes, la dissémination des poissons est désormais comparable d'un lac à l'autre et il est alors possible de tirer des conclusions pour la protection de la biodiversité encore intacte.

La loi fédérale sur la pêche et la directive-cadre sur l'eau de l'UE exigent de documenter la dissémination des espèces de poissons. Les statistiques doivent montrer quelles espèces doivent être protégées. De même, la Stratégie Biodiversité Suisse priorise la préservation des écosystèmes, de leurs services écosystémiques ainsi que la pérennité des espèces et de la diversité génétique de celles-ci. Pourtant, effectivement, les seules données disponibles sont celles de la pêche. On sait quelles espèces et combien de poissons sont capturés et relâchés, mais l'étendue réelle de leur diversité est inconnue.

En 2010, à l'occasion de l'année internationale de la biodiversité, l'Eawag, l'Université de Berne et le Musée d'histoire naturelle de la commune bourgeoise de Berne ont donc lancé le « projet lac », avec le soutien de l'Office fédéral de l'environnement, d'autres instituts de recherche et des cantons. Les grands lacs font l'objet d'une pêche systématique recourant à des méthodes standardisées, les espèces sont déterminées, mesurées et photographiées ; les gènes sont

séquencés et les statistiques des captures analysées. « Nous établissons ainsi pour la première fois le degré réel de la biodiversité des poissons dans les lacs », déclare Ole Seehausen (p. 45). « En outre, ce projet doit nous aider à découvrir pourquoi la diversité des espèces et la composition de la biocénose varient aussi fortement d'un lac à l'autre et quelles sont les causes écologiques de la disparition de certaines espèces. » Jusqu'en 2014, 26 lacs préalpins ont été étudiés et plus de 70 espèces de poissons ont été recensées. Une collection de poissons et prélèvements tissulaires conservés au Musée d'histoire naturelle de Berne sert de référence pour les futurs travaux de recherche. Les rapports finaux d'une douzaine de lacs sont déjà publiés (www.eawag.ch/projet-lac). Deux exemples.

Perte d'habitats au lac de Morat

Au lac de Morat, l'inventaire a été plutôt décevant : plus d'un tiers des espèces encore décrites en 1840 ont disparu. Un tiers des rives du lac, dont le rôle est important pour les poissons, sont aujourd'hui artificielles et construites. Par ailleurs, l'oxygène qui assurait la survie des espèces de poisson vivant en eau plus profonde manque à partir de 20 mètres de profondeur. Parallèlement, on a découvert des espèces jusqu'ici inconnues pour le lac de Morat, par exemple le gardon rouge italien ou la carpe prussienne. Il est également clairement apparu que la pêche professionnelle et de loisir avait un impact sélectif sur la composition des espèces du lac. Les pêcheurs capturent proportionnellement trop de sandres, de brochets et de silures. Des espèces de la famille des carpes et de celle des petits poissons ne sont guère pêchées, ce qui influence les structures d'âge des populations du lac.



Lottes du lac des Quatre-Cantons.



Même les plus petits sont déterminés et mesurés avec minutie.

Les poissons menacés en Engadine

La pêche dans le lac de Sils en Engadine et dans le lac de Poschiavo a fortement influencé la diversité des espèces dans l'histoire : des ombles chevaliers et des cristivomers (ombles du Canada) lâchés dans le lac sont en concurrence avec les truites autochtones. Des truites fario en provenance d'autres bassins versants se sont croisées avec les espèces indigènes, provoquant la disparition de la diversité. Ainsi, il ne reste plus que quelques exemplaires de truites adriatiques, et les truites marbrées qu'on y trouve seront bientôt les dernières en Suisse. Toujours est-il qu'une population de truites de la Mer Noire a réussi à se maintenir de justesse dans le lac de Sils. La question qui passionnait les pêcheurs était de savoir pourquoi ils capturaient de moins en moins d'ombles chevaliers dans le lac de Sils, alors que les prises augmentaient dans le Poschiavo. La réponse surprenante est venue des captures au filet standardisées : la densité des ombles chevaliers est la même dans les deux lacs. Leurs tailles aussi sont comparables. On peut donc partir du principe qu'il est plus difficile d'attraper des poissons dans le lac de Sils que dans le lac de Poschiavo, ce qui pourrait s'expliquer par exemple par les différences des habitudes alimentaires dans les deux lacs.

Une équation trop simple

Les pêcheurs professionnels exigent que l'on augmente les apports de phosphate dans les lacs. Ils estiment que la déphosphatation dans les stations d'épuration est exagérée et que les poissons comestibles manquent de nourriture. Même si le Projet Lac n'a pas été conçu pour résoudre la question « Plus de phosphore = plus de corégones ? », on peut dire que cette équation est trop simple. Les conditions lacustres sont différentes d'un lac à l'autre. La baisse du taux de phosphore n'est pas responsable globalement de la diminution du nombre de poissons. Des lacs pauvres en substances nutritives comme le lac de Walen présentent des biomasses de poissons élevées. Cela dit, la plupart des poissons sont plus petits que pendant les années fastes et ils vivent en partie en profondeur, hors de la portée des pêcheurs. En outre, une remontée des taux de phosphore peut avoir des conséquences négatives en favorisant le développement d'algues toxiques ou d'espèces invasives, la consommation d'oxygène empêchant la reproduction des poissons des grands fonds lacustres – pour la plupart, des corégones et des ombles.

Reprise par l'Eawag
À contre-cœur, le comité de la NGL propose le laboratoire à l'EPFZ. En 1959, l'Eawag l'exploite à l'essai sous la direction d'Otto Jaag. L'EPFZ, et plus précisément son institut annexe l'Eawag, accepte la donation en 1960, avec l'engagement contractuel de conserver le bâtiment de recherche hydrologique et le nom de Laboratoire d'hydrobiologie de Kastanienbaum.



Aide aux cours d'eau menacés

25 % de tous les cours d'eau suisses doivent être classés comme très pollués, artificiels ou endigués. Sur le Plateau, ce taux dépasse même les 40 %. Depuis sa révision en 2011, la loi sur la protection des cours d'eau appelle donc les cantons et communes à donner plus d'espace aux rivières, à les revaloriser écologiquement et à atténuer les effets négatifs de l'exploitation de l'électricité hydraulique. La recherche sur l'eau fournit des bases et des instruments en la matière.

L'espoir de parvenir à une protection absolue contre les crues grâce à la correction et à l'endiguement des fleuves au début du 20^e siècle s'est révélé trompeur. Au cours des dernières décennies, les dommages causés par des événements extrêmes ont fortement augmenté, entre autres en

raison de la grande pression immobilière. En même temps, on a assisté à la disparition d'habitats et de réseaux qui seraient absolument essentiels pour que les écosystèmes des cours d'eau fonctionnent. En 2002, les chercheurs en sciences aquatiques de l'Eawag ont donc lancé le projet Rhône-Thur, en coopération avec leurs collègues de la WSL, de l'EPF Zurich (VAW⁷), de l'EPFL (LCH⁸), avec des partenaires de la Confédération, des cantons et des universités de Zurich et de Neuchâtel, avec le Service conseil des Zones alluviales et avec des bureaux privés d'ingénierie et d'environnement. C'est de là que sont nés les projets de suivi intitulés « Gestion intégrale des zones fluviales » et « Génie hydraulique et écologie ». Des expertes et experts de l'écologie, de la construction fluviale et des sciences sociales collaborent avec succès à ces trois projets.

Des manuels pratiques

Dans un premier temps, il importait d'élargir les profils d'écoulement et les fleuves canalisés afin de satisfaire aux objectifs d'aménagement fluvial et d'ordre écologique. Par ailleurs, on a étudié les effets de la restitution de l'eau par éclusée (marnage), en aval de centrales hydroélectriques, sur l'écologie aquatique et la nappe phréatique. En dehors des publications scientifiques, on a pu éditer deux manuels pratiques qui montrent de quelle manière il est possible de planifier des projets d'aménagement des cours d'eau en faisant appel aux acteurs les plus divers, et de contrôler l'efficacité des mesures de revitalisation. Les études réalisées sur les revitalisations de l'Emme, de la Moesa, du Rhône et de la Thur ont confirmé que l'on a favorisé la



Des collaborateurs de l'Eawag en train de pêcher dans la vallée de la Reuss en 1976. Le projet « Protection contre les crues et renaturation de la Reuss » pour lequel on se bat actuellement est censé rétablir la diversité biologique de cette zone.

Sauvez les eaux

La pollution des lacs et rivières devient évidente. Les interdictions de se baigner poussent partout. Seuls 10 % de la population sont raccordés à une station d'épuration. Le directeur de l'Eawag Otto Jaag organise à Lucerne, notamment avec le chef de Ciba Robert Käppeli, une manifestation intitulée « La protection des eaux, le défi de notre génération ». Hans Erni en dessina l'affiche.



Élargissement de la Moesa près de Grono (GR) et aménagement total de la Wigger près de Zofingen (AG).

diversité des habitats. Cela dit, le projet a aussi révélé à quel point ce succès dépend de la présence de tronçons proches de l'état naturel dans le cours supérieur ou dans les affluents.

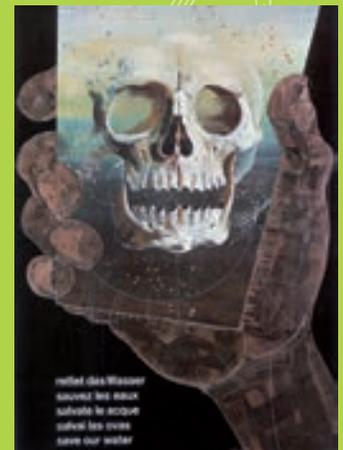
La deuxième phase du projet a porté surtout sur la diversité des habitats et la connectivité longitudinale et transversale des cours d'eau. Notamment des études menées sur le chabot commun, dont la capacité de nage est faible, ont montré dans quelle mesure des ouvrages transversaux pouvaient déjà entraîner en aval un appauvrissement génétique. Les résultats de cette partie de l'étude sont présentés sous la forme de huit fiches pratiques.

Pour faire bouger de nouveau le gravier

Le projet en cours intitulé « Aménagement fluvial et écologie » met l'accent sur l'assainissement des régimes sédimentaires. Tandis que les ingénieurs fluviaux étudient des mesures de construction hydraulique, à savoir de quelle manière des sédiments peuvent passer au niveau de rete-

nues d'eau, ou être transportés de manière artificielle en aval du cours d'eau, les hydroécologues analysent comment de telles mesures se répercutent sur le réseau trophique aquatique et la reproduction de différentes espèces de poissons frayant sur graviers. À cette fin, ils se servent de relevés de terrains et simulent la modification des conditions dans des rigoles expérimentales. Les spécialistes en écologie piscicole de Kastanienbaum analysent en plus si un assainissement des éclusées en aval des centrales hydro-électriques a un effet positif sur le rôle écologique des eaux concernées. Les premiers résultats indiquent que là où des corrections appauvrissent les cours d'eau, des habitats importants font défaut. Le retour à un régime d'écoulement semi-naturel ou naturel ne changera pas grand-chose à cette situation.

Avec le programme des cours d'eau suisses lancé en 2013, l'Eawag et l'Office fédéral de l'environnement encouragent l'échange de connaissances entre la pratique et la science et soutiennent la mise en œuvre de la protection des eaux à l'aide d'une recherche interdisciplinaire de caractère pratique.



Créer des itinéraires de migration pour les poissons

En Suisse, plus de cent mille obstacles artificiels d'une hauteur supérieure à 50 centimètres entravent la migration des poissons. Les chercheurs et chercheuses de Kastanienbaum étudient les moyens dont on dispose pour rétablir au mieux les itinéraires de migration interrompus et les autres facteurs jouant un rôle dans le franchissement effectif de ces passes.

