

INRA



VOTRE AVENIR EST NOTRE CULTURE

70 ans

Station d'Hydrobiologie Lacustre (INRA) de Thonon-les-Bains:

70 ans de connaissances scientifiques en limnologie

ANALYSER



PRÉLEVER



COMPRENDRE



AGIR





Station d'Hydrobiologie Lacustre (INRA) de Thonon-les-Bains:

70 ans de connaissances scientifiques en limnologie

Coordination de l'événementiel : RUFFIER Séverine

Coordination scientifique : GUILLARD Jean & MONTUELLE Bernard

Coordination technique, édition : DA COSTA Julie

Crédits photos : Copyright © INRA sauf indication contraire

N° ISBN : 2-7380-1402-X

Code EAN : 978 273 801 4023

Ce livret a été édité à l'occasion des 70 ans de l'INRA et de la soirée « ApéroScience » organisée le 16 décembre 2016 à Thonon.



Nous avons choisi d'illustrer la soirée autour des 70 ans de l'INRA et cet ouvrage par des dessins d'un dessinateur local, Félix Meynet, dont les personnages sont, au même titre que la SHL, ancrés dans le territoire.

La Station d'Hydrobiologie Lacustre (SHL) de Thonon-les-Bains n'aurait pas pu réaliser ce document et cet évènement célébrant les 70 ans de l'INRA sans des contributions multiples et indirectes, mais indispensables à notre travail. Nous souhaitons particulièrement remercier :

- les personnels INRA, techniciens, ingénieurs ou chercheurs, présents ou retraités ou ayant changé d'affectation, qui par leur travail ont contribué aux suivis lacustres, à la création de notre base de connaissance en limnologie, ainsi qu'à la reconnaissance désormais internationale du laboratoire;

- les différents responsables et agents de l'Institut National de Recherche Agronomique, du Département EFPA et des Centres régionaux Auvergne Rhône Alpes et Bourgogne, pour leurs soutiens à nos actions de recherche et à notre laboratoire;

- les partenaires, gestionnaires des lacs (CIPEL, SILA, CISALB, Asters et CCLA), pour leur contribution technique et financière essentielle à la réalisation de ces suivis longue durée, ainsi que l'ensemble des partenaires scientifiques qui a contribué aux travaux de la SHL;

- la Mairie de Thonon, qui a mis gracieusement à notre disposition la Salle des Ursules, pour cet « ApéroScience » du 16 décembre 2016.

Bernard Montuelle

Jean Guillard

Note : dans le corps du texte, chaque mot marqué d'un astérisque possède sa définition en glossaire, situé en fin de livret.

La plupart des définitions est issue de: « Dictionnaire Environnement »
<http://www.actu-environnement.com>

REMERCIEMENTS



INTRODUCTION

PRELEVER

N° fiche

Les moyens techniques aux lacs : bateaux et matériels embarqués

1

Comment prélever l'eau pour les analyses physico-chimiques?

2

Comment échantillonner le plancton lacustre ?

3

Les populations de poissons, comment les échantillonner?

4

Les affluents du Léman: suivi et caractérisation

5

Archives sédimentaires

6

ANALYSER

Caractériser la qualité physico-chimique des eaux

7

De la microscopie au séquençage : évaluation de la diversité microbienne

8

La diversité cachée des algues révélée par l'ADN environnemental

9

La biodiversité du zooplancton

10

Ce que nous apprennent les tissus des poissons

11

Le paysage des bassins versants : leur incidence sur les lacs

12



COMPRENDRE

L'évolution temporelle de la qualité physico-chimique des lacs	13
L'omble chevalier : une espèce emblématique menacée?	14
Les réseaux trophiques : de la chaîne alimentaire linéaire aux réseaux complexes	15
Quand il y a trop de phytoplancton...	16
Le retour du corégone	17
Le transfert et l'impact de contaminants	18
Le bassin versant : une composante essentielle de l'environnement lacustre	19

AGIR

L'Observatoire des LAcS (OLA) : une action sur le long terme	20
Le repeuplement pour soutenir les populations de poissons : intérêt et limites	21
Le barcoding des diatomées: la bioindication du futur	22
Scientifiques et gestionnaires : un travail coordonné	23
Transmettre, c'est agir	24
Les recherches participatives : une démarche scientifique originale et ouverte	25

Retour vers le futur

Depuis Einstein, nous savons qu'un voyageur parti vers les confins de l'Univers à une vitesse proche de celle de la lumière pour un voyage de 2 ans, reviendrait sur terre... disons 70 ans après. Alors, imaginons qu'en 1946, date de naissance de l'INRA, un spécialiste des lacs (autrement dit un « limnologue »), ait été envoyé depuis le Chablais en mission spatio-temporelle et que son retour vers le futur le plonge, sans transition, dans une réunion du laboratoire à l'INRA de Thonon en 2016... Imaginons sa surprise face aux sujets abordés, aux questions de recherche, aux moyens techniques disponibles et puis aussi face à la manière de faire de la recherche, aux sources de financements possibles et à la diversité des tâches et des métiers de la recherche.

Sa toute première réaction serait probablement de se féliciter que le Léman, mais aussi les autres grands lacs alpins et les petits lacs de montagne, soient restés des objets d'étude convoités, tous considérés comme assez pertinents et importants pour que l'INRA ait créé une vraie station de recherche, la

Station d'Hydrobiologie Lacustre (SHL) au début des années 1960. Avec, en 2016, une vingtaine de scientifiques, dont de nombreux doctorants, un lien fort avec l'Université de Savoie Mont Blanc, et un important service de soutien technique et administratif, la SHL est le seul centre de recherche français entièrement dédié aux lacs. Notre visiteur se dirait aussi que décidément la science des lacs a bien changé : elle a pris de l'ampleur théorique et opérationnelle, traite de questions qui n'existaient pas en 1946 et dispose d'outils d'étude incroyablement puissants (sondes multiparamètres* décrivant toute la colonne d'eau, décryptage moléculaire de la diversité, données satellites, sondeurs explorant les profondeurs, etc.). Pour comprendre le fonctionnement du lac, les limnologues sortent du plan d'eau : ils regardent désormais au-delà du rivage, s'intéressant non seulement au littoral (habitat très important sur un plan écologique), mais aussi à son bassin versant* et même à ses usages et usagers.

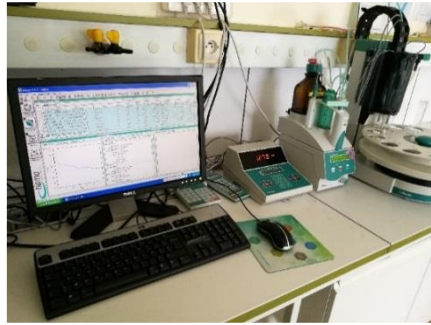
Une telle ouverture rompt largement avec la conception principalement disciplinaire qui prévalait en 1946 : ce qui est désormais recherché c'est « l'interdisciplinarité », la complémentarité et la synergie entre des sciences différentes (biologiques, physiques, chimiques et humaines), dans le but de mieux comprendre et mieux gérer les lacs dans leurs environnements biophysiques et humains.

Non, les chercheurs ne délaissent pas leurs microscopes et les possibilités d'explorer toujours plus finement les phénomènes ou d'expérimenter, mais ils organisent, en parallèle, la production de vues d'ensemble synthétiques qui reconstituent la complexité des systèmes lacustres. Les outils de cette synthèse sont les « modèles » mathématiques qui jouent le rôle de « macroscopes* ».

Pour que notre voyageur comprenne bien les évolutions de cette discipline, il faudrait lui expliquer que la limnologie qui prévalait à son époque, centrée sur la description des lacs et de leurs contenus biologiques, a progressivement cédé la place à une limnologie devenue « systémique* ». Cette limnologie s'intéresse aux fonctionnements des lacs d'une façon plus globale, tout en incluant un décryptage approfondi d'un facteur clé

des fonctionnements écologiques : la biodiversité. En témoigne le développement des études menées, notamment à la SHL, sur la productivité des lacs (planctonique, microbienne, piscicole), sur les processus biologiques et chimiques à l'œuvre dans les réseaux trophiques*, sur le rôle des mouvements d'eau (brassages et oxygénation), sur les interactions entre organismes (compétition, prédation, parasitisme, etc.), sur le rôle des apports du bassin versant dans les flux géochimiques, sans oublier les grandes régulations de la complexité (par exemple, comment les poissons peuvent ils contrôler la qualité de l'eau, alors qu'eux même sont contrôlés par celle-ci ?). C'est en particulier dans ce cadre que s'inscrit l'effort mené depuis une vingtaine d'années pour mieux décrypter la biodiversité et son rôle, y compris dans sa partie la plus abondante et secrète (les milliards de microorganismes par litre d'eau, sa « matière noire », celle des champignons microscopiques, des bactéries et des virus aquatiques). Une telle exploration s'appuie sur des outils nouveaux et révolutionnaires qui surpassent largement les microscopes (mais sans les remplacer pour autant).





Les appareils ont fortement évolué en 70 ans : automatisation, pilotage et saisie de résultats informatisés

Et paradoxalement, voyez-vous cher visiteur, la connaissance du fonctionnement des lacs doit beaucoup aux pollutions qui les ont affectées et aux actions qui ont été conduites pour lutter contre celles-ci. En effet, les pollutions sont des situations peu souhaitables mais qui ouvrent l'opportunité, à partir de l'analyse des réponses du système lacustre à ces divers types d'agression ou de remédiation, de révéler certains aspects du fonctionnement écologique des lacs. En quelque sorte, ces situations permettent d'observer des situations quasi expérimentales et sont l'équivalent, en médecine, d'une pathologie humaine et d'un suivi clinique de son traitement. Par ailleurs, nombre de ces perturbations lacustres provenant des flux produits sur le bassin

versant et transférés via les affluents, le diagnostic porté doit inclure une étude de l'hydrologie*, ainsi que des pressions exercées par le mode de l'occupation des sols et des produits utilisés. Malheureusement, il y a parfois un fossé entre révéler, diagnostiquer et... guérir, comme l'a montré le fameux épisode de l'eutrophisation de nos lacs et les 40 années écoulées entre l'alarme (autour des années 1970, par des pêcheurs, des scientifiques, des ONG et des élus), l'action publique et la rémission actuelle (due aux investissements publics pour l'épuration des eaux usées dans tout le bassin, y compris ses parties les plus amonts). Sans ces actions, nos lacs auraient la couleur de la soupe de cresson et l'odeur d'une mare croupissante.

En fait, à la réflexion, il était difficile pour quiconque dans les années 50, riverain, décideur et même peut être scientifique comme notre visiteur, d'imaginer qu'un lac aussi grand que le Léman, si profond, dans un cadre de montagne si naturel, allait être aussi profondément menacé par plusieurs vagues successives de pollutions menaçant ses usages et sa réputation. Pourtant, les analyses faites récemment sur les sédiments lacustres, véritables archives du lac, nous indiquent que les premiers signes de perturbations étaient déjà bien présent dès cette époque, mais insuffisamment perçus et compris. L'idéal, pour convaincre notre voyageur temporel, serait certainement de lui présenter, à partir des données de l'Observatoire des Lacs (OLA), une rétrospective chronologique de ces pollutions : contamination microbienne fécale, eutrophisation, contamination par le mercure, problème de PCB*, etc. Parallèlement, il faudrait lui présenter les conditions socio-techniques qui en ont permis la maîtrise et les bénéfices (y compris économiques) réalisés actuellement, grâce à un lac revenu à un état écologique satisfaisant. Cet état lui permet d'assurer des usages, des

services aussi variés que le tourisme, la pêche, la baignade, la fourniture en eau potable peu traitée à presque un million de personnes, sans compter la fourniture au Rhône aval d'une eau de bonne qualité. Cette histoire moderne du Léman faite de pollutions et d'actions de restauration est assez représentative de ce qui est arrivé à presque tous les grands lacs de la planète situés dans des zones développées. Il ne s'agit pas d'une longue histoire tranquille et, malgré les succès obtenus dans les grands lacs Alpains, elle n'est pas terminée pour autant: la plupart de nos systèmes lacustres sont en convalescence, affaiblis peut être par l'érosion de leur biodiversité, la dégradation de leurs habitats, la rétention de stocks de polluants pas totalement inactivés, et ils vont devoir faire face à de nouvelles agressions. Notre objectif est de les anticiper en prenant en compte notamment l'inquiétude sur le changement climatique et l'écotoxicité de micropolluants émergents (pesticides, résidus de médicaments, nano-particules et des centaines de molécules nouvelles mis à disposition de tous chaque année, en dépit du principe de précaution).



Nous espérons que la lecture de ce livret du 70^{ème} anniversaire de notre Institut permettra à notre limnologue voyageur de se familiariser, non seulement avec les thématiques scientifiques qui viennent d'être évoquées, mais aussi avec les grands progrès techniques et les nouveaux concepts qui les ont portés. Il ne faut pas sous-estimer l'importance discrète, et pas toujours bien comprise, du progrès des idées scientifiques: «Ecosystème », « biodiversité », par exemple, ne sont pas juste des mots nouveaux pour « relooker » un discours; ils traduisent un mouvement de fond qui révisé notre compréhension de l'organisation du vivant à différentes échelles.

Evidemment ces évolutions se sont accompagnées d'avancées et de bonds technologiques considérables en chimie et en biologie. L'analyse génétique basée sur l'ADN est largement appliquée, par la SHL, à l'étude du plancton et des microorganismes. Elle permet, avec un niveau de finesse incroyablement plus détaillé que le traditionnel microscope, de différencier les formes de plancton ou de microorganismes entre eux, d'en tracer les filiations, de décrire leurs organisations en communautés, leurs transferts dans les chaînes alimentaires (on est capable par exemple de décrire les contenus incroyablement diversifiés des bords alimentaires du zooplancton).



En 1946, la notion de bon état écologique n'existait pas. Aujourd'hui cette notion est à la base de l'évaluation de la qualité des milieux aquatiques et il est inconcevable de ne pas considérer son environnement terrestre

Les capteurs électroniques, autre exemple, permettent des suivis en continu sur des paramètres non mesurés il y a 70 ans. Enfin, l'informatique permet de créer des bases de données et de connaissances partagés, mises en réseau à l'échelle de la planète et disponibles pour tous sur un simple clic... !

Oui, décidément un voyageur revenant après 70 ans d'absence, ne serait pas au bout de ses surprises ! Se reconnaîtrait-il même dans le métier de chercheur tel qu'il est exercé actuellement, au cœur de toutes ces avancées mais aussi sous contraintes de celles-ci. Il nous faudrait un peu plus de recul pour en parler sans passion : peut-être partir en voyage?



Evolution des représentations spatiales : de la représentation de proximité (Evian-les-Bains) à la vision globale par satellite (Léman).

Source : *haut*, Detroit Publishing Company, 1890-1900,

WIKIPEDIA;

bas, Google Earth



Ce qu'il faut retenir

Les connaissances scientifiques ne résultent pas d'une simple somme de découvertes isolées : elles sont issues d'une accumulation progressive de connaissances, et sont replacées dans des théories plus globales qui permettent de généraliser des lois, d'extraire des tendances. En écologie lacustre, la recherche fondamentale et appliquée (aide à la gestion) sont intimement liées. De ces actions conjointes, une certitude est apparue : en écologie, il n'y a pas de retour à des situations antérieures et « le bon vieux temps » n'est pas nécessairement synonyme de lacs « purs ». Face à nos écosystèmes dégradés, l'exemple de lacs alpins est porteur d'espoir : en se donnant les moyens, il est possible de sauver, au moins partiellement, notre bien commun.

De la Station d'Hydrobiologie Lacustre à l'UMR CARTELL, plus de 50 ans de Limnologie à Thonon



La Station d'Hydrobiologie Lacustre (SHL) de Thonon-les-Bains est le fruit d'une longue histoire et d'une évolution permanente. Son origine remonte à 1860 avec la création d'une pisciculture domaniale, située au port de Rives. Celle-ci, créée et gérée par l'Administration des Ponts et Chaussées, puis des Eaux et Forêts, a progressivement développé des recherches piscicoles pour s'élargir en 1919 en Laboratoire de Recherche Hydrobiologique. Un des objectifs de ce laboratoire était déjà de fournir des éléments de connaissance scientifique pour restaurer la situation piscicole de ce lac totalement dégradé par quatre

années de braconnage lors de la première guerre mondiale. Les connaissances en limnologie*, développées pendant la même période à Genève par F-A Forel (1841-1912) ont contribué au développement de ce laboratoire. Après la seconde guerre mondiale et la création de l'INRA en 1946, le laboratoire est devenu une Station d'Hydrobiologie Appliquée, dédiée aux lacs et coordonnée avec 4 autres sites en France consacrés aux étangs et poissons migrateurs. En 1968, pour assurer le développement des recherches, l'INRA a racheté, puis aménagé un domaine à Corzent, lieu actuel de la SHL.



Le port actuel



La pisciculture est un des éléments principaux d'expérimentation de la SHL. C'est la seule pisciculture expérimentale d'eau froide en France

Actuellement organisée en Unité Mixte de Recherche (UMR), en association avec l'Université de Savoie Mont Blanc, la SHL regroupe 25 permanents, scientifiques et techniciens. Ses missions relèvent de l'écologie* lacustre et visent à acquérir des connaissances sur le fonctionnement des grands lacs naturels alpins, mais aussi depuis récemment des lacs d'altitudes, à élaborer des indicateurs d'état et d'évolution des milieux aquatiques et à développer des méthodes d'aide à la gestion des ressources piscicoles.

Ces travaux se placent dans le contexte global du changement environnemental (climat et pressions anthropiques). Ils portent sur les caractéristiques écologiques des organismes aquatiques

l'impact des activités humaines, en particulier agricoles, les communautés biologiques, les facteurs de production, la dynamique des stocks et le fonctionnement des populations de poissons d'intérêt halieutique* ou patrimonial.

Ce sont les missions de cette station qui sont racontées dans cet ouvrage, à travers 25 articles qui illustrent nos travaux et les avancées scientifiques associées. Depuis 70 ans après sa création, l'INRA a su conserver, développer les recherches autour des lacs, contribuant ainsi de façon majeure à une meilleure connaissance et protection de ces écosystèmes uniques que sont nos grands lacs périalpins.

Ce qu'il faut retenir

Depuis plus de 150 ans, les services des Eaux et Forêts, puis de l'INRA, ont contribué au développement de la limnologie* et sont venus en appui aux politiques publiques ayant permis la restauration des grands lacs alpins. Les compétences scientifiques accumulées ont permis une reconnaissance internationale de la SHL de Thonon-les-Bains.

Personnel de la SHL en 2014



PRELEVER



Les moyens techniques aux lacs : bateaux et matériels embarqués

Analyser la qualité écologique des lacs, c'est-à-dire la composition physico-chimique des eaux, la diversité des communautés biologiques (des micro-organismes aux poissons) et suivre leurs évolutions, nécessitent des équipes techniques spécialisées, des moyens adaptés et des outils de prélèvements et de mesures, mécaniques et électroniques, similaires à ceux utilisés en recherche océanographique. Seule la taille des embarcations change ! Celles de la SHL ont des caractéristiques qui varient en fonction de leur usage principal, c'est à dire selon le type d'échantillonnage ciblé : prélèvements d'eau et de plancton, prélèvements de sédiments, de biofilms*, poses de filets de pêches, chalutage*, hydroacoustique, etc. Toutes ces embarcations contiennent les éléments nécessaires à la sécurité : gilets de sauvetage, corne de brume*, ancre, fusées de détresse et bouées. L'embarcation qui réalise les suivis sur le Léman, plus grand lac d'Europe occidentale, est en plus équipée d'un radeau de sauvetage, nécessaire vu les conditions de navigation et la taille du lac.

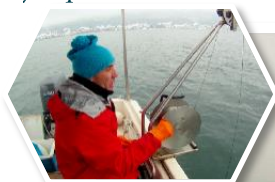


APPELLATION	KREITMAN II	ICTHYO I	ESOX	TARGET	DAPHNIE
Année	1973	1986	1995	2005	2014
Longueur- Largeur (m)	8.53 - 3.05	6.40 - 2.20	6.50 - 1.80	4.50 - 1.66	6.10 - 2.32
Type de coque	Résine Polyester	Résine Polyester	Résine Polyester	Aluminium	Aluminium
Equipage Maximum	10 personnes	6 personnes	4 personnes	4 personnes	6 personnes
Cabine fermée	OUI	OUI	NON	NON	OUI
Matériel	Sondeur Radar GPS Treuil	Sondeur GPS Treuil		Sondeur GPS	Sondeur GPS
Spécificité d'utilisation	Prélèvements lacustres physico-chimie et biologie	Hydroacoustique des poissons- Chalutage - Divers	Pêches aux filets et nasses	Pêche aux engins - acoustique	Prélèvements lacustres physico- chimie et biologie ; Pêche

Dans le cadre du suivi de la qualité des eaux, le site de référence pour chaque lac est son point le plus profond : Léman, 309 m, lacs d'Annecy, 65 m, du Bourget, 165 m et d'Aiguebelette, 71m. Par le passé, le nombre de points de référence était plus important, mais les contraintes logistiques, financières et humaines ont réduit ce nombre à un unique point. Le positionnement du bateau sur le site est réalisé non plus à l'aide d'amers*, mais à l'aide d'un GPS complété par un sondeur de bord. Certains outils mécaniques embarqués sont restés inchangés depuis le début des suivis dans les années 1960 : bouteilles de prélèvement de type Niskin, filets à plancton, disque de Secchi*, etc. Par contre, les treuils ont été motorisés pour des raisons évidentes d'efficacité : descendre manuellement les engins de prélèvement jusqu'au fond du Léman

demandait patience, constance et puissance musculaire ! Ils comportent un compteur qui permet d'évaluer la profondeur de mise en œuvre. Une sonde de pression est désormais couplée afin de vérifier ce paramètre et ainsi compenser, lors des analyses ultérieures, la dérive des engins (les courants peuvent entraîner le câble qui n'est alors plus à la verticale). En toutes saisons, les équipes techniques spécialisées dans les prélèvements, embarquent sur les bateaux de la SHL et sur ceux mis à disposition par les partenaires gestionnaires afin d'aller prélever les échantillons qui seront ensuite analysés au laboratoire et serviront aux scientifiques pour leur recherche. Pour les personnels INRA qui embarquent, avoir le pied marin est obligatoire !

Les prélèvements sont mis en œuvre avec un temps parfois agité, pluie ou neige



Ce qu'il faut retenir

Les bateaux, avec leurs spécificités propres, leurs armements, ainsi que leurs équipements, sont les outils indispensables aux campagnes de mesures et d'échantillonnage dans les lacs. Les prélèvements se font en général dans la zone la plus profonde du lac et les embarcations de la SHL s'y rendent tout au long de l'année.

PRELEVER



Comment prélever l'eau pour les analyses physico-chimiques?

Les lacs alpins sont des milieux aquatiques profonds et nécessitent de ce fait l'utilisation d'outils spécifiques issus de l'océanographie pour effectuer les prélèvements d'eau et les mesures jusqu'aux profondeurs les plus importantes (309 m pour le Léman).

Les prélèvements d'eau sont effectués à l'aide de bouteilles Niskin* de différents volumes (5 à 10 L). Cette bouteille est constituée d'un corps cylindrique ouvert aux deux extrémités et muni d'un système de fermeture. La bouteille est armée en position ouverte sur le bateau avant son immersion dans l'eau. Fixée sur un câble muni d'une poulie

compteuse, elle est descendue à l'aide d'un treuil jusqu'à une profondeur précise. Quand la bouteille atteint la profondeur souhaitée, une masse appelée « messenger » est envoyée le long du câble. Celui-ci percute le déclencheur de la bouteille remplie d'eau et provoque la fermeture de clapets reliés par un tendeur. L'eau est ainsi prélevée à différentes profondeurs puis transférée dans des flacons bien identifiés par une étiquette comportant le nom du lac, la date de prélèvement et la profondeur d'échantillonnage. Ces flacons seront transmis par la suite au laboratoire de chimie de la station.



L'échantillon d'eau contenu dans la bouteille Niskin est transféré dans des flacons qui seront transmis au laboratoire de chimie pour analyse

Outre ces prélèvements, des sondes multi-paramètres* sont utilisées *in situ* pour une mesure en direct sur toute la colonne d'eau, c'est-à-dire depuis la surface jusqu'au fond du lac. Ce sont des instruments électroniques étanches, équipés de différents capteurs (température, oxygène dissous, pH, conductivité). Les capteurs de mesure sont des appareils extrêmement sensibles aux plus faibles variations thermiques et chimiques. Afin d'enregistrer les mesures, la sonde, préalablement configurée par ordinateur, est immergée et descendue à l'aide du treuil sur toute la profondeur du lac. La mémoire interne de l'appareil enregistre en

continu les mesures des différents capteurs. Lorsque la sonde atteint le fond du lac, le profilage est terminé, la sonde est remontée à bord du bateau et les données enregistrées peuvent être récupérées sous forme de fichiers informatiques.

Les données issues de ces deux méthodes de collecte, les analyses physico-chimique sur l'eau prélevée et les mesures *in situ*, alimentent la base de données de l'observatoire OLA. Ces données précises et fiables sont utilisées par les scientifiques dans le cadre de leur recherche et servent dans le cadre du suivi de la qualité des lacs.

Grâce au treuil une sonde multi-paramètres est descendue dans le lac ; l'acquisition de données se fait en continu tout au long de la descente



Ce qu'il faut retenir

L'analyse physicochimique des eaux nécessite de recueillir des échantillons d'eau à différentes profondeurs pour une analyse fine en laboratoire. Ces échantillons sont prélevés à différentes profondeurs par l'utilisation de bouteilles Niskin. *In situ*, des sondes multiparamètres permettent d'acquérir des données de façon continue et immédiate sur toute la colonne d'eau. Ces deux méthodes nous renseignent sur les caractéristiques chimiques et physiques des eaux des lacs.

PRELEVER



Comment échantillonner le plancton lacustre ?

Le plancton est constitué de l'ensemble des microorganismes vivant en suspension dans la colonne d'eau des milieux aquatiques, de façon passive ou parfois mobile. La surveillance de la qualité des eaux des lacs repose en partie sur sa description. La connaissance de sa biodiversité* (dont la composition taxonomique) permet de mettre en évidence la qualité d'un milieu ou d'éventuels dysfonctionnements biologiques. Bien que généralement assez facilement observable en microscopie, il faut cependant au préalable savoir les échantillonner correctement. Dans le cadre de l'observatoire OLA, ils sont en plus conservés précieusement dans une collection qui remonte aux années 1960.