Il est notoire que les saumons veulent migrer, mais ne parviennent plus guère à franchir tous les obstacles artificiels qu'ils rencontrent lorsqu'ils remontent le Rhin, malgré l'amélioration de la qualité des eaux. Pourtant la plupart des autres poissons aussi sont tributaires, au cours de leur développement, d'habitats séparés dans l'espace, par exemple de frayères et d'habitats de juvéniles. Les hydroécologues et spécialistes en écologie des poissons de l'Eawag étudient par conséquent comment améliorer la connectivité longitudinale des rivières et fleuves. Il est ainsi possible de rapprocher des populations isolées et de coloniser de nouveau des tronçons de cours d'eau avec des densités de poissons plus faibles.

Trop raides ou avec des marches trop hautes

Tandis que les centrales hydroélectriques sont équipées le plus souvent de passes à poissons ou plus récemment de canaux de contournement, il est possible de rendre franchissables des seuils assez petits ou des chutes grâce à des rampes en enrochement. Les ouvrages qui rappellent des cascades ou rapides naturels sont considérés comme franchissables par des poissons. Or, des études plus précises menées sur des poissons marqués ont montré que ce n'est le cas que si les rampes sont correctement construites : par exemple avec un dénivellement qui ne dépasse pas cinq pour cent ou avec des marches verticales. Et bien entendu, les rampes devraient s'orienter sur la puissance de nage des espèces de poissons qui existent à l'état naturel dans ces eaux. Par conséquent, sur le Plateau suisse, elles ne devraient pas être franchissables seulement par les truites de rivières, mais aussi par des poissons comme les chevaines, les vairons ou même les chabots moins vigoureux.

Barrages et débit artificiel

Pour l'espèce de poissons chevaine et les centrales hydroélectriques du Haut-Rhin, une équipe de chercheurs a étudié récemment si ces échelles à poissons favorisent effectivement le brassage génétique des poissons. Ils ont réussi à confirmer qu'une passe à poissons opérationnelle réduit considérablement l'effet d'un barrage : une barrière artificielle sans échelle à poissons sépare les poissons aussi efficacement qu'une distance de 100 kilomètres dans un fleuve non aménagé. Pour les barrières avec échelle à



Ces barbeaux évitent de nager à travers le râtelier, ce qui les tient éloignés des turbines dangereuses.



Dans un canal d'écoulement de la VAW⁷, on teste les différents dispositifs de guidage susceptibles de diriger les poissons dans une dérivation sans danger.

poissons, cet équivalent n'avoisine pas zéro, mais environ 12 kilomètres. En d'autres termes, lorsqu'un chevaline veut nager de Bâle à Eglisau, il doit surmonter 10 barrages et parcourir non pas 90, mais 210 kilomètres.

Le marquage de poissons avec de petits transpondeurs permet de suivre avec précision leurs migrations avec des antennes. Ainsi, des études menées dans la région du Rhin alpin ont révélé que les poissons se méfient manifestement non seulement des barrages – dans ce cas Reichenau – mais aussi de tout débit d'eau fortement modifié de manière artificielle : les truites lacustres remontant du lac de Constance migraient en tout cas le week-end, en l'absence de restitution d'eau par vagues provenant des centrales situées plus en aval, toujours nettement plus que les jours ouvrés.

La migration vers l'aval sans solution

Si les poissons utilisent des passes, des rampes en enrochement ou des chenaux de contournement bien conçus et bien entretenus pour remonter les cours d'eau, on ne sait pas encore grand-chose sur la manière dont ils trouvent leur chemin vers l'aval. Par exemple à la centrale hydraulique de Ruppoldingen sur l'Aar, lors d'une étude de l'Eawag, moins de 10 pour cent des poissons marqués ont suivi le chenal de contournement, et à peu près le même nombre ont emprunté l'itinéraire risqué des turbines. C'est pourquoi on étudie actuellement, en collaboration avec le Laboratoire d'hydraulique, d'hydrologie et de glaciologie de l'EPF de Zurich (VAW) et l'Association Aare-Rheinwerke (VAR), comment il serait possible de détourner les poissons des turbines à l'aide de grands systèmes de guidage et de les diriger vers des dérivations et des toboggans sans danger.

Rénovation complète et agrandissement

Le petit institut est agrandi avec l'aide de la « Stiftung der Wirtschaft zur Förderung des Gewässerschutzes in der Schweiz » (Fondation de l'Économie pour la Promotion de la Protection des Eaux en Suisse). Celle-ci finance non seulement une partie des transformations, mais aussi deux nouveaux bateaux, vingt microscopes de recherche et vingt stéréomicroscopes. L'Eawag organise régulièrement des cours pour les enseignants des différents degrés scolaires, des cours spécialisés pour le personnel des services cantonaux de protection des eaux et des stages pour les étudiants de l'EPFZ et des universités.



L'évolution, une source d'inspiration

Les modifications de l'environnement peuvent entraîner la disparition d'espèces et en générer de nouvelles. Inversement, les organismes modifient les écosystèmes et influencent leurs biocénoses. Des chercheurs de l'Eawag se penchent sur les interactions relevant de l'écologie évolutive dans la nature et en procédant à des expériences.

Depuis 150 ans, l'épinoche à trois épines se reproduit sur le Plateau à vitesse exponentielle. David Marques du département « Écologie aquatique et Évolution » et des collègues de l'Université de Berne ont prouvé que cette espèce de poisson s'adapte très rapidement à de nouveaux habitats. Ainsi, deux formes différentes de l'épinoche vivent dans la région du lac de Constance. L'une est typique du lac, l'autre de ses

affluents. À l'aide d'analyses génétiques sophistiquées, les biologistes ont montré que les deux espèces d'épinoche ont commencé à se scinder en deux espèces en s'adaptant respectivement aux conditions des lacs et des rivières. « Nous ne nous attendions pas du tout à ce que les espèces d'épinoche se différencient en aussi peu de temps alors qu'elles se reproduisent au même moment et au même endroit », commente Marques. « Habituellement, des espèces indépendantes apparaissent par adaptation à des milieux différents et se reproduisent dans des lieux bien distincts comme dans différentes profondeurs d'un lac. »

L'eutrophisation responsable de la disparition d'espèces

Lorsque les conditions environnementales changent, des espèces peuvent aussi fusionner génétiquement, comme le montre une étude menée sous la direction du spécialiste de l'écologie évolutive Ole Seehausen. Selon lui, l'eutrophisation des lacs suisses entre 1950 et 1990 a conduit à un mélange d'espèces distinctes de corégones. Du fait que beaucoup de lacs manquaient d'oxygène sur le fond et en eau profonde, les spécialistes ne disposaient plus de niches écologiques pour se nourrir et se reproduire. Ils ont dû fuir dans des eaux moins profondes où ils se sont croisés avec des espèces apparentées et ont perdu leur unicité génétique et fonctionnelle.

Tout comme les modifications de l'environnement ont un impact sur la diversité des espèces d'un écosystème, les espèces modifient aussi leur habitat. Par exemple la palourde asiatique introduite dans le lac de Constance après 2000 : une thèse de bachelor supervisée par l'Eawag a permis de



À l'aide des mésocosmes, Blake Matthews étudie comment les modifications de l'environnement influencent l'évolution et inversement de quelle manière certains processus évolutifs ont un impact sur l'environnement.

recenser jusqu'à 900 palourdes par mètre carré de fond lacustre. Le tapis de coquillages presque continu par endroits filtre en tout quelque 1,85 millions de litres d'eau par seconde. À cette vitesse, les palourdes filtrent la totalité du lac en une année. « On doit partir du principe que la palourde asiatique a eu un fort impact sur la disponibilité de la nourriture pour le zooplancton », estime Jukka Jokela du département d'Écologie aquatique. Sont-elles indirectement responsables du fait que les prises de poissons comestibles des pêcheurs sont plutôt maigres actuellement ? Jokela hésite à se prononcer : « Pour cela, il nous faut plus de données et d'analyses sur la dynamique des palourdes. »

Dynamique naturelle dans des écosystèmes artificiels

Afin de comprendre les processus évolutifs et les interactions entre les espèces et leur environnement, les chercheurs de l'Eawag ont réalisé des essais dans des écosystèmes artificiels. Les premières expériences ont donc commencé en 2016 à Dübendorf dans un nouveau parc comprenant 36 étangs expérimentaux. En revanche, Blake Matthews du département Écologie aquatique reconstitue des habitats à l'aide de mésocosmes. Il s'agit de grands bacs placés en extérieur, d'une capacité comprise entre 300 et 1000 litres et remplis de sédiments et d'eau lacustres. « Ces bacs nous permettent de modifier certains paramètres dans des conditions contrôlées et d'analyser comment cela se répercute sur les réseaux trophiques et les processus des écosystèmes », explique le biologiste.

Dans des mésocosmes, Matthews étudie par exemple comment les espèces d'épinoches du lac de Constance modifient leur habitat et comment ces modifications rétroagissent sur les processus évolutifs chez les épinoches. Il a découvert que les épinoches des lacs et des affluents ont des effets différents sur la présence de plancton ou de cyanobactéries et sur la concentration en nutriments. Cela a également un impact sur la génération suivante. Ainsi, le taux de survie des jeunes poissons baisse lorsque des épinoches fluviales adultes ont habité dans les mésocosmes. Les jeunes épinoches lacustres ayant survécu se développent plus vite que les épinoches fluviales.



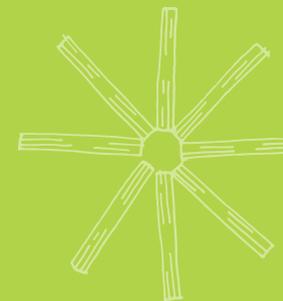
Dans le bassin du lac de Constance, non seulement les épinoches à trois épines femelles (à gauche) se distinguent des mâles, mais on observe aussi deux écotypes différents. L'un est typique du lac, l'autre de ses affluents.

Le lac, propriété de tout un chacun ?

Les actes de vandalisme perpétrés sur les sites de recherche ne semblent pas être un phénomène récent. En tout cas, la Commission hydrologique de la NGL déplorait déjà en 1917 que sa balise ancrée dans le lac par l'administration des bateaux à vapeur n'ait pu servir qu'un an. Manifestement détériorée à dessein, elle avait alors dû être retirée. « Espérons que cette balise, une fois restaurée, sera traitée avec plus de respect par les rameurs qui considèrent le lac comme la propriété de tout un chacun », a commenté le chroniqueur. Aujourd'hui, il arrive que les bouées des chercheurs portent une tête de mort, pour dissuader les vandales – avec succès.

Reprise du « Seeheim »

L'Eawag peut reprendre la propriété du Seeheim, ce qui permet d'héberger les participants à ses cours. L'utilisation de la villa demeure cependant limitée, car les anciens propriétaires jouissent encore du droit d'habitation. Le personnel du site passe de deux à six personnes. Le Conseil d'Etat lucernois met à disposition de l'EPFZ/Eawag des réserves de terrain de l'autre côté de la route où un nouveau bâtiment est prévu.



L'époque où les lacs étouffaient

Les eaux usées non épurées et le lessivage des nutriments dans l'agriculture ont pollué les cours d'eau sur des décennies. En se décomposant, les algues qui proliféraient consommaient de l'oxygène, ce qui conduisait périodiquement à une importante mortalité de poissons. Il a fallu dans un premier temps élucider ce processus mystérieux et développer des contre-mesures pour y remédier.

L'histoire du laboratoire d'hydrobiologie de Kastanienbaum est étroitement liée aux modifications biologiques et chimiques des lacs situés sur le Plateau, causées par une surabondance d'eaux usées qui étaient déversées dans les lacs sans être épurées. La prolifération d'algues en décomposition nauséabondes et les milliers de poissons retrou-

vés morts en étaient les manifestations les plus visibles. En 1917, ce phénomène a été pour la première fois qualifié de « pollution » au lac Rotsee. En dehors des eaux usées ménagères et industrielles, l'eau enrichie en éléments fertilisants agricoles contribuait aussi à l'eutrophisation – certains lacs souffrent encore aujourd'hui de ces pollutions diffuses.



En 1983, on a mesuré à l'aide de longs tuyaux de trois mètres de diamètre, dans le lac des Quatre-Cantons, la prise alimentaire du zooplancton qui suit des cycles jour/nuit marqués.

Pionniers en matière de durabilité

Le laboratoire du lac a exploré les trajets et volumes de substances présentes dans l'eau ainsi que les processus ainsi déclenchés à l'échelle du lac. Les résultats scientifiques ont été explicites : on ne pouvait résoudre le problème de l'eutrophisation qu'en abaissant durablement les teneurs en phosphore. Cela supposait la modernisation des canalisations et des stations d'épuration – ainsi, la collaboration du département de la recherche lacustre de Kastanienbaum avec les ingénieurs de l'Eawag de Zurich battait déjà son plein avant que l'Eawag ne reprenne le laboratoire. La nouvelle loi sur la protection des eaux de 1971 introduisit l'obligation de se raccorder au réseau d'égouts ainsi que le principe du pollueur payeur et le principe de précaution exigés par l'Eawag. Suite à la révision de l'Ordonnance sur le déversement des eaux usées (1975), la précipitation des phosphates dans le bassin versant des lacs fut imposée. Conjointement avec l'interdiction de l'utilisation des phosphates dans les lessives (1985) basée également sur des études de l'Eawag, on réussit à briser la spirale négative de l'eutrophisation. Peu à peu, les concentrations de phosphore dans les lacs commencèrent à baisser. Dans le domaine de la protection des eaux, une politique s'est imposée, que l'on qualifiera plus tard de durable.

On ne peut pas encore se passer de poumons artificiels

Certains « patients » allaient si mal qu'il a tout de même fallu agir d'urgence. On envisagea de lutter contre les algues en utilisant des herbicides – une proposition que l'Eawag n'a pas tardé de taxer d'inappropriée. En revanche, les chercheurs ont commencé à faire des essais et ont effectué des calculs sur des solutions d'aération hypolimnique. En collaboration avec les services cantonaux de Lucerne et d'Argovie, des systèmes d'aération et de circulation ont été aménagés dans les années 80 dans les lacs de Baldegg, de Sempach et de Hallwil. Ils ont atteint leur objectif qui était de rendre le fond des lacs de nouveau habitable pour les poissons. En revanche, la reproduction naturelle des corégones frayant au fond des lacs est restée une utopie en de nombreux endroits. Les algues qui se sont déposées pendant les années fastes se nourrissent toujours d'oxygène de sorte que l'interface mince qui sépare les sédiments et l'eau du lac n'est plus suffisamment oxygénée. Dans des eaux moins eutrophisées, comme celles du lac zurichois de Pfäffikon, les systèmes mis en place à l'intérieur du lac – qui

n'étaient qu'une lutte contre les symptômes – ont été arrêtés. Les mesures de prévention globales, qui vont du traitement des eaux usées aux incitations financières des agriculteurs en passant par la construction de bassins de clarification des eaux pluviales, ont porté leurs fruits.



Des diffuseurs de ce type permettent d'injecter de l'air et, si besoin est, de l'oxygène pur au fond du lac.

Essais réalisés à grande échelle avec des métaux lourds

Dès les années 1960, des analyses de sédiments ont montré une hausse des concentrations en métaux lourds. Cependant, leurs effets sur la vie aquatique étaient encore méconnus. Seuls des essais menés en laboratoire sur des concentrations excessives non réalistes révélèrent qu'elles nuisaient à certains organismes. Le laboratoire de recherche lacustre lança donc l'étude Melimex (acronyme allemand pour Metall-LIMnologisches Experiment) : on procéda dans le lac de Baldegg à l'installation de trois « tuyaux » circulaires de douze mètres de diamètre qui atteignaient le fond du lac. L'un d'entre eux resta tel qu'il était. Dans les deux autres, on augmenta artificiellement pendant 15 mois les concentrations en métaux lourds.

L'essai a révélé des choses intéressantes, comme par exemple le fait que la communauté de plancton a développé certaines résistances, mais que les métaux lourds, contrairement par ex. aux hydrocarbures chlorés, n'ont pas contaminé la chaîne alimentaire. Il était important de comprendre que les concentrations en métaux lourds dans un lac ne dépendent pas des afflux, mais en majorité aussi de la production biologique du lac. Les chercheurs n'ont pas pu fournir de réponse définitive à d'autres questions qui accompagnaient l'expérience. Ou bien ils ont dû admettre que les masses d'eau retenues dans le lac ne pouvaient pas reproduire exactement les conditions naturelles. Ainsi, on a réalisé par exemple que la feuille de séparation utilisée au début de l'expérience dégageait du zinc, l'un des métaux étudiés, dans l'eau.

Un pavillon pour remédier au manque de place

Un permis de construire temporaire permet de réaliser un pavillon avec laboratoire. Le personnel passe à douze personnes. À Dübendorf (ZH), où l'Eawag vient de s'installer, le département des sciences de la pêche est créé. L'Eawag, géré désormais comme un institut annexe de l'EPFZ (autonome au sein des EPF dès 1993), était dispersé sur près de sept sites sur le campus de Zurich, dirigeant aussi une station expérimentale, des ateliers et la station d'épuration de Werdhölzli, en plus du laboratoire de Kastanienbaum.



De grandes réserves d'énergie dans l'eau

Quel impact a l'activité de pompage-turbinage sur les lacs naturels ? Quelles sont les conséquences écologiques des petites centrales hydroélectriques ? Les crues artificielles en aval des lacs de retenue peuvent-elles faire renaître une dynamique alluviale ? À travers de nombreux projets, la recherche sur les eaux s'intéresse à l'exploitation de l'eau pour la production d'énergie et à ses conséquences, ainsi qu'au problème de la pollution thermique.

Lorsque les premières centrales nucléaires furent planifiées en Suisse dans les années 1960, les ingénieurs vinrent frapper à la porte de l'Eawag et du laboratoire à Kastanienbaum avec la question suivante : De combien de degrés la température de l'Aar peut-elle se permettre d'augmenter lorsque l'eau de refroidissement est rejetée ? Les écologistes spécialistes des eaux et des poissons se saisirent du problème et forgèrent le concept de « pollution thermique » des eaux. Leurs études furent déterminantes pour décider que la chaleur des centrales devait être évacuée majoritairement par des tours de refroidissement et seulement en partie dans les eaux. La Confédération stipula dans l'ordonnance sur la protection des eaux que la hausse de la température des eaux après les déversements ne devait pas excéder 3 °C – au maximum 1,5 °C dans la zone à truites – et que la température de l'eau ne devait pas dépasser 25 °C. Suite à la canicule de l'été 2003 et aux fortes chaleurs des années suivantes, les exploitants des installations de refroidissement ont exigé un assouplissement de ces règles. De nouveaux projets de recherche seront nécessaires pour savoir si leur revendication se traduirait ou non par la « mort par la chaleur pour les rivières » (citation du prof. Heinz Ambühl, p. 18).

Scénarios réalistes des besoins

Dans une optique d'approvisionnement durable en énergie, l'exploitation de la chaleur des lacs gagne en attractivité. Étant donné que des villes et de grandes agglomérations se situent en bordure des grands lacs comme le Léman ou les lacs de Zurich ou des Quatre-Cantons, l'idée d'une exploitation de l'immense potentiel calorifique des lacs paraît particulièrement pertinente. Quelques installations sont déjà en ser-

vice, mais elles sont de faible capacité. Une nouvelle étude de l'Eawag portant sur le lac de Constance s'est intéressée à la question de savoir si d'importants prélèvements de chaleur entraîneraient un bouleversement de l'écologie. Au lieu de se baser sur un réchauffement maximal tolérable d'au plus 2-3°C, les chercheurs sont partis d'un scénario de demande réaliste. Pour 1 million d'habitants, le besoin en énergie d'environ 1 kW par habitant équivaut à 1 gigawatt (GW) ou à 2 W par mètre carré de surface du lac. Bien que cela représente le triple des prélèvements actuels, c'est cependant peu en comparaison du bilan thermique naturel du lac de Constance : le lac perd 170 GW ne serait-ce que par rayonnement à ondes longues et près de 20 GW par évaporation.

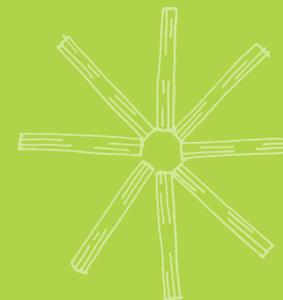
Pour évaluer l'évolution spatiotemporelle des températures dans le lac, les chercheurs ont utilisé un modèle mathématique de turbulence. En considérant la demande en énergie prévue, la température du lac ne se modifierait que légèrement d'après cette modélisation : sa surface ne se refroidirait que de 0,2 °C si 1 GW lui était prélevé pour le chauffage. La modélisation a montré que les différences de température dans le lac pouvaient être minimisées à condition d'agir sur différents paramètres : la profondeur des prélèvements et des restitutions d'eau, les quantités prélevées et les différences de température entre les flux sortants et entrants.

Favorisation du brassage

Le prélèvement de quantités importantes d'eau de refroidissement suivi de la restitution d'une eau réchauffée peut prolonger légèrement la période de stagnation estivale, et ce d'une journée seulement en moyenne par gigawatt apporté.

Nouvelle construction à flanc de coteau

Le nouveau laboratoire est occupé vers la fin 1976 et inauguré le 2 juin 1977. La construction, conçue en terrasse par l'architecte Roland Mozzatti, abrite le laboratoire, des locaux à aquariums et des bureaux. La deuxième étape des travaux n'est pas réalisée. Le département des sciences de la pêche quitte Dübendorf pour le lac des Quatre-Cantons. 25 personnes travaillent alors à Kastanienbaum.



L'énergie thermique du lac de Constance – devant la chaîne du Säntis – pourrait être exploitée sans dommages pour l'écosystème.

La plupart des scénarios tablent sur une augmentation des prélèvements de chaleur en hiver, le brassage (souhaité) du lac à l'automne et au printemps tend à être favorisé. Une planification optimale de grands systèmes combinés devrait donc permettre que les deux effets que sont l'intensification du refroidissement en hiver et l'accentuation du réchauffement en été se compensent mutuellement.

Pour le lac de Constance, grand et profond, l'impact sur l'écosystème d'un rendement énergétique très élargi devrait

donc être minime, « surtout comparé au bénéfice environnemental résultant de l'économie d'énergies fossiles réalisée », nous dit le professeur Alfred Wüest, directeur du projet. Ce dernier espère que certains grands projets d'utilisation de l'énergie hydrothermique des lacs actuellement en cours d'élaboration, comme au lac Léman pour le rafraîchissement et le chauffage des locaux de l'EPFL, de l'Université de Lausanne ou des bâtiments de l'ONU, prendront leur envol.