Dans le cadre des suivis écologiques des lacs, la SHL mesure :

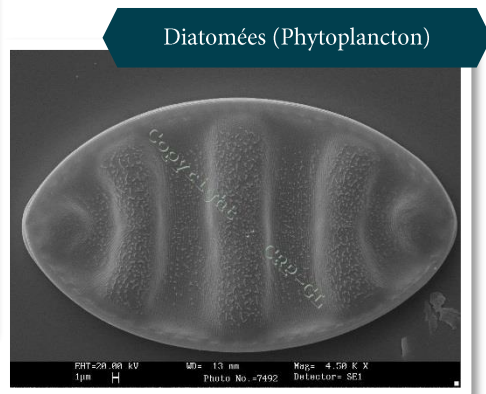
- **Le phytoplancton**, qui correspond à l'ensemble des organismes végétaux

(c'est-à-dire capable de photosynthèse*) microscopiques (microalgues, certaines bactéries photosynthétiques). Il est important de connaître leur quantité (biomasse*) et leur diversité. Afin de prendre en compte les algues nanoplanctoniques*, on travaille sur des échantillons d'eau récoltés dans les 10 ou 20 premiers mètres, à l'aide d'une cloche intégratrice Pelletier*.

- **Le zooplancton**, correspond à du plancton animal, pouvant se nourrir sur des particules de matière organique ou de la matière vivante (autre zooplancton, phytoplancton). Il est prélevé au filet, avec un vide de maille de 64 μm pour les rotifères et 200 μm pour la composante crustacéenne*. Les prélèvements se font par un trait de filet vertical de -50 m jusqu'à la surface.



Cyclops (Zooplankton)



Diatomées (Phytoplankton)



Prélèvement de phytoplancton et de zooplancton.

A : cloche Pelletier pour prélèvement intégré

B : les deux type de filets sont associés lors du prélèvement.



En complément à ces prélèvements et en même temps, des descripteurs complémentaires sont souvent mesurés directement dans les lacs :

-La transparence de l'eau. Elle dépend fortement de la quantité de matière en suspension dans l'eau et peut être utilisée pour évaluer de façon grossière la quantité de phytoplancton présent dans le milieu. Elle se mesure à l'aide d'un disque métallique noir et blanc, le disque de Secchi*, que l'on immerge pour noter la profondeur à laquelle il disparaît. Cette mesure est très affectée par le couleur de l'eau (substances dissoutes).

Les échantillons de phytoplancton et zooplancton sont stockés dans une pièce climatisée pour analyses ultérieures et constituent des archives biologiques. Certains échantillons ont plus de 50 ans !

-La « chlorophylle a » est un indice estimatif de l'abondance du phytoplancton. Ces mesures expriment une quantité de pigment, donc un potentiel de photosynthèse. Les dosages en *chlorophylle a* sont réalisés sur des échantillons d'eau, récoltés à plusieurs profondeurs entre la surface et 30 m.



Ce qu'il faut retenir

Phytoplancton et zooplancton sont des indicateurs de la qualité des lacs. Leurs prélèvements répondent à des techniques et des protocoles précis, de façon à être représentatifs du milieu étudié. Ils nécessitent par la suite de fortes compétences en taxonomie pour les identifier.

PRELEVER



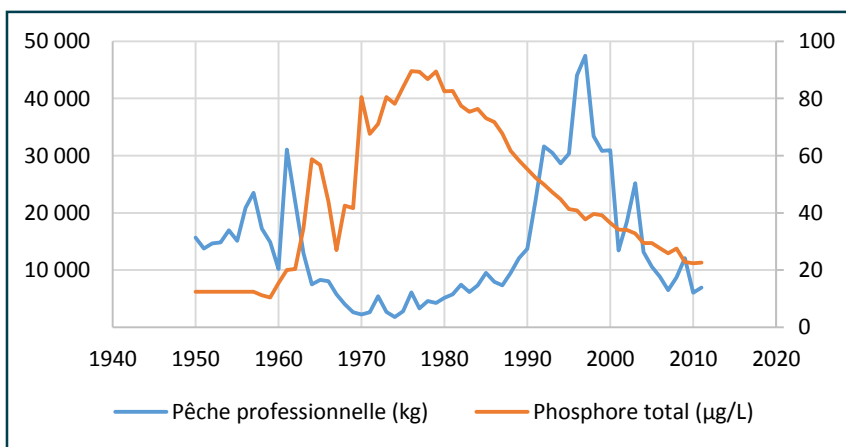
Les populations de poissons, comment les échantillonner?

Les poissons dans les écosystèmes lacustres présentent une grande diversité tant sur le plan de leur morphologie que de leur comportement, leur régime alimentaire ou leur mode de reproduction. Ils jouent un rôle clé dans le fonctionnement de nos lacs en agissant en tant que régulateur de la chaîne alimentaire et intègrent les changements qui opèrent à des niveaux inférieurs dont ils dépendent fortement. Dans les grands lacs péri-alpins, les poissons représentent de plus un intérêt socio-économique majeur, plusieurs espèces étant exploitées par la pêche amateur et professionnelle, et ils constituent pour certaines espèces, l'emblème passé ou présent de la pureté des lacs.

A la SHL, les poissons sont étudiés à l'aide de méthodes d'investigation

variées : analyse des statistiques de pêche, capture aux filets ou à la nasse et hydroacoustique*. Ces méthodes sont souvent utilisées de façon complémentaire et présentent chacune des avantages et des limites.

Statistiques de pêche : ces données concernent les débarquements des pêcheurs professionnels et amateurs. Même si toutes les espèces ne sont pas ciblées (tanche, carpe, etc.), en connaissant l'effort de pêche mis en œuvre (type, nombre, taille et maille des filets), la relation captures-stock peut être estimée. Par ailleurs, les données sont disponibles sur un pas de temps long, ce qui permet d'analyser les tendances sur du long terme et évaluer la relation entre les captures et les principaux facteurs environnementaux.



Statistiques de pêche de l'omble chevalier et quantité de phosphore dans le Léman au cours des 60 dernières années

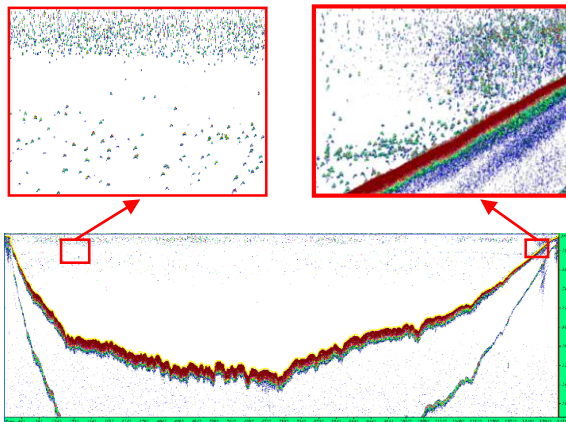
Source DDT-INRA

Pêches aux filets : elles sont réalisées avec des protocoles standardisés. Depuis la mise en place de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE)*, un même protocole est utilisé à l'échelle de l'Europe. Le peuplement dans son entier est pêché. On obtient des informations précieuses au niveau des individus (taille, poids et sexe) et du peuplement (composition spécifique et abondance des espèces). A l'échelle du Léman, l'effort à mettre en place est important : 890 filets posés lors de la campagne de 2014 initiée par l'EAWAG*!

Hydroacoustique : c'est devenue une méthode incontournable de l'évaluation des populations de poissons dans les écosystèmes lacustres et de la description de leurs

relations avec l'écosystème. Non intrusive, elle fait désormais partie intégrante des procédures d'échantillonnage recommandées par la DCE. Elle permet d'obtenir une estimation du stock total, estimé à plus de 6000 tonnes sur le Léman en 2014. Un engin entièrement autonome, le Harle (Hydroacoustic autonomous boat for remote fish detections in lake) est en cours de développement à Thonon-les-Bains.

Ces suivis permettent de dégager des tendances d'évolution des populations de poissons qui sont mises en relation avec l'état écologique du lac.



Echogramme sur le Léman. Chaque tache de couleur correspond à un poisson. La ligne marron correspond au fond du lac

Ce qu'il faut retenir

Suivis des frayères : en plus de ces 3 méthodes, le suivi de la reproduction de certaines espèces permet de mieux connaître le niveau de la population (nombre de géniteurs présents sur la zone de fraie), les cohortes présentes (structure en âge des populations) et les changements de période de reproduction. Initié sur le Léman depuis les années 1980 sur la perche, ce type de suivi est maintenant aussi réalisé sur la féra. L'évolution des périodes de reproduction permet de mettre en évidence l'impact du changement climatique sur nos lacs.

PRELEVER



Les affluents du Léman: suivi et caractérisation

Les apports au Léman par les principales rivières de son bassin versant* (Rhône, Dranse, Aubonne et Venoge) sont régulièrement mesurés depuis 1963. Il s'agit du suivi des débits des cours d'eau et de l'analyse de leurs eaux, réalisés en continu et portant sur les matières en suspension, les principaux nutriments (carbone, azote et phosphore) et divers composants géochimiques (carbonates, calcium, etc.). Ponctuellement des compléments peuvent être réalisés (métaux lourds, pesticides, par exemple). Les affluents mineurs du Léman sont aussi caractérisés, mais avec un effort de prélèvement moins soutenu.

La CIPEL* gère et administre ces suivis. Pour la partie française, c'est la SHL qui est chargée depuis plus de 40 ans du suivi de la Dranse (les prélèvements d'eau sont implantés au niveau de la passe à poissons située à l'aval du Pont de Vongy).



La Dranse en crue, janvier 2004

Ces suivis ont deux objectifs principaux :

- **La surveillance des ressources en eau.** Les caractéristiques des lacs (communautés biologiques, réseaux trophiques, qualité de l'eau) ainsi que les divers usages qui en découlent (pêche, eau potable, etc.) dépendent étroitement des apports des rivières. Pour le phosphore et la silice, éléments clés du fonctionnement lacustre, les rivières constituent l'unique source d'approvisionnement. Pour d'autres (carbone, azote) les sources peuvent aussi être atmosphériques, mais les apports des bassins ont un rôle majeur.

- **L'organisation et l'évaluation des politiques environnementales.** Les flux des rivières impactent fortement les lacs et conditionnent le bilan global des nutriments lacustres. Les Etats et collectivités territoriales mettent en œuvre un ensemble d'aménagements et de mesures pour les maintenir à un niveau acceptable vis à vis des usages de l'eau. Chaque année, les bilans sont mis en perspective pour évaluer en quoi les efforts entrepris ont porté leurs fruits. Deux sources principales de nutriments sont au centre des préoccupations : les apports liés aux eaux usées et ceux en provenance des terres agricoles et urbaines.

Débitmètre



Ce qu'il faut retenir

La surveillance des lacs ne peut être dissociée de celle de leurs bassins versants. Pour mesurer les flux en provenance de ceux-ci, des installations mesurent en continu les débits et la composition des eaux.

PRELEVER



Archives sédimentaires

Les sédiments sont formés par l'accumulation progressive de matériaux issus du lac et de son bassin versant*. Si le dépôt en couches de ces sédiments est préservé au cours du temps (en l'absence de turbulence ou de remise en suspension), les sédiments d'un lac peuvent constituer une bibliothèque d'archives naturelles de l'histoire du lac et de son bassin versant. Des prélèvements spécifiques, formant une carotte sédimentaire*, sont réalisés pour les étudier. Ainsi, combiné à un chronomètre adapté, c'est à dire un outil permettant de donner un âge à chacune de ces couches sédimentaires, un carottage sédimentaire est l'équivalent d'une machine à remonter le temps, si on sait en lire les informations qu'il contient. La paléolimnologie est la science qui lit et interprète les informations que renferment les archives sédimentaires pour reconstituer l'histoire du lac et de son environnement.

Les paléolimnologues recherchent des indicateurs, c'est-à-dire des informations contenues dans la

structure de ces sédiments, leur nature géologique, minérale ou biologique, qui révèlent les événements hydrologiques, géologiques et écologiques qui ont eu lieu au cours des dernières décennies ou des dernières dizaines de milliers d'années... Une modification abrupte dans la nature des couches sédimentaires lacustres déposées peut être symptomatique d'un dépôt de sédiments de rivières et donc d'une crue importante. Une disparition temporaire de la structure en couche et donc une ré-homogénéisation des couches sédimentaires, témoigne alors d'une remobilisation massive des sédiments sous l'effet d'un brassage intense de la masse d'eau. Les traces biologiques peuvent reposer sur des restes fossiles observables (en général au microscope) comme des carapaces d'organismes zooplanctoniques ou d'algues telles que les diatomées, tandis que les espèces qui ne laissent pas de fragments fossilisables peuvent être révélées à l'échelle moléculaire, à partir de la présence de certains pigments photosynthétiques ou de leur ADN.

FORMATION DES
SEDIMENTS

Matériaux
allochtones *



Particules transportées par
les rivières, fleuves ...



Particules atmosphériques



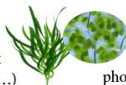
Pollen

Etc.

Matériaux
autochtones *



Minéraux
(carbonates...)