La légende de Kastanienbaum

Côté rue, le peintre local Marcel Nuber a illustré sur la façade du hangar à bateaux (p. 45): la légende de Kastanienbaum : « Voici des années, deux Italiens passèrent la nuit dans une ferme de la commune de Horw, très joliment située en bordure du lac. Au moment de partir, ils offrirent à leur hôte en guise de remerciement deux châtaigniers pour qu'il les plante. C'est ce qu'il fit et, à sa plus grande joie, deux arbres luxuriants ne tardèrent pas à se développer. Il en prit grand soin jusqu'à ce qu'ils portent des fruits. À force de replanter des châtaignes, il eut la chance, de son vivant, de voir grandir une forêt de châtaigniers robustes et prolifères. À partir de là, les châtaigniers colonisèrent la région et la ferme prit le nom de « Kestenbaum ». Au début des années 1900, on pouvait encore voir sur la presqu'île d'Horw une multitude de bosquets de châtaigniers. De nos jours, il n'en reste plus que quelques-uns.

Histoire et histoires au fond des lacs

Colonisation et industrialisation de la Vallée de Joux, tsunami du lac des Quatre-Cantons ou encore tremblement de terre en Anatolie orientale : les chercheurs peuvent reconstruire les impacts des facteurs environnementaux et des activités humaines du passé à partir des couches sédimentaires qui se déposent au fil du temps dans un lac.



Prélèvement d'une carotte sédimentaire sur le Trübsee gelé (NW). Grâce à celle-ci, des inondations historiques sont reconstituées et des liens sont déduits entre les conditions climatiques particulières et les fortes précipitations.

« Les sédiments d'un lac constituent des archives très précieuses », indique Nathalie Dubois qui dirige l'équipe de sédimentologie de l'Eawag. « Les substances qui s'accumulent sur le fond varient en effet en fonction des conditions qui règnent aux alentours. » Ceux qui, comme Nathalie Dubois, savent décrypter les couches sédimentaires peuvent en tirer des informations sur le passé. En collaboration avec des collègues, la chercheuse a récemment étudié la manière dont le développement économique de la Vallée de Joux (VD) se reflète dans les sédiments du lac éponyme. Les scientifiques ont extrait des carottes sédimentaires du fond du lac, qu'ils ont examinées au laboratoire sous toutes les coutures. Ils évaluèrent la composition des sédiments de manière optique, déterminèrent la susceptibilité magnétique et la densité des couches, les analysèrent aux rayons X, réalisèrent des analyses géochimiques et effectuèrent une datation aux isotopes de carbone, de plomb et de césium.

Le défrichement a conduit à une forte érosion

« Les carottes permettent de remonter à près de 1200 ans dans le passé » explique N. Dubois. Les couches de boue brun foncé alternent avec du calcaire clair jusqu'au XIII^e siècle, révélant une fluctuation des conditions climatiques. Les substances d'origine végétale situées dans les sédiments supérieurs présentent des chaînes carbonées d'une autre composition. Cette différence s'explique par une augmentation significative des apports de matière organique dans le lac. La datation effectuée par les scientifiques indique que ce phénomène s'est produit entre les années 1300 et 1450. A cette époque, de nombreux colons sont venus s'installer dans la vallée et ont défriché la forêt.

Les sols ainsi dénudés ont été lessivés et de grandes quantités d'humus et de matière organique ont été entraînées dans le lac. Les fortes précipitations annonciatrices du Petit Âge Glaciaire sont venues renforcer cette érosion.

L'industrie horlogère, source de métaux lourds

L'érosion a régressé à partir de 1600 parallèlement au développement économique. La composition des sédiments s'est modifiée. En 1777, une rupture d'un barrage a perturbé les couches, le niveau de l'eau a ainsi diminué. Conjointement à l'évaporation croissante en raison du climat progressivement plus chaud, ce phénomène a conduit à une précipitation accrue de calcaire au XIXe siècle. Le barrage reconstruit en 1942 a résisté. Les carottes sédimentaires présentent pour cette époque des sédiments grossiers, révélateurs des déblais de construction éliminés dans le lac. Mais le barrage a également modifié la dynamique des courants dans le lac de Joux. Des zones d'eau stagnante ont fait leur apparition, favorisant l'eutrophisation du lac, conjointement à l'apport croissant de phosphore provenant des lessives. La composition des chaînes carbonées et les rapports isotopiques carbonés déterminés dans les couches sédimentaires correspondantes indiquent une période de fort développement de la végétation aquatique. A partir des années 1950, les chercheurs ont découvert du plomb, du zinc, du fer et du cuivre dans les sédiments, qu'ils imputèrent entre autres à l'industrie horlogère locale.

160 bouteilles de détartrant WC

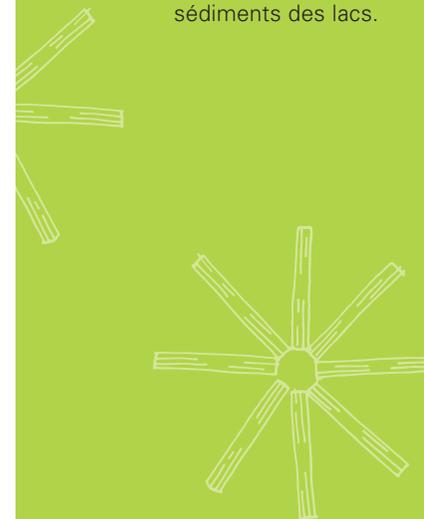
Lors du forage des sédiments, le puits de forage doit être stabilisé en permanence à l'aide d'une masse gélatineuse. Néanmoins, lorsqu'une équipe de chercheurs internationaux sous la co-direction de l'Eawag voulut procéder à des forages au cours de l'été 2010 au fond du lac Van en Turquie, cela n'a pas fonctionné. Au lieu de se mélanger à l'eau, le produit servant à la production des boues de forage a précipité. La faute en était à l'eau du lac dont le pH de 9,6 était trop élevé. Alors, comment se procurer le plus vite en Anatolie orientale l'acide requis pour rabaisser la valeur du pH ? Sans attendre, les chercheurs firent preuve de débrouillardise et achetèrent toutes les réserves de détartrant WC dont la petite ville disposait pour les apporter sur la plateforme de forage : en tout 160 flacons – une quantité qui suffit pour le premier jour. Ensuite, ils purent se procurer de l'acide citrique en poudre. Les travaux de forage furent couronnés de succès.

Traces de Tchernobyl dans le lac de Biemme

A l'aide de carottes sédimentaires, des chercheurs de l'Eawag ont pu également élucider les causes d'un tsunami du lac des Quatre-Cantons, mentionné en 1687 : un versant sous-marin s'est effondré dans le delta de la Muota. Les masses de boues s'écroulant en profondeur ont causé un raz-de-marée de quatre mètres de haut ainsi que d'importantes inondations. Les experts de l'Eawag et du laboratoire Spiez pour la protection contre les rayonnements ont découvert dans les sédiments du lac de Biemme du césium radioactif rejeté dans le lac en 1999 par la centrale nucléaire de Mühleberg. L'émission radioactive était bien plus faible que celle générée lors de l'accident du réacteur de Tchernobyl en 1986 que les chercheurs ont pu également déceler. Ils découvrirent en outre également du plutonium issu d'essais d'armes nucléaires au niveau international au cours des années 1960. Dans le lac de Van en Turquie, des scientifiques ont étudié l'histoire climatique et sismique du Proche-Orient. Des carottes sédimentaires d'une longueur totale dépassant 800 mètres offrent un aperçu sur 500 000 ans d'histoire. « À partir des analyses sédimentaires, nous pouvons également tirer des conclusions sur l'impact des activités actuelles sur l'environnement ou sur le climat, ou évaluer le degré de résilience des écosystèmes face aux perturbations », indique N. Dubois.

Interdisciplinaire

Le nouveau département de recherche limnologique multidisciplinaire est créé. Des expériences sont menées avec des tuyaux géants dans les lacs de Baldegg et des Quatre-Cantons, afin d'étudier les effets des métaux lourds et de l'eutrophisation sur la chimie, la biologie et les sédiments des lacs.



Impulsions pour une gestion globale de l'eau

De l'eau propre dans les cours d'eau non structurés ou les lits de ruisseaux à sec en aval des centrales hydrauliques ? Les travaux de la recherche hydraulique menés à l'Institut de Kastanienbaum dans le cadre du Système modulaire gradué et du projet Éco-électricité ont fait naître des impulsions devenues, au fil du temps, des normes d'évaluation des eaux et de certification de l'électricité verte.

À partir du milieu des années 1980, la qualité de l'eau s'est améliorée en de nombreux endroits en Suisse. Les investissements dans l'épuration des eaux usées et les mesures préventives se sont révélés fructueux. Mais au fil du temps, il est devenu de plus en plus clair que les lacs et cours d'eau ne doivent pas être seulement protégés contre les pollutions, mais doivent être en mesure de remplir leurs différentes fonctions en tant qu'espaces vitaux pour la faune et la flore et demeurer des lieux dédiés au repos, à la production d'eau potable ou à la pêche. D'autres utilisations, à savoir l'exploitation de la force hydraulique, mais aussi la protection contre les crues, doivent être poursuivies de manière aussi durable que possible.

Objectif de protection globale

Les hydrologues de Kastanienbaum et leurs collègues de l'Eawag à Dübendorf ont donc commencé à évaluer notamment le niveau de dégradation des cours d'eaux due à leur utilisation par l'homme, à leur correction et à leurs endiguements. Au lieu d'évaluer les cours d'eau sur la seule base d'indices chimiques, ils ont développé – conjointement avec les Offices fédéraux de l'environnement et de l'économie des eaux et des services cantonaux – une méthodologie pour une évaluation uniforme de l'état des ruisseaux et des rivières. Précédemment, ils avaient déjà co-œuvré à une proposition de révision de la loi sur la protection des eaux de 1991 et défini les débits résiduels minimaux des cours d'eau à respecter.

Le concept est subdivisé en différents modules tels que l'hydrologie, l'écomorphologie, la biologie ou l'écotoxicologie. Par ailleurs, son degré d'application peut s'étendre à

une vaste superficie ou se limiter à un périmètre restreint, en fonction chaque type de cours d'eau. C'est pourquoi ce concept a été baptisé Système modulaire gradué, une méthode toujours en cours de perfectionnement et utilisée par la Confédération et les cantons dans le cadre de l'inspection et de l'évaluation des eaux de surface.

L'éco-électricité pose de nouveaux jalons

Depuis 1997, l'Eawag explore des voies toutes nouvelles dans le cadre du projet Éco-électricité. Le projet est né de la volonté de jeter les bases scientifiques d'un label écologique pour l'électricité issue de la force hydraulique et de soutenir la concrétisation d'un tel label. Certes le centre de Kastanienbaum hébergeait depuis bien plus longtemps déjà deux projets de recherche interdisciplinaires, mais cette fois-ci les sciences sociales s'y sont invitées comme partenaires à part entière aux côtés des sciences de l'ingénierie et des sciences naturelles. Outre les chercheurs, y travaillent aussi des entreprises privées, des experts des services de l'État ainsi que des représentants du secteur de l'électricité et des organisations environnementales. En plus des questions relevant de l'écologie, comme l'hydrologie et la connectivité, le concept visait également à résoudre un certain nombre de problèmes économiques, institutionnels et juridiques.

Une représentation des rôles très disparate

Bernhard Truffer, un des chefs de projet de l'époque, aujourd'hui chef du département Sciences sociales de l'environnement, déclare : « Le plus grand défi du pro-

Fuite en avant

Une analyse des EPF par l'entreprise Hayek révèle des lacunes à Kastanienbaum : selon le rapport, l'occupation de la station extérieure est sous le seuil critique. Les scénarios vont de l'abandon du laboratoire à son renforcement, en passant par le statu quo. Après le blocage des effectifs de la Confédération qui dure jusqu'en 1991, vingt postes sont créés, en partie avec des transferts depuis Dübendorf. L'incendie de l'usine Sandoz à Schweizerhalle, avec des répercussions sur le Rhin, et le soutien apporté alors par l'Eawag aux autorités ont probablement contribué à son expansion.