Pigments
photosynthétiques



Phytoplancton



Zooplancton

Composition des couches sédimentaires lacustres

Les paléolimnologues échantillonnent une carotte de sédiment dans le lac à partir d'un bateau ou d'une barge



La SHL travaille depuis de nombreuses années sur l'analyse des restes d'organismes dans les sédiments, mais elle a développé de façon majeure ce champ de recherche au cours de ces dernières années, en partenariat avec le laboratoire EDYTEM (Université Savoie Mont Blanc) et d'autres équipes françaises et étrangères.

Ces connaissances permettent ainsi de comprendre la dynamique d'évolution des lacs, de renseigner sur les climats et environnements passés.



A



B



C

Profondeur
=
temps



Différents type de carottes de sédiments (vus en coupe).

A : apport massifié à une crue de rivière ;

B : mélange de couche sédimentaire ;

C : Zonation idéale de couches sédimentaires

Credits photos : F. Arnaud-EDYTEM

Ce qu'il faut retenir

La paléolimnologie est une science qui permet, par l'analyse de carottes sédimentaires, de retracer l'évolution passée des systèmes lacustres et, en partie, leur statut trophique⁺, et donc la qualité du milieu à un moment donné du passé. Cette connaissance du passé permet d'envisager des scénarios d'évolution future dans un contexte de changement climatique.

PRELEVER



ANALYSER



Caractériser la qualité physico-chimique des eaux

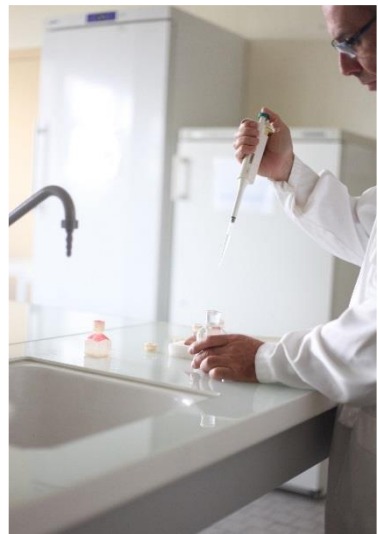
La caractérisation de l'état écologique des lacs dépend de notre capacité à mesurer et analyser les paramètres qui en caractérisent la composition physicochimique. Sur cette base de connaissance, il est possible de suivre les évolutions dans le temps des paramètres et d'établir le niveau de qualité du milieu étudié par référence à des normes de concentrations par éléments, définis par la Directive Européenne sur l'Eau (DCE)*. Depuis les années 1960-1970, la SHL et les structures locales de gestion ont mis en place un suivi régulier de la physico-chimie sur les grands lacs alpins (Léman, Annecy, Bourget) et plus récemment sur d'autres lacs.

A la suite des prélèvements et des mesures de terrain, les échantillons d'eau brute (non filtrée) sont répartis au laboratoire de chimie et préparés. Ils sont conservés au froid pour stabiliser leur évolution et éviter les modifications chimiques qui peuvent se produire. Ils

subissent ensuite les prétraitements nécessaires à leur analyse (filtration par exemple), dans des délais qui sont fonction de l'analyse à réaliser.

Ces analyses sont variées : détermination du pH, du titre alcalimétrique* (« dureté de l'eau »), de la conductivité, quantification des espèces minérales de l'azote (azote nitrique, nitreux, ammoniacal, total et particulaire) du phosphore (ortho-phosphates, phosphore total et particulaire), des cations 'majeurs' (calcium, magnésium, sodium et potassium), des chlorures et des sulfates, du carbone organique total (particulaire ou dissous), des matières en suspension, de la silice, de l'oxygène dissous, etc. Le laboratoire réalise également des analyses pour déterminer l'origine du phosphore dans les sédiments et les sols, collectés dans le bassin versant des lacs.

Préparation des échantillons
en laboratoire



Ces analyses font appel aux techniques classiques de la chimie analytique telles que la chromatographie (ionique), la spectrophotométrie (moléculaire ou atomique), la titrimétrie, la potentiométrie ou la chimiluminescence. Elles sont réalisées selon des protocoles parfaitement définis et répondant aux normes d'assurance de qualité de l'INRA.

Les résultats obtenus passent par une étape de contrôle et de validation, avant d'être enregistrés dans la base de données de l'observatoire OLA et d'être utilisés par les scientifiques et les gestionnaires.



Exemples de techniques analytiques utilisées au laboratoire de chimie environnementale

1-Spectrophotométrie d'absorption atomique (Dosage des cations - calcium, magnésium, sodium, potassium etc.)

2-Chromatographie ionique (Dosage des anions - nitrates, chlorures, sulfates etc.)

3-Analyseur par chimiluminescence (Dosage de l'azote total)

4-Colorimétrie en flux séquentiel (Dosage de la silice)

Photos : Copyright © INRA- Y.PERRIN

Ce qu'il faut retenir

Les analyses physico-chimiques permettant de caractériser la qualité des lacs sont variées et nécessitent des techniques parfois complexes. Pour être utilisables, elles doivent être réalisées régulièrement, être précises, sensibles et validées avant utilisation.

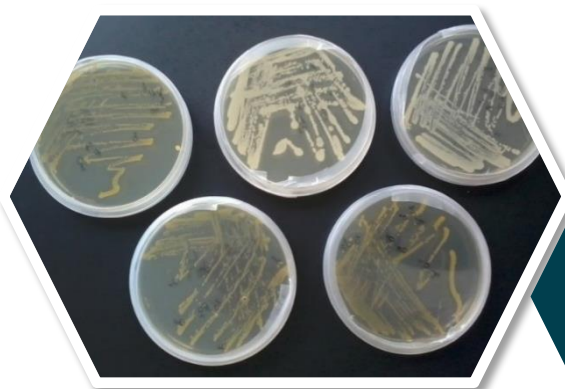
ANALYSER



De la microscopie au séquençage ADN: évaluation de la diversité microbienne

Invisibles à l'œil nu, les organismes microscopiques (virus, archées, bactéries, champignons, etc.) sont à la fois abondants, diversifiés et caractérisés par une grande variété de rôles, les rendant essentiels dans le fonctionnement des écosystèmes (c'est-à-dire dans tous les processus de production de biomasse*, de consommation, ou encore de décomposition de la matière organique*). De taille nano- à millimétrique, certains de ces microorganismes sont en pleine eau et se déplacent au gré des courants (c'est le plancton) alors que d'autres sont plutôt fixés sur des substrats inertes (sédiments, cailloux, épaves, etc.) ou vivants (macrophytes* et macroalgues), en y formant des biofilms*.

Décrypter la diversité des microorganismes, c'est à dire savoir qui ils sont et quelles sont leurs fonctions, est primordial pour comprendre le fonctionnement de l'écosystème* et l'impact des perturbations environnementales sur ces communautés. Cela a longtemps été réalisé à l'aide de la microscopie optique ou électronique et par la mise en culture sur des milieux nutritifs. Mais la microscopie ne permet pas toujours de différencier les organismes les uns des autres (quand ils ont par exemple la même forme, taille et apparence) et la mise en culture ne permet d'identifier qu'une très faible proportion de cette diversité (de l'ordre de 1%).



Quelques colonies de bactéries issues du Léman et cultivées sur des boîtes de Pétri contenant un milieu de culture adapté. Cette technique ne permet d'approcher qu'une très faible partie de la diversité microbienne

Les approches moléculaires ont démultiplié notre capacité de décryptage et permettent désormais de discriminer les différents groupes de microorganismes avec des niveaux de précision inégalés, révélant leur incroyable biodiversité*.

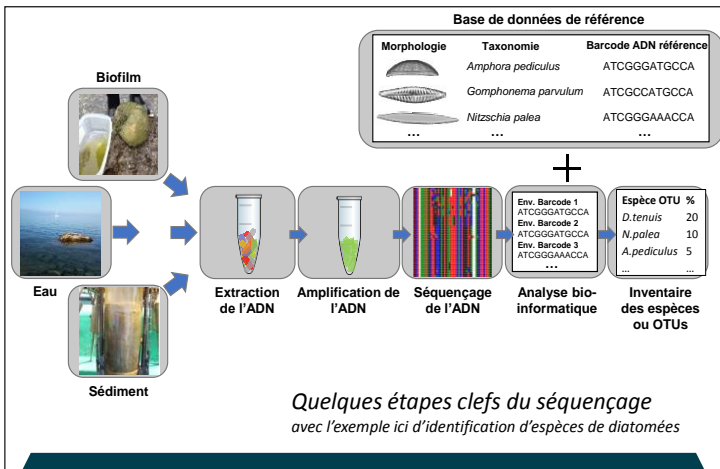
Le développement continu de technologies moléculaires de pointe permet ainsi de cartographier le patrimoine génétique des cellules et d'en révéler les différences. On ne parle d'ailleurs plus d'espèce dans ce contexte, mais

d'Unité Taxonomique Opérationnelle (OTU, en anglais) qui correspond à des regroupements en fonction de la similarité de leurs séquences nucléiques*, sur un fragment d'ADN précis.

Appliqué à l'étude de la diversité microbienne lacustre, ces technologies récentes de séquençage ont permis de mettre en évidence plusieurs centaines à milliers d'OTUs différentes, aussi bien chez les bactéries et archées que chez les microalgues, les parasites microbiens, etc.

Ce qu'il faut retenir

Les microorganismes sont très abondants et jouent des rôles clés dans le fonctionnement des lacs. Les technologies récentes de décryptage de l'ADN apportent un nouveau regard sur leur diversité et leur importance écologique.



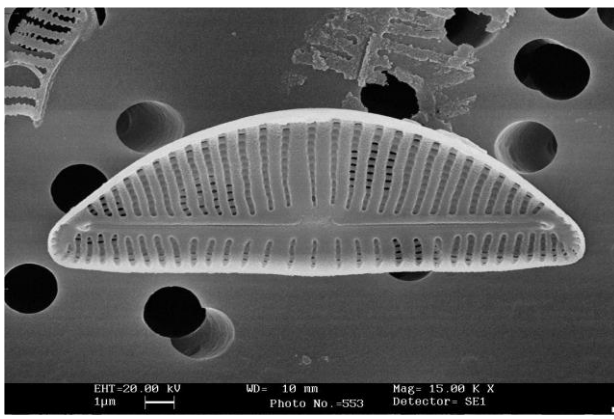
Approche de biologie moléculaire : de l'échantillon naturel brut à l'identification des espèces ou OTUs qu'il contient (ici appliqué à l'étude des diatomées, microalgues aquatiques)



La diversité cachée des algues révélée par l'ADN environnemental

Les microalgues constituent un élément déterminant pour le fonctionnement des écosystèmes aquatiques puisqu'elles en sont les principaux producteurs primaires*. Plusieurs grandes lignées algales existent: parmi elles les diatomées qui sont des algues microscopiques reconnaissables à leur squelette externe en silice transparente. Chaque année, environ 180 espèces de diatomées sont décrites comme nouvelles. Ce chiffre est resté assez constant au cours du siècle dernier et porte à plus de 25 000 le nombre d'espèces connues. Cependant une part importante de la diversité des diatomées reste à découvrir. En effet, le nombre d'espèces potentiellement existantes sur Terre a été estimé par plusieurs auteurs, avec des résultats variables selon la méthodologie et le type de données

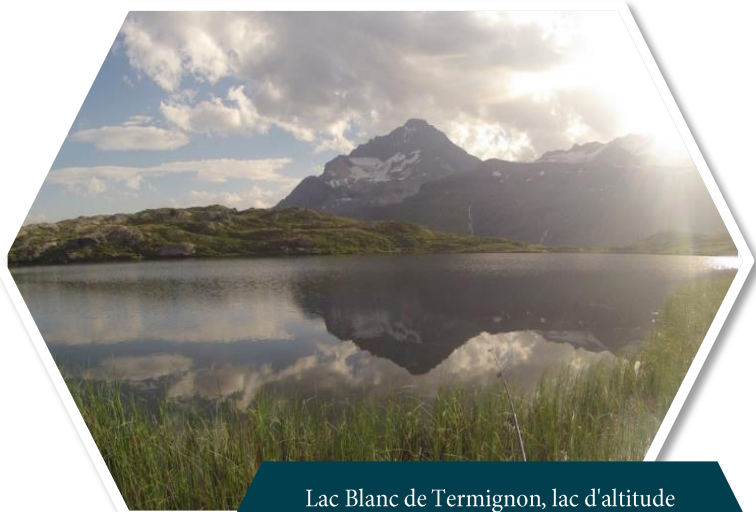
utilisées : par exemple en se basant uniquement sur des données morphologiques (forme des cellules), ce nombre serait proche de 30 000 alors qu'il est estimé à plus de 100 000 si l'on se base sur le génotype* des diatomées. Les génotypes ne décrivent pas nécessairement des espèces différentes, mais peuvent correspondre à des « sous-espèces » (ou des taxons) différents. Ainsi, lorsque l'on étudie certaines régions de l'ADN (comme le gène *rbcl* qui code pour le chloroplaste, organe de la photosynthèse*), on accède à une diversité cryptique (cachée), qui n'est pas visible lorsque l'on observe seulement la forme du squelette des diatomées en microscopie. Les approches basées sur l'ADN expliquent le grand nombre d'espèces et de sous espèces décrites comme nouvelles.



Encyonema silesiacum, une espèce très commune dans les lacs d'altitude des Alpes, vue en microscopie électronique. Cette vue représente le squelette siliceux externe ornementé de la diatomée

Ainsi, récemment, les chercheurs de la SHL ont séquencé l'ADN (gène *rbcL*) d'échantillons de diatomées provenant de 70 lacs d'altitude des Alpes du Nord. Certaines espèces très communes dans ces lacs présentent une diversité en génotypes insoupçonnée. C'est le cas pour la diatomée *Encyonema silesiacum*: alors que 4 ou 5 formes (sous-espèces) sont distinguables en microscopie, on a identifié plusieurs centaines de génotypes différents. Selon la méthode utilisée (morphologie ou ADN), l'image de la diversité de cette espèce est donc très différente.

Une des pistes que les chercheurs suivent est de savoir si ces génotypes occupent des niches écologiques* particulières ou s'ils sont restreints à certaines zones, en bref, s'ils ont une signification écologique particulière. L'accès à ces nouvelles données aura des implications sur la connaissance de la diversité de ces microalgues et l'estimation du nombre d'espèces restant à découvrir devra être surement revue à la hausse. A plus long terme, cette connaissance pourra être intégrée dans la définition d'indicateurs de qualité des milieux.



Lac Blanc de Termignon, lac d'altitude dans les Alpes (prélèvement de diatomées en été 2013)

Ce qu'il faut retenir

Les diatomées sont des microalgues qui présentent une diversité exceptionnelle, environ 100000 espèces existeraient selon certains auteurs. Les nouvelles techniques moléculaires révèlent une diversité insoupçonnée, non visible en microscopie. Par exemple, une seule espèce particulière, *Encyonema silesiacum*, très commune dans les lacs d'altitude des Alpes, peut regrouper des centaines de génotypes* différents.

ANALYSER



La biodiversité du zooplancton

Parmi les organismes aquatiques lacustres, le zooplancton tient une place particulière dans le réseau trophique*. Le zooplancton lacustre représente textuellement le plancton animal d'un lac, par opposition à sa contre-partie «végétale», le phytoplancton. De façon plus opérationnelle, le zooplancton correspond à tous les organismes retenus par un filet de 200 µm (0,2 mm) de vide de maille. Ce terme générique cache une très forte diversité d'organismes et de modes de vie. Le zooplancton regroupe des organismes unicellulaires («proto-zooplancton») ou pluricellulaires («méta-zooplancton»). On y trouve même une petite méduse d'eau douce (*Craspedascula sowerbii*, 2-3 mm) ou des petits crustacés (par exemple, les daphnies, 3 à 4 mm). De plus, certains organismes aquatiques n'appartiennent au zooplancton qu'à certains stades de leur développement (c'est le cas des larves de moules zébrées par exemple)

tandis que d'autres sont planctoniques à tous les stades de leur vie (les daphnies ou les puces d'eau, par exemple). Certains organismes terrestres présentent même une phase aquatique planctonique, comme les très voraces larves de l'insecte diptère *Chaoborus* (sorte de moustique).

Ainsi, la diversité biologique à l'intérieur d'un flacon de zooplancton du Léman est au moins aussi grande que celle de la faune de la savane africaine, avec tous ses organismes (herbivores, prédateurs, nécrophages*, détritivores*, parasites, etc.) !

Le méta-zooplancton occupe une position clé dans les chaînes alimentaires lacustres puisque ces organismes font le relais entre les microorganismes qu'ils consomment (micro-algues, bactéries,...) et les vertébrés, notamment les poissons, pour lesquels ils constituent une source de nourriture privilégiée.



Prélèvement de zooplancton échantillonné et stocké dans son flacon avant analyse

Certains organismes du zooplancton, comme les rotifères ou les daphnies, ont un rôle très important dans la clarification des eaux, en consommant les algues ou les particules microscopiques lacustres. Grâce à leur capacité de filtration, ils contribuent ainsi à l'autoépuration des eaux. Chaque organisme est adapté à une ressource alimentaire particulière et le zooplancton exploite ainsi au mieux l'ensemble des ressources alimentaires lacustres qui lui convient.

Les organismes méta-zooplanctoniques sont généralement identifiables au microscope, sur la base de critères morphologiques, ce qui requiert toutefois une grande expertise et une grande dextérité. Par exemple, l'identification des espèces de rotifères (taille moyenne entre 0,05 et 2-3 mm !) nécessite de disséquer leurs pièces buccales avant de les observer au microscope !

Brachionus diversicornis (Rotifère)
Taille \approx 0,4 mm



Genre *Daphnia* (Daphnie)
Taille comprise entre 0,2-5 mm

Ce qu'il faut retenir

Le zooplancton est un ensemble très diversifié d'organismes animaux, avec un rôle central dans l'écologie des milieux lacustres. Ils sont en particulier une ressource alimentaire importante pour certains poissons, et ont un rôle essentiel dans la qualité de l'eau des lacs.

ANALYSER



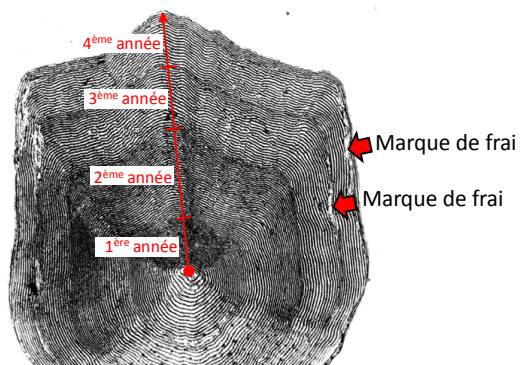
Ce que nous apprennent les tissus des poissons

Dans le poisson, tout est bon ! Ecailles, opercules, muscles, estomac et même les minuscules otolithes (en grec, 'pierres d'oreilles'), dissimulés dans l'oreille interne, peuvent nous révéler les secrets de la vie des poissons, mais également de leur milieu de vie. A la SHL, les poissons sont donc littéralement décortiqués.

L'âge est le premier paramètre recherché, mais sa détermination n'est pas chose simple. Le poisson est susceptible de grandir toute sa vie, mais la croissance varie selon les conditions de vie : température et abondance de nourriture. Il est difficile de déduire l'âge à partir de la taille seule. Pour la plupart des espèces de nos lacs, la croissance ralentit pendant la période hivernale et on peut lire ce ralentissement sur les pièces osseuses. Par exemple sur une écaille, qui grandit elle aussi durant toute la vie du poisson,

vont alterner les périodes de fortes croissances (les stries sur l'écaille sont espacées) et celles de ralentissement (les stries sont alors beaucoup plus proches), comme les cernes sur les arbres! En observant les pièces osseuses, on peut ainsi connaître l'âge d'un individu et vérifier si les poissons de la même taille ont le même âge. Pour les espèces exploitées, la taille de capture est fixée de façon à ce que les poissons capturés soient assez âgés pour garantir qu'ils se soient déjà reproduits au moins une fois. On peut aussi compléter les analyses de croissance par des analyses fines sur le régime alimentaire et la position trophique* des espèces, soit en analysant les contenus stomacaux, soit en analysant la composition chimique (isotopes* stables du Carbone et de l'Azote) de différents tissus comme le muscle ou le foie, permettant ainsi de savoir comment le poisson s'est alimenté durant sa vie.

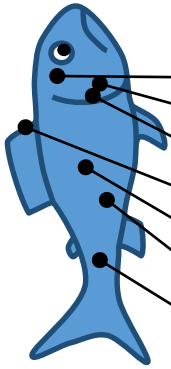
Les écailles des poissons sont une source d'information précieuse sur lesquelles on peut lire l'âge, estimer la vitesse de croissance et dans certains cas observer des indices de reproduction.



Ecaille de corégone

Ce qu'il faut retenir

Produire des connaissances fondamentales sur le fonctionnement des populations de poissons et obtenir des données nécessaires à leur gestion impliquent de disposer d'un certain nombre d'informations qui, de prime abord, sont difficiles d'accès. Les scientifiques ont recours à différentes approches pour déterminer ou estimer des paramètres essentiels comme l'âge, la maturité sexuelle ou le régime alimentaire.



Pièces	Âge	Croissance	Maturité et reproduction	Régime alimentaire	Génétique	Migrations et habitat
Otolithe	X	X				X
Peigne branchial				X		
Opercule	X	X			X	
Rayon de nagoire, vertèbres	X	X				
Ecailles	X	X	(X)		X	
Estomac				X		
Tissus divers (muscle, foie...)				X	X	

Éléments des poissons pouvant être utilisés pour renseigner sur leur écologie* ou leur environnement

De plus, les populations de poissons subissent des événements démographiques (introductions, migrations, fluctuation des effectifs etc.) qui vont affecter leur composition génétique. Les pièces osseuses contiennent souvent des restes d'ADN qui peuvent être exploités pour évaluer certains paramètres démographiques et quantifier les pertes de biodiversité* subies au cours du temps par les pêches intensives du début du XX^{ème} siècle, les repeuplements massifs et l'eutrophisation* de la fin

des années 1950.

L'analyse *a posteriori* d'écailles archivées depuis plus de 50 ans dans la collection de la SHL, permet d'obtenir les paramètres démographiques et trophiques passés, d'en déduire les conditions environnementales de l'époque et d'explorer les effets des grands changements environnementaux comme le réchauffement climatique. Une collection précieuse, alimentée par les scientifiques depuis le début de la SHL !



Le paysage des bassins versants : leur incidence sur les lacs

Le bassin versant d'un lac correspond à la surface du territoire qui draine l'ensemble des écoulements d'eau vers le lac, via les ouvrages de drainage artificiels et les rivières. L'identité d'un bassin versant est liée à celle de son paysage. Les paysages résultent d'un ensemble d'actions collectives ou individuelles, volontaires ou non, en lien avec les activités agricoles ou forestières ainsi que les politiques d'aménagement territorial.

Les écoulements d'eau sont très dépendants des usages des terres. Ainsi, l'urbanisation des territoires est un facteur d'imperméabilisation des sols et de ruissellement d'eau à la surface des sols. D'autres occupations de sol, comme les surfaces toujours en herbe ou les couverts forestiers, favorisent l'infiltration des précipitations et l'alimentation des nappes en sous-sol.

Les écoulements peuvent aussi être «latéraux», prenant en profondeur une direction parallèle à la pente. Les flux de ruissellement, d'infiltration-exfiltration et latéraux sont contrôlés par l'organisation du paysage (qui est une mosaïque de cultures, de surfaces naturelles, forestières ou urbanisées) et par certaines infrastructures paysagères clés (haies, ceintures arborées des cours d'eau, marais, etc.).

Les flux d'eau, de surface, latéraux ou profonds, véhiculent un ensemble de matières inertes ou vivantes (nutriments, organismes, contaminants, etc.). Selon le temps de séjour de l'eau dans le paysage des bassins, ces matières peuvent être transmises plus ou moins rapidement, partiellement ou en totalité aux lacs, déterminant ainsi l'organisation et le fonctionnement des réseaux trophiques* lacustres.



Les Systèmes d'Information Géographiques (SIG) sont d'une grande utilité pour analyser ce qui se passe dans les paysages. Ils superposent un ensemble d'informations spatialisées sur le cadre physique, l'usage des terres, l'agronomie ou le réseau hydrographique. Le paysage peut être analysé via les SIG pour identifier en quoi et comment il évolue en fonction des objectifs de production agricole, d'aménagement

ou des attentes exprimées par les usagers du territoire. En lien avec les chroniques météorologiques, les bases de données spatialisées apportent aussi un support pour la modélisation et des simulations sur l'incidence des configurations paysagères sur l'origine, les trajectoires et à l'aval, l'impact des matières transportées par l'eau.



Représentation modélisée d'un bassin versant avec cours d'eau et zones potentiellement inondables.
© Données de MO-MNT du SITN (Canton de Neuchâtel)
<https://www.sitadel.ch/?Actualites>

Ce qu'il faut retenir

Les bassins versants des lacs correspondent à un territoire « amont » organisé par des propriétés physiques et divers usages (agricoles, forestiers, urbains, par exemple). Le paysage n'est pas figé, il évolue en fonction des saisons, des pratiques et des activités humaines. On cherche à le modéliser et le prédire pour comprendre en quoi et comment il modifie les régimes d'écoulement de l'eau et des matières qu'il véhicule (nutriments, contaminants, pathogènes, etc.) et son impact sur le fonctionnement lacustre.

ANALYSER



COMPRENDRE



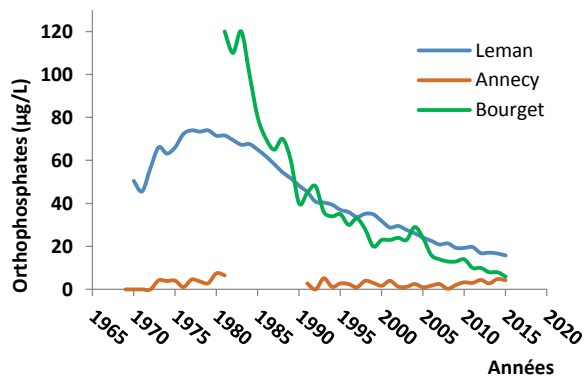
L'évolution temporelle de la qualité physicochimique des lacs

Les lacs ne sont pas des milieux stables dans le temps : par des modifications progressives, et parfois peu visibles à l'échelle humaine, ils s'adaptent aux changements environnementaux, naturels ou anthropiques*. La vitesse de ces changements dépend de leur volume et de l'intensité du facteur de changement: entrées polluantes, changement climatique, etc. L'évolution de la composition physicochimique d'un lac est un très bon indicateur des entrées de composés chimiques qui proviennent du bassin versant* : rejets d'effluents plus ou moins traités, ruissellements sur les surfaces agricoles ou urbaines. Des changements marqués de composition chimique de l'eau d'un lac, induisent des changements de biodiversité* et des modifications des usages possibles

(pêche, eau potable, par exemple).