Les facteurs sociaux, institutionnels et politiques font aujourd'hui (ici dans le cadre d'un cours sur la gestion durable des eaux à Dübendorf) partie intégrante de la recherche sur l'eau de l'Eawag.

jet Éco-électricité a sans nul doute été de concilier la très grande disparité de perception et d'intérêts des acteurs sociaux avec les approches et les représentations des rôles tout aussi divergentes des différents scientifiques, pour aboutir à un résultat largement accepté. Et ce résultat, nous l'avons obtenu : avec greenhydro, nous avons réussi à établir une procédure qui est employée jusqu'à ce jour pour l'évaluation et la certification de la force hydraulique durable, et qui a depuis été étendue au-delà de la Suisse, à l'Allemagne, à la Grande-Bretagne, aux Pays-Bas ou encore à la Suède. L'Association pour une électricité respectueuse de l'environnement (AERE) a lancé fin 2000 le label naturmade star pour l'électricité verte.

Éco-électricité fut le premier projet transversal porté par l'Eawag ; d'autres ont suivi depuis, comme p. ex. le « projet Rhône-Thur » (p. 26). En 2001, le directeur adjoint Ueli Bundi annonçait : « Pour un succès académique à court terme, il se peut qu'il existe des chemins plus simples, mais les cher-

cheuses et chercheurs et leurs institutions devront se légitimer de plus en plus en apportant leur aide à la résolution des problématiques sociétales majeures. » Avec la création en 2008 du réseau Agenda 21 pour l'eau, cette exigence s'est trouvée renforcée (2008) et un nouveau pas a été fait vers une gestion des eaux organisée et mise en œuvre dans un cadre global et non plus sectoriel.

« Celui qui a eu le privilège d'effectuer des recherches à Kastanienbaum en repart enrichi : la collaboration interdisciplinaire des chercheuses et des chercheurs entre eux, mais aussi avec le monde de la pratique et de la politique, est unique en son genre et génère une plus-value inestimable. »

Claudia Friedl, Saint-Gall, doctorante de la division Sciences halieutiques 1996, conseillère nationale



Un travail de détective fournit de nouvelles perspectives

Avez-vous déjà entendu parler de signature isotopique ou de marquage carbone ? Les méthodes utilisées aujourd'hui au laboratoire de Kastanienbaum sont des versions modernes de l'empreinte digitale et des billets de banque colorés à l'encre invisible. Au lieu de traquer des délinquants et des filières, on suit l'évolution des changements climatiques ou des réseaux trophiques.

Imaginez que vous faites un prélèvement d'eau à l'aide d'une bouteille accrochée par une ficelle à un bateau à vapeur au milieu du lac des Quatre-Cantons. Ensuite, une experte en hydrologie vous dit si l'eau de votre prélèvement provient du col du Gothard ou du col du Brünig. Comment cela est-ce possible ? La clé de cette énigme est la signature isotopique. Il s'agit du rapport entre des atomes stables d'un même élément, mais pas tous du même poids, par exemple entre l'oxygène ^{18}O et ^{16}O . Ce rapport diffère selon la provenance de l'eau, surtout en raison des différences géologiques du bassin versant. De nos jours, les chercheurs peuvent le déterminer assez facilement dans un spectromètre de masse. Mais ce n'est pas tout : comme ces signaux isotopiques sont aussi incorporés dans la biomasse des algues et autres organismes aquatiques, il est possible de reconstruire des chaînes trophiques entières et d'autres rapports de causalité. Voici un exemple qui vient confirmer cette thèse.

Le jour où la mer a changé de direction

L'un des plus anciens phénomènes météorologiques connus est l'Oscillation Nord-Atlantique (ONA), le changement périodique de la différence de pression atmosphérique entre les Açores et l'Islande. Il détermine non seulement si les hivers en Europe sont froids et secs ou chauds et humides, mais influe également sur les courants océaniques dans l'Atlantique Nord. Au large des côtes de l'Amérique du nord et du Canada, pendant les phases positives de l'ONA, une masse d'eau en provenance du Gulf Stream, relativement chaude avec 10 degrés Celsius, salée et riche en nutriments, détermine l'océanographie. Lorsque l'ONA est dans une phase négative, le courant du Labrador en provenance des régions subpolaires est prédominant, avec des masses d'eau relativement froides (6 degrés Celsius) et plus pauvres en nutriments.

Une équipe internationale de recherche constituée autour de Carsten Schubert (p. 46) a pu désormais prouver qu'au début des années 1970 un changement radical a eu lieu à l'ouest de l'Atlantique Nord vers un « mode d'eaux chaudes ». Les chercheurs ont utilisé pour cela les signaux isotopiques de l'azote des coraux. À plusieurs centaines de mètres de profondeur, les coraux se nourrissent de particules organiques provenant des eaux de surface. Cela permet une reconstruction des conditions des courants océaniques durant les dernières décennies, car les coraux forment des anneaux de croissance, tout comme les arbres. Ce phénomène, associé au processus de réchauffement climatique planétaire, apparaît comme unique au cours des deux derniers millénaires.

« Le temps passé au Centre de recherches en limnologie à Kastanienbaum a marqué mon avenir professionnel et personnel. J'ai avant tout énormément appris dans le domaine méthodologique. Je continue à m'appuyer sur ces bases, aussi bien dans le cadre du design d'expériences de terrain que dans l'évaluation de jeux de données. Mais un élément tout aussi important a été le réseau personnel dont je profite énormément. En particulier, mon travail de recherche m'a conduit à l'époque dans la région de Kastanienbaum où je vis depuis plus de 25 ans. »

Werner Dönni, Lucerne, doctorant de la division Sciences des pêcheries 1993, gérant de l'entreprise Fischwerk, Lucerne.

Transformation et rénovation du « Seeheim »

L'Eawag peut désormais utiliser entièrement l'ancienne villa au bord du lac. Celle-ci est complètement rénovée intérieurement et extérieurement et adaptée aux besoins de la recherche. Une salle polyvalente pour les cours est réalisée au rez-de-chaussée, et dans les étages, des bureaux et des logements. Une partie du jardin est désormais rendue accessible au public.



Prélèvements au lac de Cadagno dans le canton du Tessin dans le sud de la Suisse.

C'est ce que l'équipe a réussi à confirmer avec la même méthode – non pas avec des coraux vivants, mais fossiles.

Vivre de l'oxygène des autres

Contrairement aux mers, les étendues d'eau douce – et notamment les lacs de retenue des climats chauds – contribuent de manière significative aux émissions globales de méthane. Celui-ci s'y forme suite à la décomposition de la matière organique déposée au fond.

Les systèmes lacustres stratifiés qui présentent une couche profonde dépourvue d'oxygène, c'est-à-dire anoxique, émettent cependant très peu de méthane. On pensait jusqu'ici que les processus de dégradation du méthane dans les lacs étaient les mêmes que ceux observés en milieu marin. Une étude qui vient de paraître montre qu'il n'en est rien. Au lac de Cadagno, dans le Tessin, des chercheurs de l'Eawag (CH) et de l'institut Max Planck de microbiologie marine de Brême (D) ont démontré que la zone d'anoxie était bien le

lieu d'une dégradation quasi-totale du méthane, mais qu'elle n'abritait pratiquement aucune des bactéries méthanotrophes anaérobies connues. De même, les archées, connues pour leur forte implication dans la dégradation du méthane en milieu marin, en étaient quasiment absentes. En revanche, les échantillons prélevés à 12 m de profondeur étaient très riches en protéobactéries consommatrices d'oxygène. Comment ces bactéries aérobies peuvent-elles vivre dans une eau dépourvue d'oxygène ? Pour le savoir, les biologistes se sont servis d'une autre nouvelle méthode : le marquage (en anglais « labeln ») de quelques molécules – ici le méthane – par des « atomes lourds » ^{13}C , pour montrer sa dégradation. En combinaison avec le marquage des gènes de bactéries dégradant le méthane par un colorant fluorescent, ils ont réussi à prouver par examen microscopique que les bactéries oxydatrices de méthane se trouvaient toujours à proximité de diatomées qui ont une activité photosynthétique. Il est manifeste que les bactéries utilisent l'oxygène produit par les algues.





La diatomée *Encyonema Cymbella* dans un tube de mucus. Fréquente en bordure de lacs. Le mucus secrété par les cellules empêche que le courant n'entraîne les cellules avec lui.

Des collaborateurs captivés, curieux et impliqués

Répartis sur 83 postes à temps plein, 37 femmes et 60 hommes travaillaient à l'Eawag sur le site de Kastanienbaum au début 2016, de la personne effectuant son service civil jusqu'au membre de la direction. Neuf d'entre eux livrent un petit aperçu des raisons de leur fascination pour la recherche sur l'eau dans les brefs portraits suivants.



Salome Mwaiko – la science ne tourne pas toujours rond

Biologiste et cheffe de laboratoire. 55 ans. Pays d'origine : Tanzanie. « Les expériences se déroulent parfois parfaitement durant une semaine, puis on refait exactement la même chose et plus rien ne marche. Ce défi me plaît », dit Mwaiko. Son laboratoire de génétique moléculaire étudie des questions relatives à l'écologie, à l'évolution et à la biodiversité. Non seulement elle utilise et entretient elle-même des appareils complexes, mais elle initie aussi les étudiants aux techniques. De plus, elle participe au travail de terrain et elle est coresponsable de la gestion d'immenses quantités de données et de la collection grandissante de poissons conservés devant servir de références pour des travaux de recherche ultérieurs. « Si une étude est publiée, je me réjouis autant que les chercheurs », dit Mwaiko. Bien sûr, elle motivait les scientifiques lorsque quelque chose ne marchait plus et que les données obtenues après un travail de précision délicat s'avéraient inutilisables.

L'activité intellectuelle des Lucernois

En 1965, le Directeur de l'Eawag Otto Jaag esquisse le projet d'un « Institut central hydrobiologique fédéral avec maison d'hôtes au lac des Quatre-Cantons ». Il est prévu qu'il sera exploité par l'EPF et les cantons de la Suisse centrale. Les plans d'édification d'une université à Lucerne se heurtent à un certain scepticisme de la part de Jaag : « De l'avis de certains cercles, la construction d'un institut de recherche hydrobiologique, plus urgente que celle d'une nouvelle université, suffirait largement à stimuler l'activité intellectuelle », écrit-il dans un memorandum.



Doris Hohmann – un apprentissage permanent

Laborante médicale et technicienne. 62 ans. Lieu de résidence : Horw. Avant d'entrer à l'Eawag en 1990 comme technicienne, Doris Hohmann a étudié notamment la peau à l'hôpital universitaire de Zurich. Ensuite, ce furent des algues et des petits animaux des lacs et des torrents. « À vrai dire, je n'étais pas assez qualifiée pour ce travail, mais l'équipe a cru en moi de plus en plus », se souvient-elle. Cette confiance la motiva. En cours d'emploi, elle suivit des études postgrade en sciences de l'environnement et devint experte en entomologie (science des insectes). La collaboration à la recherche lui avait déjà plu à l'hôpital. Mais être la première à savoir qu'un patient est atteint d'un cancer était très éprouvant. Il est plus facile de guérir des eaux malades, découvrit-elle en participant notamment au projet « Protection des eaux dans le bassin versant du lac des Quatre-Cantons ». Doris Hohmann tient à apprendre encore après son départ en retraite imminent : elle veut s'inscrire à l'université pour étudier la littérature allemande.