Des dizaines d'éléments chimiques caractérisent les eaux (par exemple, les formes du phosphore, de l'azote et du carbone, pour les éléments majeurs). L'un des paramètres le plus informatif à suivre pour connaître l'état d'un lac est la teneur en phosphore (qui sert d'ailleurs à établir des classes de qualité des milieux aquatiques). C'est un élément nutritif essentiel pour la vie, mais dont l'excès entraîne une augmentation de la production d'algues dont la décomposition conduit à la consommation de l'oxygène dissous de l'eau, et à son déficit, notamment au fond du lac (phénomène d'eutrophisation*).

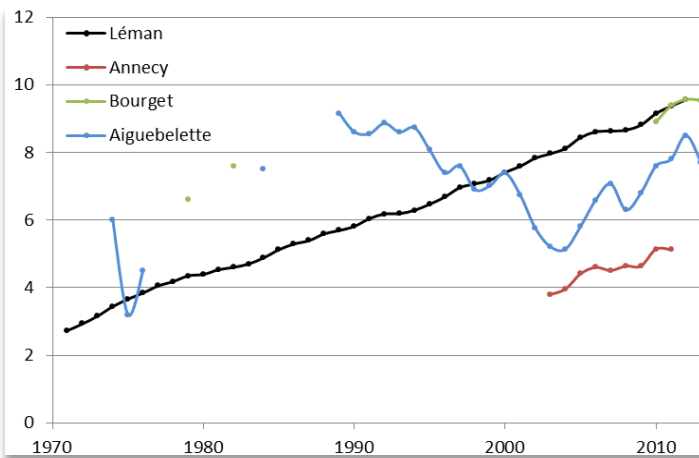
Évolution de la concentration des orthophosphates à la date de la plus forte homogénéisation de la colonne d'eau (février-mars) dans les 3 lacs périalpins. Pour le Léman, le brassage n'est souvent que partiel



Le Léman et le Bourget ont récemment connu des épisodes de surcharge en phosphore, avec un pic autour des années 1980. D'un état naturel plutôt oligotrophe* (faible teneur en phosphore), ces deux lacs ont présenté des épisodes d'eutrophisation avec une forte dégradation de leur qualité. Les travaux de la SHL et de l'observatoire OLA ont permis de caractériser depuis les années 1960, l'apparition de l'eutrophisation (1960-1980), puis sa décroissance progressive et continue (1980-2016), qui témoigne d'un retour à des conditions environnementales satisfaisantes. A l'inverse, le lac d'Annecy est resté en état oligotrophe (moins d'entrée polluante).

D'autres paramètres montrent des évolutions différentes : par exemples, les nitrates sont restés stables depuis les années 1980, mais les chlorures augmentent progressivement sur le Léman (sans cependant atteindre des niveaux d'effet sur la faune ou la flore des lacs).

Le constat de l'évolution physicochimique des lacs est donc rassurant. Pour autant, il faut rester vigilant : l'augmentation continue de la population autour des lacs et l'apparition de nouvelles substances aux effets mal connus (résidus médicamenteux) sont à surveiller.

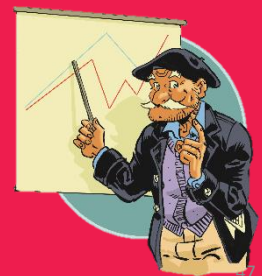


Evolution des ions chlorures dans le Léman, dus aux apports industriels et au salage des routes
(Figure J. Lazzaroto & A. Klein, 2012)

Ce qu'il faut retenir

L'évolution de la composition chimique des lacs est bien connue et témoigne d'une amélioration de leur qualité. Les suivis sur le long terme restent indispensables pour comprendre de l'état du lac et surveiller les apports polluants au lac.

COMPRENDRE



L'omble chevalier : une espèce emblématique menacée?

L'omble chevalier est une espèce emblématique des grands lacs périalpins: il est le reflet de la grande qualité de leurs eaux, une ressource pour les pêcheurs professionnels et une cible de marque pour les pêcheurs amateurs, un mets de luxe pour les restaurateurs locaux et un élément remarquable de la biodiversité* nationale et régionale. Mais la vie de l'omble n'est pas un long fleuve tranquille, encore moins un grand lac paisible, et son avenir dans nos régions est plus que jamais incertain. Les chercheurs de la SHL s'y intéressent depuis plusieurs décennies, afin d'identifier les menaces qui ont pesé et pèsent sur les populations.

L'omble est l'espèce d'eau douce qui se reproduit le plus au nord, certaines populations étant présentes jusqu'à 80° degrés de latitude nord, autrement dit à deux pas du Pôle ! C'est dire qu'il affectionne les eaux froides. Plus que de les apprécier, il en a véritablement

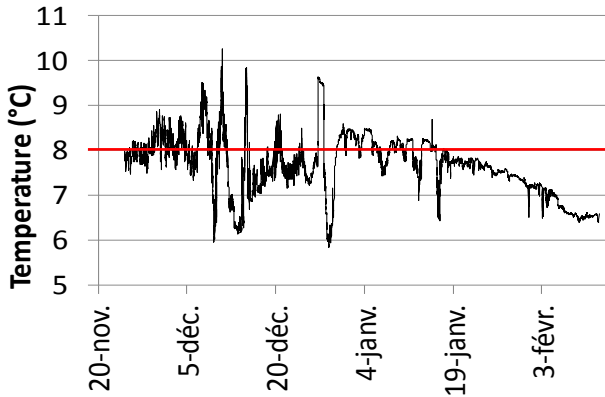
besoin pour accomplir son cycle biologique. Pour produire des œufs de qualité, les femelles ont besoin de passer quelques semaines, en été et à l'automne, à une température de moins de 11°C. Une fois les œufs fécondés, l'incubation doit se dérouler à moins de 8°C, idéalement à 5°C. Il a également besoin d'eau bien oxygénée. Dans les lacs du Léman et du Bourget, il se situe en limite sud de la distribution naturelle (rappelons qu'il a été introduit en 1890 dans le lac d'Annecy). S'il a pu se maintenir depuis la dernière ère glaciaire, c'est que les eaux profondes de ces lacs restent froides toute l'année et lui offrent des refuges thermiques. Le réchauffement climatique constitue aujourd'hui une nouvelle pression qui s'ajoute à une liste déjà trop longue : eutrophisation* et donc colmatage des frayères*, prédation ou compétition avec des espèces locales et introduites, pêche, pratiques de gestion, pollutions diverses, etc.

Distribution naturelle de l'omble chevalier (d'après Svenning et Klemetsen 2001)
Les populations savoyardes sont en limite sud de distribution (anadrome : migrant de l'océan vers les rivières pour sa reproduction)



Pop. résidente ■ Pop. anadrome ■

Les premiers stades de vie de l'omble chevalier sont probablement les plus sensibles. Pour atteindre le stade d'alevin, les œufs doivent bénéficier de conditions de température et d'oxygénation adéquates, mais ils devront également échapper aux prédateurs en tout genre : lotte, écrevisse, etc. Mais le plus inquiétant est que ces différentes menaces peuvent se combiner et avoir des effets en interaction. Des recherches récentes, menées à la pisciculture expérimentale de l'INRA, montrent que des quantités de sédiments normalement supportables dans des conditions de température favorables, pourraient s'avérer mortelles si les eaux se réchauffaient de seulement quelques dixièmes de degrés.



Ombles sur leur frayère
Les mesures effectuées par l'INRA montrent que sur certaines frayères le seuil théorique de 8°C nécessaire au bon développement des œufs est parfois dépassé pendant la période d'incubation

Ce qu'il faut retenir

Depuis 150 ans au moins, les populations d'omble des grands lacs ont subi de fortes fluctuations en lien avec les activités anthropiques : surpêche sur les frayères* jusque dans la première moitié du XX^{ème} siècle, eutrophisation* dans les années 1960-1980, puis expansion dans les années 80 grâce à l'amélioration de la qualité des eaux et à un fort repeuplement, puis chute inexplicable depuis la fin des années 90 pour atteindre des niveaux actuels faibles.

COMPRENDRE



Les réseaux trophiques : de la chaîne alimentaire linéaire aux réseaux complexes

La caractérisation et le rôle des chaînes alimentaires et/ou réseaux trophiques* dans le fonctionnement des écosystèmes* lacustres est un point d'intérêt majeur de la limnologie*.

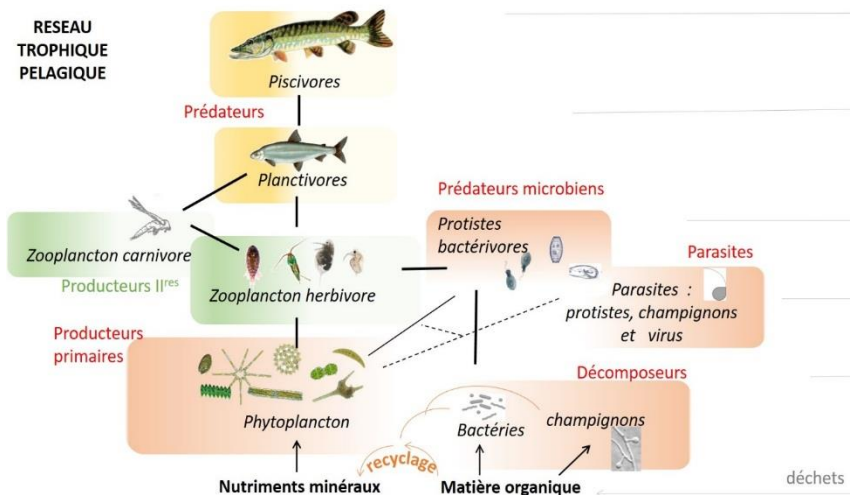
La vision traditionnelle d'une chaîne alimentaire dans un lac s'appuie sur un modèle linéaire incluant 4 compartiments, reliés par des relations de prédateurs : le phytoplancton représentant les producteurs primaires*, le zooplancton herbivore (consommateurs primaires), les poissons dits planctonophages (consommateurs secondaires) et finalement les poissons piscivores.

La représentation des réseaux trophiques a beaucoup évolué au cours des 50 dernières années.

Déjà pressenti dans les années 1940, le rôle crucial des bactéries dans le réseau trophique s'est confirmé quelques décennies plus tard, notamment lors de la découverte de leur importance numérique dans le milieu aquatique. Ces bactéries, aptes à recycler les déchets et matières organiques,, agissent comme des décomposeurs mais sont également une ressource alimentaire.

Le réseau trophique intègre un plus grand nombre de compartiments biologiques, et vise à traduire l'ensemble des relations, souvent complexes, liant entre eux les organismes et les éléments nutritifs. La

Schéma de réseau trophique représentant les principaux groupes biologiques interagissant via des relations de prédation, de parasitisme, de recyclage des éléments nutritifs



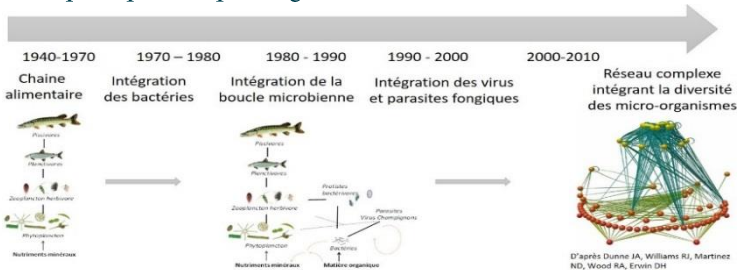
En effet, consommées par des prédateurs microbiens ou zooplanctoniques, elles permettent ainsi un transfert de matière et d'énergie vers les niveaux supérieurs. Ce concept de boucle microbienne a été intégré dans les modèles de réseaux trophiques à la fin des années 80s.

Puis dès les années 2000, en lien avec le développement des méthodes d'analyses des micro-organismes, notamment les techniques d'analyse de l'ADN environnemental, les connaissances relatives aux micro-organismes ont été profondément modifiées et la présence de groupes biologiques variés, jusqu'à non référencés dans les lacs, ont été alors mis en évidence.

En particulier les virus aquatiques, qui agissent

comme parasites des communautés planctoniques (bactéries, microalgues etc.), sont à la fois des régulateurs de l'abondance et de la diversité de leurs hôtes mais influencent aussi le recyclage des éléments chimiques.

La prise en compte des acteurs microbiens, représentés par des milliers d'espèces, a conduit à une complexification croissante des modèles d'interactions biologiques structurant les réseaux trophiques lacustres. Il existe une diversité de modèles de réseaux trophiques lacustres modulés par les facteurs environnementaux dont notamment le régime thermique du lac (stratification, zone de mélange) ou la disponibilité des apports en nutriments.

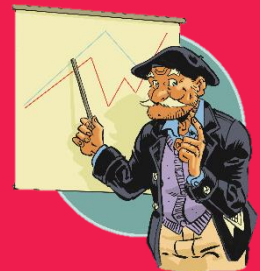


Chronogramme des principales évolutions de modèles de réseaux trophiques lacustres

Ce qu'il faut retenir

La structure des réseaux trophiques détermine dans une large mesure les voies et l'efficacité de transfert de la matière et l'énergie dans l'écosystème lacustre. Le schéma d'organisation trophique a initialement considéré des modèles linéaires, mais les flux de matière et d'énergie sont maintenant appréhendés sous forme de réseaux complexes, notamment depuis la reconnaissance du rôle des micro-organismes dans le fonctionnement des lacs.

COMPRENDRE



Quand il y a trop de phytoplancton...

Le plancton végétal ou phytoplancton est composé de microalgues et de bactéries photosynthétiques vivant en pleine eau et se déplaçant au gré des courants. Grâce à la photosynthèse*, ces organismes produisent de l'oxygène dans les eaux proches de la surface et constituent le poumon lacustre (comme les arbres sur la terre). Caractérisé par de très nombreuses espèces, le phytoplancton sert aussi de nourriture pour une multitude de petits animaux. *In fine*, le rôle du phytoplancton est donc primordial au sein des lacs et il est à la hauteur du nombre de taxons (espèce ou variété) déjà décrits à ce jour : 1008 pour le Léman, 850 pour le lac du Bourget et 733 pour le lac d'Annecy !

Si les conditions environnementales le permettent, il arrive qu'une espèce phytoplanctonique puisse se développer au point de colorer l'eau et lui conférer un statut moyen à mauvais en termes de qualité. Si de plus l'espèce qui prolifère appartient au groupe des cyanobactéries, elle peut constituer une

véritable impasse trophique (c'est à dire qu'elle aboutit à une production qui n'est pas utilisée par les éléments supérieurs de la chaîne alimentaire) et mettre en péril le fonctionnement de l'écosystème* tout entier (comme c'est aussi le cas en mer avec certains groupes, comme les dinoflagellés). La présence des cyanobactéries dans les eaux douces est attentivement surveillée du fait de leur capacité à proliférer et à produire des efflorescences, appelées encore fleurs d'eau, amas ou blooms. Ce phénomène est déjà arrivé dans les grands lacs péri-alpins (Nantua, Bourget, Léman) avec des espèces répondant aux noms de *Planktothrix rubescens* ou *Microcystis aeruginosa*.



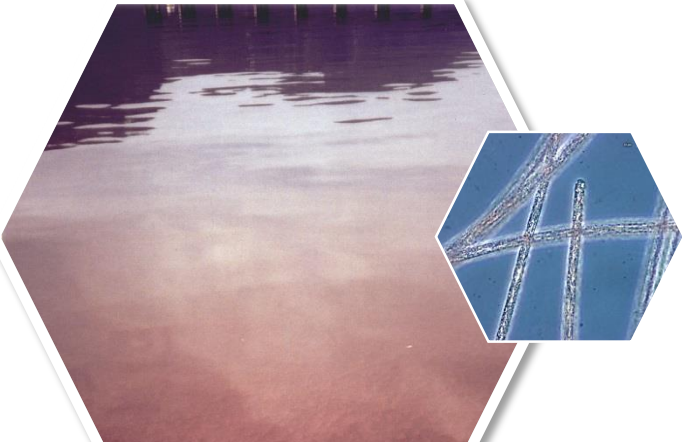
La cyanobactérie coloniale toxique *Microcystis aeruginosa* peut aussi proliférer et s'accumuler sur les berges, colorant le lac en vert puis en jaune quand l'espèce meurt. Ce fut le cas dans le lac du Bourget à la fin de l'été 2015



L'espèce *Mougoetia gracillima* se développe régulièrement de manière abondante dans le Léman et peut se prendre dans les filets de pêcheurs qu'elle rend visible aux poissons

Ce qu'il faut retenir

Le plancton végétal (ou phytoplancton) est une composante clé du fonctionnement lacustre. Il peut parfois proliférer de façon trop abondante. On parle alors d'efflorescence ou bloom, qui peuvent causer des problèmes d'ordre écologique ou sanitaire, surtout quand il s'agit de cyanobactéries toxiques.



Quand la cyanobactérie filamenteuse toxique *Planktobryonum rubescens* prolifère, le lac peut prendre à sa surface une couleur rouge lie de vin. C'est la raison pour laquelle elle a aussi été nommée « sang des bourguignons » en souvenir de la bataille de Morat (victoire des Suisses, alliés de Louis XI, sur Charles le Téméraire, le 22 juin 1476) où de nombreux Bourguignons moururent dans le lac et dont le sang coulé aurait ainsi coloré le lac

Au-delà des dommages écologiques associés à ces proliférations (désoxygénation, déséquilibre des réseaux trophiques, mortalités de poissons, perte de diversité, altération des macrophytes* aquatiques en diminuant la pénétration de la lumière sur le système foliaire, etc.), certaines cyanobactéries produisent des toxines susceptibles d'affecter la santé humaine et animale. Plusieurs chercheurs de l'INRA de la SHL Thonon-les-Bains ont travaillé et travaillent sur le déterminisme de l'apparition de ces blooms et sur la caractérisation de leur toxicité. La surveillance est donc de

mise même si diminuer leur quantité dans les eaux c'est, avant tout, réduire le principal facteur limitant leur croissance qui est le phosphore et qui provient du bassin versant*.

A noter que d'autres espèces, qui ne sont pas des cyanobactéries, peuvent aussi proliférer dans les lacs. Dans le Léman, on peut citer l'espèce filamenteuse *Mougeotia gracillima* (apparentée aux algues vertes) qui prolifère de temps en temps et que les pêcheurs redoutent car elle peut rendre visible les filets de pêche auxquels elle s'accroche et réduire ainsi le nombre de capture des poissons.

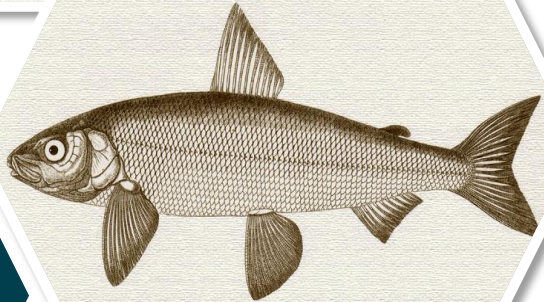
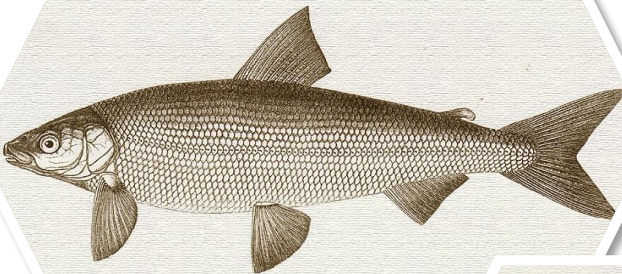
COMPRENDRE



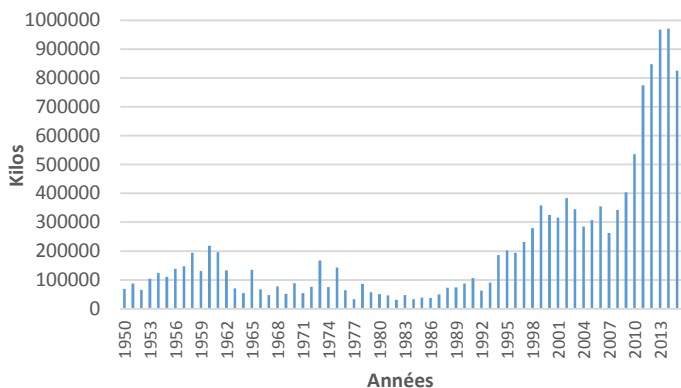
Le retour du corégone

Le corégone est un des poissons emblématiques de nos lacs alpins et en particulier du Léman. Il est généralement très apprécié pour la qualité gustative de sa chair. Au début du 19^{ème} siècle, deux espèces autochtones (*Coregonus schinzi fera* dite « Féra » et *Coregonus hiemalis* dite « Gravenche »), cohabitaient dans le lac. Au début du siècle précédent, ces espèces ont progressivement disparu en raison d'une pression de pêche trop importante, de l'introduction d'autres espèces de corégones importées d'autres lacs, en particulier du Lac de Neuchâtel, et ensuite de la dégradation des frayères* qui accompagna l'eutrophisation* du Léman à partir des

années 1950. Afin de maintenir un niveau de population suffisant pour l'exploitation professionnelle, le pacage lacustre qui consiste à relâcher des alevins produits en pisciculture à partir de gamètes prélevées sur des poissons du lac, a été une pratique courante dans le Léman. Aujourd'hui, suite aux nombreuses introductions du passé, l'espèce présente dans le Léman (*Coregonus lavaretus*, appelée « Féra ») est une forme hybride, proche d'une espèce du Lac de Neuchâtel. Depuis les années 1990, la population de corégone a retrouvé un niveau équivalent à la période avant l'eutrophisation et est même en nette augmentation.



Coregonus schinzi fera dite (haut)
& *Coregonus hiemalis* (bas)
Source: Jurine 1825 (original) &
Kottelat M. and J. Freyhof 2007.
Handbook of European freshwater
fishes. Kottelat, Cornol, Switzerland
and Freyof, Berlin, Germany
(modified)



Evolution des captures par les pêcheurs professionnels
 Source : Direction Départementale des Territoires de Haute-Savoie

Le retour en nombre de ce poisson est la conséquence d'une part, des mesures de restauration qui ont été prises pour limiter les apports en phosphore au lac, mais aussi, d'autre part, de conditions climatiques favorables. La baisse des concentrations en phosphore a conduit à l'amélioration de la qualité des zones de frayères, ayant pour effet d'augmenter le taux de succès de reproduction du corégone. De plus, ces dernières années, des températures printanières plus élevées ont favorisé la croissance des larves de corégone et ont permis un bon synchronisme entre les éclosions et le pic d'abondance printanier de leurs proies, favorisant le

recrutement* en permettant à plus d'individus d'atteindre la taille adulte. Cette combinaison, entre un meilleur succès de reproduction et l'augmentation du taux de recrutement, résulte en l'accroissement de la population de corégone, ainsi qu'à celui du stock de géniteurs, dans un contexte de pression de pêche raisonnable. Toutefois, si les températures du lac sont aujourd'hui favorables au corégone, l'augmentation due au réchauffement climatique devrait au contraire compromettre la reproduction naturelle de ce poisson qui se trouve déjà en limite sud de son aire de répartition géographique.

Ce qu'il faut retenir

Grâce aux mesures de restauration qui ont permis d'abaisser les concentrations en phosphore et des températures printanières plus chaudes, les conditions actuelles sont très favorables au corégone, le stock pêché atteignant des niveaux records : plus de 800 tonnes depuis 2012. Mais demain, face au changement climatique, de nouveaux dangers s'annoncent pour sa survie.

COMPRENDRE



Le transfert et l'impact de contaminants

Au fil des années, les contaminants présents dans les milieux lacustres ont évolué, en quantité et en nature, en fonction de l'occupation des bassins versants* et en particulier de l'urbanisation et des traitements mis en œuvre (réseaux d'eaux usées et stations d'épuration). Les impacts observés sur la faune et la flore ont également changé, en réponse aux changements de niveaux de contamination.

C'est ainsi que la SHL a travaillé dès les années 1970 sur les effets des excès de phosphore, issus des zones urbaines et agricoles, dans les grands lacs alpins. Ce phénomène connu sous le nom

d'eutrophisation*, entraîne une prolifération algale, gênante pour la pêche, créant des désoxygénations du milieu lors de sa décomposition, ou encore pouvant entraîner la prolifération de cyanobactéries toxiques. Le laboratoire a développé des protocoles d'analyses pour identifier les différentes formes physiques du phosphore (dans l'eau et les sédiments) et a mis en évidence l'évolution des concentrations sur plusieurs dizaines d'année (Léman, Annecy, Bourget) et a pu montrer le retour à des conditions environnementales satisfaisantes de la qualité écologique de ces milieux.



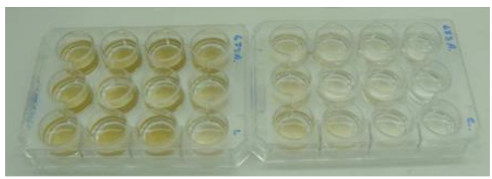
Un excès de phosphore entraîne une prolifération d'algues, pouvant se révéler néfaste pour l'équilibre du milieu (eutrophisation)



La réglementation sur les déchets chimiques et les micropolluants est de plus en plus contraignante, mais de nombreux résidus se retrouvent encore dans les milieux aquatiques

Depuis cette crise du phosphore, la SHL a développé des travaux sur l'évaluation d'effets de substances considérées comme micropolluants* (résidus d'herbicides ou de médicaments). Ces molécules, présentes à l'état de trace dans l'environnement, proviennent d'origines multiples: ruissellement des zones de cultures, rejets d'eaux résiduaires* traitées ou non, voire même transfert via le vent et les poussières atmosphériques. La SHL a développé des méthodes d'analyses (des "bioessais") pour caractériser l'effet des toxiques, essentiellement basées sur les algues. Ces méthodes sont basées sur des changements de biodiversité* au sein de

communautés naturelles ou des modifications de fonctions en présence de molécules toxiques. Cette évaluation d'effets s'effectue souvent en laboratoire, en conditions contrôlées, mais aussi sur le terrain par analyses d'échantillons naturels. Enfin, certains contaminants présents dans les lacs, en particulier eutrophes, peuvent être d'origine naturelle: ce sont les cyanotoxines, produites par certains espèces de bactéries (les cyanobactéries). La SHL a développé des méthodes d'analyse de ces molécules et étudié leur transfert au sein de la chaîne alimentaire, jusqu'au poisson.