Blake Matthews – un animal en moins peut tout changer

Scientifique environnemental, biologiste. 37 ans. Lieu d'origine : Vancouver (CAN). Depuis 2008, Blake Matthews dirige le groupe de dynamique éco-évolutive à Kastanienbaum. « Nous pensons généralement que l'environnement détermine les organismes », note Matthews, « mais cela peut tout aussi bien être l'inverse. Si trois familles emménagent dans trois appartements absolument identiques, ces logements prendront déjà en quelques semaines un aspect différent. Il n'en va pas autrement dans l'environnement. La disparition d'un seul animal peut avoir des répercussions sur toute la chaîne alimentaire ou même sur le paysage. » C'est ce qu'étudient Matthews et son groupe dans la nature, au laboratoire, à l'aide de modèles sur ordinateur et aussi d'expériences dans des mésocosmes. Lorsque Matthews est né, le nouveau bâtiment du laboratoire venait d'être inauguré à Kastanienbaum : « Je suis fier de pouvoir travailler ici, dans le pays où la limnologie a été inventée », conclut-il.





Beat Müller – travailler à de véritables tâches

Chimiste. 59 ans. Lieu de résidence : Greppen. « Je n'ose pas penser aux poudres dangereuses que j'ai mélangées dans la cave étant petit », dit Beat Müller. Mais après des études en chimie, la recherche de la poudre cimentant notre monde ne fut pas aussi fascinante qu'il l'espérait et son travail dans la branche pharmaceutique était peu conciliable avec son idéal. Motivé par l'ancien directeur, Werner Stumm, il vint à l'Eawag en 1985 et il fit une thèse de doctorat sur le comportement des métaux lourds dans les sédiments. « J'ai senti qu'il y avait dans ce domaine des tâches intéressantes auxquelles il fallait s'atteler », c'est en ces termes qu'il décrit le nouvel élan qui mena au lancement de la filière Sciences de l'environnement à l'EPF de Zurich en 1987, Müller faisant office de chargé de cours et de directeur de stages. Des expéditions au lac Baïkal et sur le fleuve Yang Tsé font partie de ses expériences les plus aventureuses. Aujourd'hui, il est surtout assis derrière un ordinateur : « Hélas », déplore-t-il, « car découvrir un écosystème dehors comme les fondateurs du laboratoire, il y a 100 ans, procure une sensation toute autre qu'un modèle informatique. »

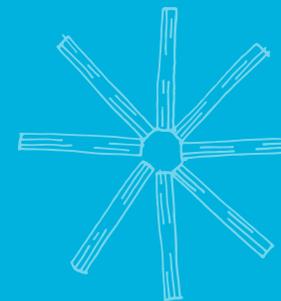
Ole Seehausen – les processus d'apparition et de disparition des espèces animales

Écologue évolutionniste. 51 ans. Lieu d'origine : Hanovre (D). Il a passé son doctorat à l'université de Leiden (NL). En 2001, il fut professeur assistant à Hull (GB). Depuis 2004, il dirige le département Écologie et évolution des poissons à Kastanienbaum et il est professeur à l'Institut d'écologie et d'évolution de l'université de Berne. Un journal en ligne l'a qualifié d'« un des naturalistes vraiment éminents ». Il réfute d'anciens points de vue : « D'une part, l'apparition des espèces ne dure pas toujours milliers d'années et, d'autre part, des échanges génétiques se produisent aussi entre des espèces qui se sont différenciées au fil de millions d'années ». Son groupe étudie le rôle de l'environnement dans ces processus, mais également l'impact des changements évolutifs sur les écosystèmes. « Le cadre professionnel à Kastanienbaum est idéal pour mener ces recherches », dit Seehausen, « car des biologistes évolutionnistes, des écologues, et des géoscientifiques y travaillent tous dans le même bâtiment ».



Transformation du hangar à bateaux

Le vieux laboratoire de 1938, que l'on n'appelle plus que le hangar à bateaux, est transformé et rénové. La peinture murale de l'artiste Marcel Nuber représentant la légende de Kastanienbaum est restaurée (p. 35).



Brigitte Germann – des poissons volants en pleine forêt

Laborantine en chimie et technicienne. 56 ans. Lieu d'origine : Lucerne. Quand Brigitte Germann débuta son apprentissage à l'Eawag en 1976, elle n'imaginait pas qu'elle y passerait pratiquement toute sa vie professionnelle. Ni un bref intermède dans une entreprise de chimie ni son dur travail de cuisinière dans un foyer pour enfants n'étaient des métiers de rêve. Elle revint ainsi en 1983 et mesura la chlorophylle, les métaux lourds et autres éléments contenus dans l'eau au sein du laboratoire de limnologie. Mais comme elle préférait respirer l'air frais plutôt que les odeurs de laboratoire et qu'elle n'allait alors qu'une fois par mois sur le lac pour prélever des échantillons, elle démissionna et postula avec succès auprès du département des sciences halieutiques. Les missions sur les cours d'eau y sont plus nombreuses. Elle montre sur la photo comment doter les poissons de petits transpondeurs afin de pouvoir suivre leurs migrations avec des antennes. Leurs pérégrinations se terminent parfois aussi dans la forêt : « Dernièrement, nous avons retrouvé des transpondeurs sous le nid d'un héron cendré », sourit Germann.



Carsten Schubert – resté à mi-chemin de l'Italie

Géologue. 49 ans. Lieu de résidence : Pohlheim (D). Carsten Schubert a consacré son doctorat aux variations climatiques dans l'arctique inhospitalier. Il voulait faire de la recherche en Italie : « La météo et la gastronomie y sont plaisantes », dit-il. Mais lors d'un séjour postdoctoral à Vancouver, il rencontra le chef du département chargé des Eaux de surface à l'Eawag, Bernhard Wehrli, et il ne put résister à la lecture d'une offre d'emploi pour un poste de chef de groupe en biogéochimie à Kastanienbaum. Il quitta ainsi les mers pour les lacs, et l'Allemagne centrale pour s'établir néanmoins un peu plus au Sud. Il est spécialisé dans le domaine du méthane et des processus par lesquels il émane des lacs, se dégrade à mesure qu'il monte ou reste prisonnier des profondeurs comme dans le lac Kivu en Afrique : « C'est fantastique de pouvoir expliquer un phénomène déjà observé dans les données 30 ans auparavant », fait-il remarquer. Récemment, il a beaucoup étudié les biomarqueurs, par exemple l'isotope de l'oxygène, le deutérium, permettant de retracer les cheminements de l'eau. En effet, « le passé est la clé de l'avenir », comme le dit un vieil adage de géologue qu'il se plaît à citer.

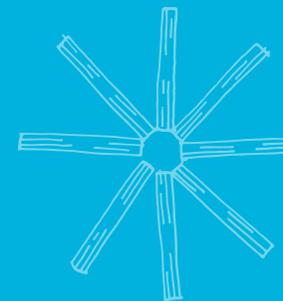
Christian Dinkel – une grue de prélèvement d'échantillons sur le canot pneumatique

Laborant en chimie et technicien. 46 ans. Lieu d'origine : Kastanienbaum. Âgé de sept ans, « Chregu » Dinkel était déjà là lorsque l'Eawag inaugura en 1977 les nouveaux laboratoires et bureaux bâtis à flanc de coteau. Il voulait y travailler un jour. Il monta une grue de prélèvement d'échantillons sur son canot pneumatique et analysa l'eau du lac recueillie chez lui, au « laboratoire ». À 14 ans, il téléphona pour savoir quelle formation suivre pour atteindre son objectif et, après avoir achevé son apprentissage de laborant en chimie, il obtint son premier engagement temporaire. En cours d'emploi, il étudia à l'école technique et se spécialisa en électronique, en métrologie et en technique de régulation. « Il n'y a guère de routine à l'Eawag. Je pouvais et devais sans cesse apprendre de nouvelles choses », dit Dinkel tout en vissant sur un treuil motorisé qui a déjà servi aussi sur le lac Tanganyika en Afrique. Pas de routine non plus pour aller au travail : quand il habitait encore à Hergiswil, Chregu se rendait à l'Eawag en traversant le lac en kayak, été comme hiver.



Summerschools au lieu de semaines hors-cadres

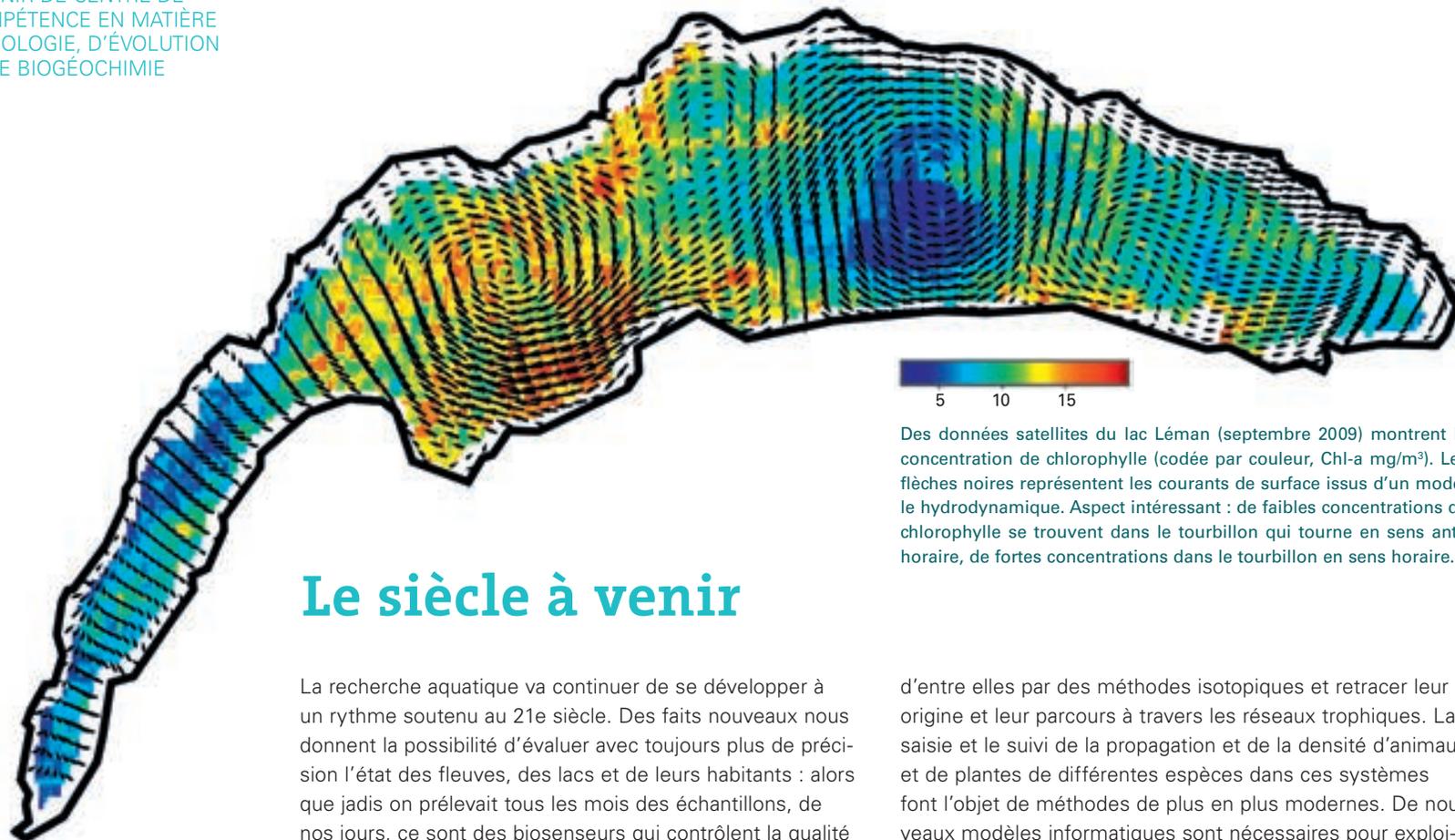
La place vient à nouveau à manquer au bord du lac avec les quelque 70 employés et invités scientifiques. La direction décide d'abandonner les semaines d'étude biologique pour les écoles secondaires supérieures, mais d'intensifier les cours estivaux pour étudiants et de transférer certains cours PEAK (cours de l'Eawag orientés sur la pratique) à Kastanienbaum. De plus, des visites guidées publiques sont régulièrement organisées.



Philine Feulner – du cerf au poisson, du mouton au poisson

Biologiste évolutionniste. 39 ans. Lieu de résidence : Wurtzbourg (D). Philine Feulner a rédigé son mémoire sur les cerfs rouges dans les Carpates à l'université allemande de Kiel. Elle étudia ensuite le patrimoine génétique des poissons-éléphants au Congo, des moutons en Angleterre et des épinoches à l'université de Münster et à l'Institut Max-Planck de Plön. Depuis un an et demi, elle habite à Lucerne et travaille à Kastanienbaum comme cheffe du groupe Génomique des poissons. Elle exerce sa fonction essentiellement au bureau, saluant de temps à autre ses fêras dans l'aquarium. Mais dès que l'occasion se présente, elle sort aussi sur le lac avec des collègues, qui connaissent chaque poisson et pas « seulement » ses structures génétiques. « C'est une chance inouïe de travailler à un endroit où il n'existe aucun fossé entre théorie et pratique », souligne-t-elle et elle se réjouit que les moyens techniques actuels permettent d'élargir les investigations d'autrefois et de vérifier les hypothèses alors émises.





Des données satellites du lac Léman (septembre 2009) montrent la concentration de chlorophylle (codée par couleur, Chl-a mg/m^3). Les flèches noires représentent les courants de surface issus d'un modèle hydrodynamique. Aspect intéressant : de faibles concentrations de chlorophylle se trouvent dans le tourbillon qui tourne en sens anti-horaire, de fortes concentrations dans le tourbillon en sens horaire.

Le siècle à venir

La recherche aquatique va continuer de se développer à un rythme soutenu au 21^e siècle. Des faits nouveaux nous donnent la possibilité d'évaluer avec toujours plus de précision l'état des fleuves, des lacs et de leurs habitants : alors que jadis on prélevait tous les mois des échantillons, de nos jours, ce sont des biosenseurs qui contrôlent la qualité de l'eau ainsi que ses mouvements en temps réel et transmettent les données 24 heures sur 24. La télédétection par satellite nous permettra d'obtenir dans un avenir proche des cartes mises à jour quotidiennement sur la croissance des algues pour toutes les grandes étendues d'eau de notre planète bleue. Il en va de même pour la température de surface, la turbidité et même pour les substances dissoutes. Grâce à la saisie de plus en plus précise de telles informations, nous obtenons un aperçu de la distribution actuelle des caractéristiques de l'eau, mais aussi de la dynamique de leur évolution.

Mieux exploiter la richesse des données

Pour mesurer le cycle des substances des écosystèmes avec encore plus de fiabilité, nous pouvons dater certaines

d'entre elles par des méthodes isotopiques et retracer leur origine et leur parcours à travers les réseaux trophiques. La saisie et le suivi de la propagation et de la densité d'animaux et de plantes de différentes espèces dans ces systèmes font l'objet de méthodes de plus en plus modernes. De nouveaux modèles informatiques sont nécessaires pour exploiter judicieusement cette richesse de données. Ainsi, il sera possible – sur la base des informations et de la comparaison de modèles et d'observations – de faire un tri des connaissances et de combiner les enseignements provenant des domaines les plus divers.

Méthodes nouvelles – réponses plus précises

Entre-temps, une révolution scientifique a assis la recherche écologique sur de nouvelles bases : des analyses de génétique moléculaire et la modélisation en biologie de l'évolution permettent aujourd'hui de retracer l'évolution des espèces et leur diversité en milieu aquatique sur des millénaires. Parallèlement, nous pouvons suivre directement les modifications à vitesse exponentielle des écosystèmes actuels. Les chercheurs peuvent comparer certains déve-

loppements du génome avec l'évolution d'influences environnementales comme la charge en nutriments, la perte et la fragmentation des habitats ou le changement climatique. Nous trouverons ainsi des réponses plus précises à la question de savoir dans quelles conditions de nouvelles espèces voient le jour et la diversité biologique augmente et quand certaines espèces perdent leurs adaptations ou même disparaissent à jamais.

Des objectifs ambitieux

Pour les décennies à venir, la population a fixé à la protection des eaux en Suisse des objectifs ambitieux : l'approvisionnement en oxygène des grands fonds lacustres doit de nouveau être assuré et la diversité des espèces qui y vivent doit être préservée. En outre, un grand nombre de tronçons de cours d'eau doivent être revitalisés, certains obstacles à la migration des poissons dans les lacs supprimés et l'énergie hydraulique doit respecter certaines contraintes écologiques. Le centre de compétence en matière d'écologie, d'évolution et de biogéochimie de l'Eawag à Kastanienbaum continuera d'accompagner ces efforts sur le plan scientifique et d'enrichir de manière productive les débats sur les

conflits d'usage des eaux. Pour sa part, le centre de recherche s'est fixé pour objectif ambitieux de mettre en relation les sciences des populations – biologie de l'évolution et écologie classique – avec les sciences des systèmes environnementaux et la limnologie physique afin de comprendre encore mieux le fonctionnement des écosystèmes et finalement de mieux protéger à l'avenir les écosystèmes et leur biodiversité. Cela fait des décennies que l'Eawag effectue à Kastanienbaum un travail de pionnier dans le domaine de la recherche interdisciplinaire sur l'eau et nous entendons bien rester dans la course.

Auteurs de cette perspective

Bernhard Wehrli : professeur de chimie aquatique à l'EPF de Zurich. Chef du groupe de chimie aquatique et membre de la direction de l'Eawag (2005–2015). **Ole Seehausen** : professeur d'écologie aquatique à l'Université de Berne, directeur du département Écologie aquatique et évolution et chef de groupe de la recherche sur la biodiversité évolutionnaire à l'Eawag. **Carsten Schubert** : géologue, directeur du département des eaux de surface et chef du groupe de biogéochimie à l'Eawag. **Alfred Wüest** : professeur de physique environnementale, directeur du Centre de limnologie et directeur du laboratoire de physique aquatique à l'EPFL. Chef du groupe de physique aquatique et membre de la direction de l'Eawag.

Des hôtes de marque politiques

Grâce aux contacts internationaux issus de la recherche, notamment des directeurs Otto Jaag et Werner Stumm, des hôtes de renom séjournent régulièrement à l'Eawag. Cependant, il arrive parfois que la politique mondiale restreigne des contacts trop étroits. C'est ainsi qu'en 1968, le Congrès international de la recherche sur les eaux et eaux usées, auquel 500 personnes s'étaient inscrites, doit être annulé, l'hôtel du congrès de St. Moritz refusant catégoriquement de recevoir des représentants des États-Unis, dont les troupes ont participé un mois auparavant à l'invasion de la Tchécoslovaquie. Par ailleurs, on redoutait des manifestations. En 1992, Stumm demande l'annulation d'une visite en provenance de la Chine. « Notre directeur n'est pas disposé à recevoir un représentant officiel du gouvernement chinois actuel dans notre institut. Je regrette que la situation politique actuelle nuise à la communication scientifique », écrit le porte-parole de la Direction à ce propos. En revanche, Nikolay Vorontsov, le ministre russe de l'environnement, se rend en 1989 à Kastanienbaum. À l'issue de cette visite, il signe même avec le Conseiller Fédéral Flavio Cotti un accord de coopération dans le domaine de la protection de l'environnement – cet accord est à l'origine de projets toujours en cours sur les bords du lac Baïkal.

Mise en service des mésocosmes

Les essais ou simulations en laboratoire ne se laissent pas transposer à 100 % sur le lac. Toutefois, les expérimentations dans le lac sont difficilement contrôlables et reproductibles. C'est pourquoi les questions d'écosystèmes sont étudiées dans des mésocosmes.

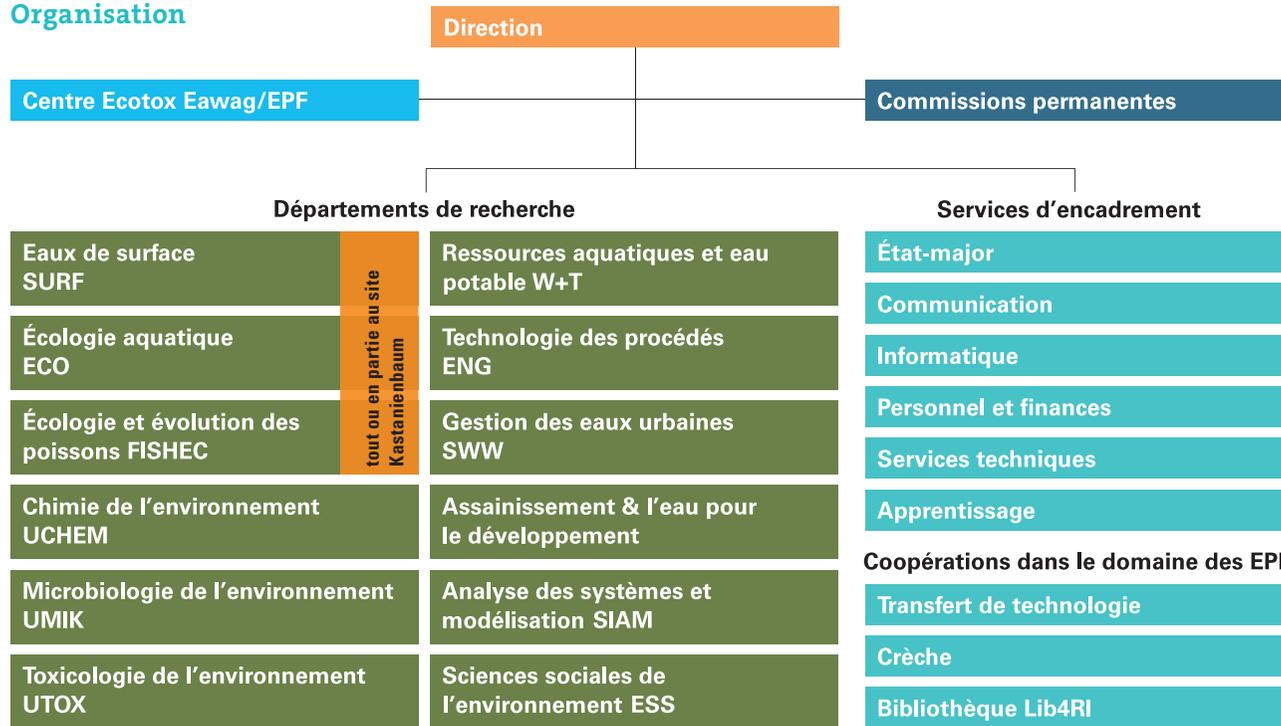
Les « seaux » bleus et noirs au-dessus du laboratoire continuent la tradition des expériences avec les courants et en aquarium. Pour cause de protection du paysage, ces récipients plastiques doivent être enlevés lorsqu'aucune expérience n'est menée.





Stade nauplius d'un copépode (probablement de type Cyclops). Dès l'éclosion des œufs, les copépodes passent par 6 stades nauplius suivis de 5 stades copépodites avant d'atteindre la maturité sexuelle.

Organisation



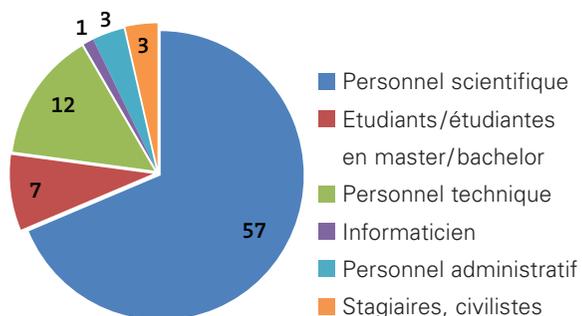
Rénovation complète du bâtiment en terrasse

Le bâtiment de 1977 est complètement rénové. Notamment, un système de ventilation et de refroidissement avec

l'eau du lac assure une réduction considérable de la consommation énergétique.

De plus, une sobre annexe en bois vient remplacer les pavillons provisoires baptisés les « Castagnetas » à côté du laboratoire.

Collaborateurs à Kastanienbaum



83 au total, dont 20 scientifiques invités et 2 civilistes

Intégration de l'Eawag dans le domaine des EPF



Editeur

Eawag: L'Institut de Recherche
de l'Eau du Domaine des EPF

Conception, textes, rédaction

Andri Bryner
Andres Jordi (S. 30, 36)

Traduction

Zieltext
Übersetzungen & Kommunikation
8702 Zollikon

Graphisme

Sandra Schwab, s-at.ch
3011 Bern

Imprimerie

Medienhaus Mattenbach
8411 Winterthur

Copyright

© Eawag, Dübendorf/Kastanienbaum
Mai 2016

Références des images

Eawag Archiv: 4, 6, 7, 7r, 10, 11r, 13r, 15, 16, 18, 19r, 20, 21, 23, 25r, 26, 29r, 30, 33r, 35r, 37r, 39r, 41r, 45r, 47r / Peter Bossard: 32 / Andri Bryner: 5, 25, 29, 35, 44o, 46o, 47 / Philipp Dubs: 36 / Rudolf Müller: 8, 9 / Peter Penicka: 46u / Armin Peter: 27or / Raoul Schaffner: 39, 45u / Aldo Todaro: 3, 43, 44u, 45o / Ole Seehausen: 24 (r=à droite, l=à gauche, o=au-dessus, u=au-dessous)

Jenny Held (Eawag), Alexander Smirnow (ETH/UZH): 12, 51

Perdo Galliker, photos prises au microscope: 1, 14

Georg Gerster: 17o / Bundesarchiv: 17r / Andreas Hartl: 31 / NGL: 2 / Max Planck Institut, Bremen, Jana Milucka: 41 / SNF: 19, 37 / Tiefbauamt Graubünden: 27ol / Umwelt und Energie, Kanton Luzern: 33 / VAW/Eawag: 28

Sources sélectionnées

- Jahrbücher der NGL und Jahresberichte der Eawag
- Die Geschichte des Hydrobiologischen Laboratoriums in Kastanienbaum, Heinrich Wolff, Luzern. Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie, Vol. 28. 1966
- Ein zentrales schweizerisches limnologisches Institut am Vierwaldstättersee; Memorandum von Otto Jaag, 1965
- Pressedokumentation zur Projektierung (1973) und Einweihung des Neubaus (1977)
- Ein Blick zurück; das Eawag-Forschungszentrum für Limnologie (FLZ) in Kastanienbaum. Ruedi Müller. 1997
- Beitrag zur Geschichte der Gewässerforschung in der Schweiz, Peter Perret (letzter Präsident der Hydrobiologischen Kommission der SANW). 2001

Notes infrapaginales

¹ Beschreibung des berühmten Lucerner oder 4. Waldstaetten Sees und dessen fürtrefflichen Qualiteten und sonderbaaren Eygschafften (Johann Leopold Cysat, Luzern; David Hautt; 1661)

² Le Léman (Genf, 1882–1904; 3 Bände)

³ Beiträge zur Toxikologie der Fische; P. Steinmann, G. Surbeck, Zeitschrift für Hydrologie, 1920

⁴ H. Wolff, «Prof. Dr. Hans Bachmann (1866–1940)», in Verh. SNG, 1940, 404–412, (mit Porträt und Schriftenverz.)

⁵ Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung

⁶ Edité selon H.R. Bürgi: «Abschied von Heinz Ambühl» in den Mitteilungen der Schweizerischen Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie/SGHL (Dez. 1970)

⁷ VAW: Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich

⁸ LCH: Laboratoire de constructions hydrauliques an der EPF Lausanne

1998 ... Ulmann, P. – The importance of habitat diversity and connectivity for fishes in the Toess River with special emphasis on temporarily isolated pools, **1998** ... Zika, U. – Factors affecting settlement and post-settlement processes in littoral marine fishes, focusing on *Aidablennius sphynx*, **1999** ... Zollhöfer, J. – Spring biotopes in Northern Switzerland Habitat heterogeneity, zoobenthic communities and colonization dynamics, **1999** ... Enz, C. A. – Population dynamics of whitefish (*Coregonus suidteri* Fatio) in artificially oxygenated Lake Hallwil, with special emphasis on larval mortality and sustainable management, **2000** ... Jonas, T. – Convective Mixing Processes in Natural Waters, **2001** ... Steingruber, S. M. – Nutrient Transformations in a Wetland Pond, **2001** ... Bott, M. – Iron sulfides in Baldeggersee during the last 8000 years formation processes, chemical speciation and mineralogical constraints from EXAFS spectroscopy, **2002** ... Buesing, N. – Microbial productivity and organic matter flow in a littoral reed stand, **2002** ... Fabian, D. – Sedimentation and remobilisation of metals in Baldeggersee: from early diagenesis to paleo-indicators, **2002** ... Bouille, R. – La truite commune (*Salmo trutta* L.) dans la région du lac de Neuchâtel; Biologie et perspectives de gestion, **2003** ... Markard, J. – Liberalisierung des Elektrizitätsmarktes und ökologische Innovationen, **2003** ... Bratrich, C. – Planung, Bewertung und Entscheidungsprozesse im Fließgewässer Management : Kennzeichen erfolgreicher Revitalisierungsprojekte, **2004** ... Kobler, B. – Effects of treated wastewater on trout: a case study of a Swiss river, **2004** ... Sahan, E. – Interrelations of methanogens and sulfate-reducing bacteria in sediments of through-flow and stratified lakes, **2004** ... Fette, M. – Tracer studies of river-groundwater interaction under hydropeaking conditions, **2005** ... Teodoru, C. R. – Nutrient retention capacity of the Danube-Black Sea system, **2005** ... Dang, C. K. – Rôle fonctionnel de la biodiversité : hyphomycètes aquatiques et décomposition des litières dans les cours d'eau, **2006** ... Finger, D. – Effects of hydropower operation and oligotrophication on internal processes in Lake Brienz, **2006** ... Matzinger, A. D. – Is anthropogenic nutrient input jeopardizing unique Lake Ohrid? - Mass flux analysis and management consequences, **2006** ... Obst, M. – Mechanisms of calcite precipitation by picocyanobacteria, **2006** ... Reinhardt, M. – Phosphorus and nitrogen retention in small constructed wetlands treating non-point source pollution, **2006** ... Schindler, M. – Effects of litter diversity, leaf quality and water chemistry on litter decomposition in streams, **2006** ... Tiegs, S. D. – Landscape-scale controls of litter decomposition in streams, **2006** ... Weber, C. – River rehabilitation and fish: The challenge of initiating ecological recovery, **2006** ... Brand, A. – The influence of bottom boundary turbulence on sediment solute dynamics, **2007** ... Filippini, M. – Structure and Dynamics of Viral Communities in Aquatic Ecosystems, **2007** ... Klausner, L. – Distribution of amino sugars in a lacustrine and a marine anoxic environment, **2007** ... Märki, M. – Biogeochemical processes in surface sediments of lakes : a microscale approach, **2007** ... Diem, T. – Methane dynamics in oxic and anoxic aquatic systems, **2008** ... Flury, S. – Carbon fluxes in a freshwater wetland under simulated global change: litter decomposition, microbes and methane emission, **2008** ... Hammrich, A. – Effects of warming and nitrogen enrichment on carbon turnover in a littoral wetland, **2008** ... Pierotti, M. E. R. – Origin, maintenance and evolutionary consequences of male mating preference variation in East African cichlid fishes, **2008** ... van der Sluijs, I. – Divergent mating preferences and nuptial coloration in sibling species of cichlid fish, **2008** ... Magalhaes, I. S. – The roles of divergent selection and environmental heterogeneity in speciation of Lake Victoria cichlid fish, **2009** ... Pasche, N. – Nutrient cycling and methane production in Lake Kivu, **2009** ... Stelkens, R. B. – The role of hybridization in adaptive evolution, **2009** ... Vonlanthen, P. – On speciation and its reversal in adaptive radiations. The central European whitefish system, **2009** ... Lorrai, C. – Estimating benthic boundary layer oxygen dynamics in lakes, **2010** ... Del Sontro, T. S. – Quantifying methane emissions from reservoirs: From basin-scale to discrete analyses with a focus on ebullition dynamics, **2011** ... Hudson, A. G. – Population genomics and ecology of parallel adaptive radiations: the Alpine lake whitefish, **2011** ... Kunz, M. J. – Effect of large dams in the Zambezi River Basin: Changes in sediment, carbon and nutrient fluxes, **2011** ... Schweizer, M. – The evolutionary diversification and biogeography of parrots (Aves: Psittaciformes) : an integrative approach, **2011** ... Bonalumi, M. – Effect of pumped-storage operations on temperature, turbidity and sedimentation in reservoirs and possible mitigation measures, **2012** ... Carstens, D. – Degradation and transformation of lacustrine organic nitrogen compounds, **2012** ... Naeher, S. – Sedimentary lipid biomarkers and trace metals as indicators for past hypoxia and eutrophication, **2012** ... Lucek, K. – From invasion to diversification - studying the speciation continuum in stickleback, **2013** ... Lundsgaard-Hansen, B. – Ecological drivers and ecosystem consequences of adaptive radiation, **2013** ... Person, E. – Impact of hydropeaking on fish and their habitat, **2013** ... Sommer, T. – Double diffusion in lake Kivu, **2013** ... Kirf, M.K. – Chemical eyes - visualization and interpretation of chemical gradients in stratified water bodies, **2014** ... Randlett, M. E. – Lipid biomarkers as paleolimnological indicators in a 600 kyrs sediment record from Lake Van, **2014** ... Ross, K. A. – The effect of subaquatic volcanism on the structure of Lake Kivu in the Albertine Rift; East Africa, **2014** ... Selz, O. M. – Experimental tests of the role of hybridization in adaptive radiations, **2014** ... Weibel, D. – On the importance of longitudinal river connectivity for fishes, **2014** ... Birtel, J. – Effects of Environmental Change on Bacterial Diversity in Aquatic Meta-Ecosystems, **2015** ... Sollberger, S. C. – Methane emissions from an anthropogenically modified freshwater continuum, **2015** ... Torres, N. – Applications of a portable capillary electrophoresis instrument in environmental science, **2015** ... Marques, D.A. – Population Genomics of Adaptive Radiation: a Threespine Stickleback Perspective, **2016** ... Meier, J. – Hybridization and adaptive radiation: Genomic insights from Lake Victoria cichlid fishes, **2016** ... Oswald, K. – Methane oxidation in suboxic and anoxic zones of freshwater lakes, **2016** ...

NGL
Naturforschende
Gesellschaft Luzern
www.ngl.ch

Eawag
Seestrasse 79
6047 Kastanienbaum
Suisse
+41 58 765 21 11

Eawag
Überlandstrasse 133
8600 Dübendorf
Suisse
+41 58 765 55 11

www.eawag.ch
info@eawag.ch