Tests d'écotoxicologie réalisés en laboratoire sur une culture d'algue, pour étudier l'effet de résidus d'herbicide

Ce qu'il faut retenir

En lien avec le développement humain sur les bassins versants*, la nature des contaminants présents dans les grands lacs change. D'une pollution essentiellement liée au phosphore dans les années 1960-1980, les lacs alpins font désormais parfois face à des contaminations aux micropolluants*, dont les mécanismes d'effets sont encore mal connus.

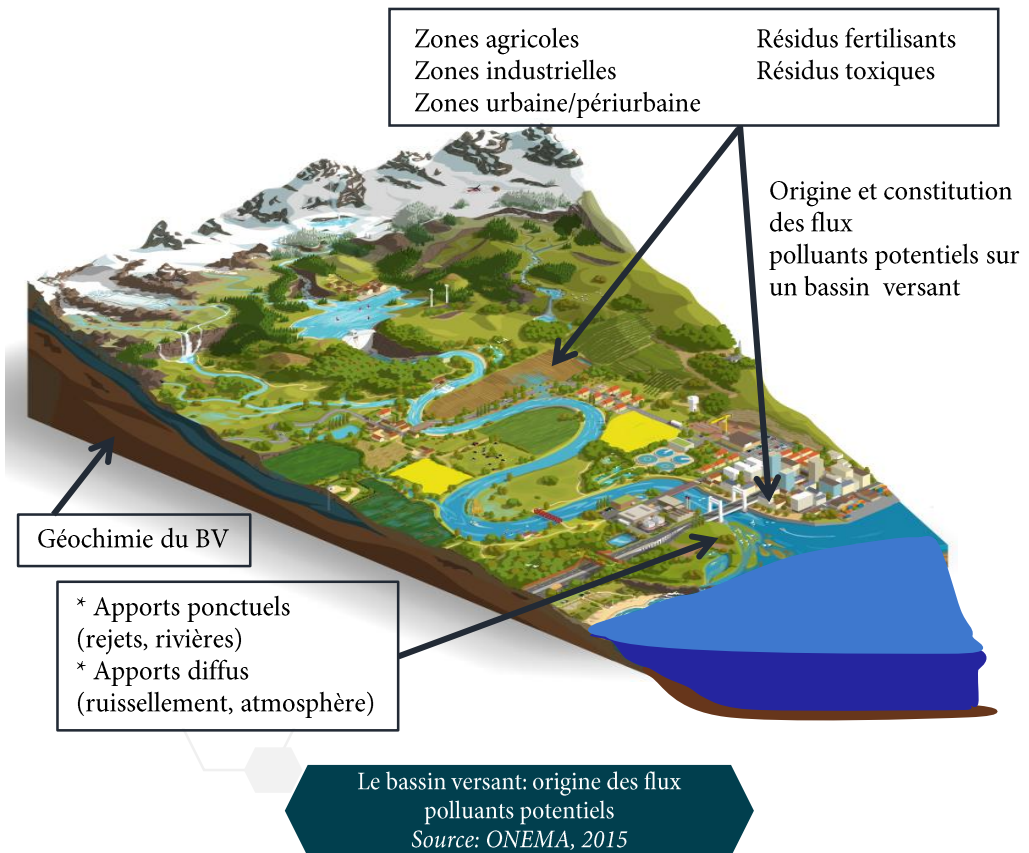
COMPRENDRE



Le bassin versant : une composante essentielle de l'environnement lacustre

Les lacs ne sont pas des systèmes isolés : leur état, leur fonctionnement et les ressources qu'ils nous fournissent, dépendent étroitement, pour le meilleur et pour le pire, des divers flux de matières et d'énergies provenant de leurs environnements (terrestre et atmosphérique). Une des influences environnementales majeures s'exerce via les affluents*. Ceux-ci collectent l'eau provenant de tout le territoire qui constitue leur bassin versant* (avec ses villes et villages, ses forêts et ses

champs). L'eau ayant la capacité de dissoudre, d'éroder, de transporter et de diluer, le réseau hydrographique d'un affluent véhicule ainsi vers le lac des matières particulières et dissoutes (divers « sels ») résultants de l'action de l'eau sur les roches et les sols et des rejets d'eaux usées (égouts divers). Ce transfert entre bassin et lac contribue à la formation des sédiments du fond, à la composition chimique des eaux, en particulier en nutriments et polluants, et au-delà à l'état et aux usages des lacs.



Les quantités ainsi transférées sont très variables selon le bassin et sa taille, selon le composé considéré et son utilisation par les activités humaines. Tous les flux entrant ne posent pas un problème et l'éventuel problème n'est pas lié qu'à l'intensité du flux considéré : les micropolluants* par exemple auront un effet sur les organismes lacustres à des doses 1000 ou 10000 fois plus faibles que le phosphore. Certains flux ne dépendent quasiment que de phénomènes naturels et ne sont pas significativement influencés par l'Homme : c'est le cas des flux de sels de calcium, magnésium, silicium, aluminium etc. produits par l'altération des roches. D'autres flux naturels s'accroissent sous l'effet des activités humaines qui produisent, concentrent, importent et dispersent ces substances

dans le bassin versant. C'est le cas des chlorures et des nutriments (azote et phosphore), dont les flux s'accroissent considérablement avec les rejets d'eaux usées et/ou de lessivage* de sols enrichis (fertilisations, décharges) ou de routes (salage). L'accroissement du phosphore a été à l'origine d'une pollution majeure, désormais maîtrisée de nos grands lacs alpins, appelée l'eutrophisation*. Les flux des métaux lourds (Cadmium, Zinc, Cuivre...) et de micropolluants (résidus médicamenteux, PCB*, etc.), tendent aussi à s'accroître, en lien au développement urbain et industriel, avec des risques de toxicité avérés. Une partie de ces polluants est susceptible de se stocker dans les sédiments et de devenir une source réactivable de contamination.

Ce qu'il faut retenir

Lors de son transit dans le bassin versant, l'eau acquiert une charge dissoute et particulaire comprenant souvent des composés polluants qui dépendent des activités humaines et dont l'impact sur le lac varie selon la composition et la dose. La gestion des bassins versants est donc un élément essentiel pour contrôler la qualité, notamment des grands lacs alpins que ni la taille, ni la profondeur, ni le cadre paysager naturel montagnard (trompeur), ni la proximité de la Suisse, ne mettent à l'abri des pollutions.

COMPRENDRE



AGIR

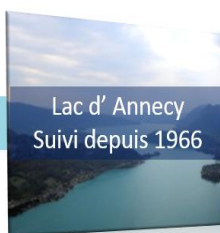


L'Observatoire des Lacs (OLA) : une action sur le long terme

L'observation environnementale à long terme est une démarche de recherche indispensable pour comprendre le fonctionnement et la dynamique des écosystèmes* face aux changements globaux (climat, usages de sols, pollutions, etc.). Deux volets sont nécessaires : un volet scientifique (que veut-on étudier et comprendre ?) et un volet technique (quels moyens humains et scientifiques faut-il mettre en œuvre ?). L'objectif particulier de l'observatoire OLA est de fournir des données scientifiques de qualité pour comprendre et modéliser l'évolution de l'état et des fonctionnements écologiques de systèmes lacustres soumis aux changements environnementaux.

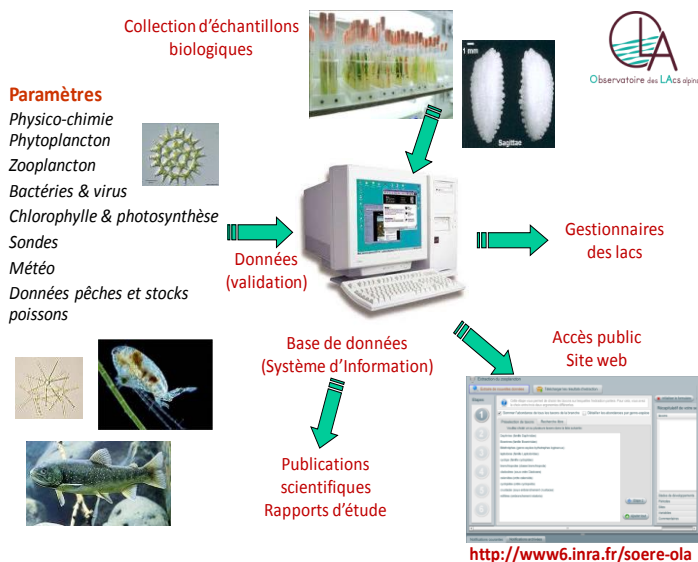
Dans le cadre de ses missions, la SHL a

donc organisé les moyens scientifiques et techniques nécessaires, en lien avec les structures publiques en charge de la gestion des lacs (souvent des syndicats intercommunaux). D'abord organisé en Observatoire de Recherche en Environnement (ORE), spécifique à l'INRA et ciblé sur les trois grands lacs périalpins, le système d'observation s'est élargi en 2010 en SOERE (Système d'Observation et de Recherche en Environnement, labellisé par le Ministère de la Recherche), et rassemblant actuellement 8 laboratoires nationaux et intégrant une vingtaine de lacs.



Les trois grands lacs naturels d'Annecy, du Bourget et le Léman sont au centre de l'observatoire. Plus récemment des lacs d'altitudes ainsi que le lac Pavin, le lac d'Aiguebelette et celui de Remoray ont été associés





Mode d'organisation du SOERE OLA

Concrètement, ces suivis reposent sur des prélèvements et des mesures *in situ* réguliers, des échantillonnages d'eau et d'organismes biologiques, sur lesquels sont réalisés des analyses physicochimiques (détermination de la qualité de l'eau) et biologiques (caractérisation de la biodiversité*). Toutes les données acquises sont validées par les techniciens et les scientifiques avant d'être insérées dans une base de données informatisée (le

Système d'Information), qui permet l'archivage de milliers de données, organisée de façon structurée et accessible par chacun, scientifique ou non. En complément, la SHL a créé et entretient des collections d'échantillons biologiques qui forment une mémoire du passé (écailles et pièces osseuses de poissons, algues, zooplancton etc.) et qui peuvent être réutilisés à des fins scientifiques, notamment en lien avec les évolutions des techniques d'analyses.

Ce qu'il faut retenir

Les causes et les effets des changements d'état des grands lacs s'observent à long terme : les lacs présentent une forte inertie et les facteurs du changement agissent à l'échelle décennale voire plus. Inscrire les recherches dans le temps est donc une nécessité et c'est ce que permet l'observatoire OLA.

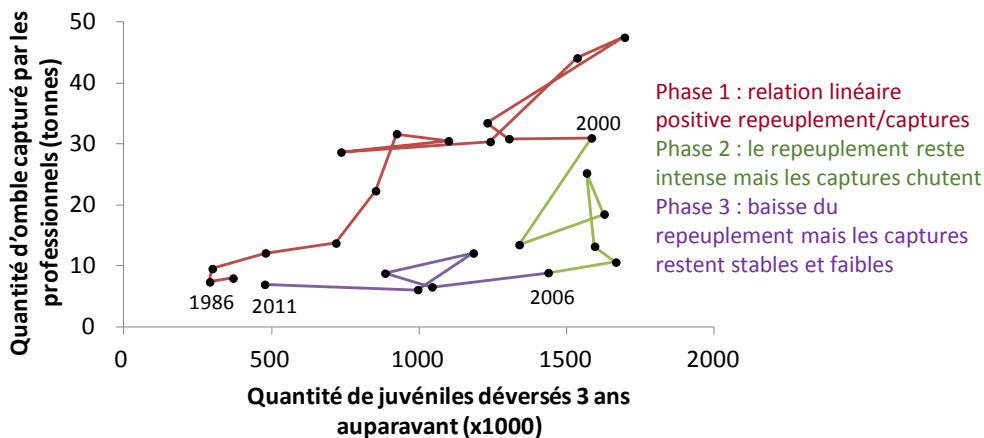
AGIR



Le repeuplement pour soutenir les populations de poissons : intérêt et limites

Les populations de salmonidés des grands lacs alpins ont montré au cours de leur histoire récente (les 70 dernières années) des fluctuations marquées de leur abondance: elles se sont appauvries génétiquement et ont parfois été menacées de disparition complète, souvent en lien avec les activités humaines. La truite lacustre, le corégone (ou féra ou lavaret) et l'omble chevalier ont donc eu besoin de l'aide de l'Homme pour se maintenir. Le repeuplement est un des outils à disposition des gestionnaires pour maintenir et renforcer les populations. Il peut être effectué à partir du maintien de populations en captivité, donc plus

ou moins domestiquées, mais cette pratique montre d'importantes limites. En effet, des poissons trop domestiqués ne sont plus capables de vivre et se reproduire spontanément dans le milieu naturel. Mais depuis très longtemps dans nos grands lacs, une autre approche consistant à capturer des géniteurs dans le milieu naturel, à en récupérer les gamètes - laitance et ovules - et à réaliser des fécondations artificielles, a été mise en place. Les géniteurs sont remis à l'eau, et les œufs obtenus sont élevés en pisciculture pendant plusieurs mois afin de produire des alevins qui sont ensuite relâchés dans la nature.



Evolution au cours du temps des relations entre effort de repeuplement et captures d'ombles chevaliers par les pêcheurs professionnels au Léman
Source : Champigneulle et Caudron, 2013

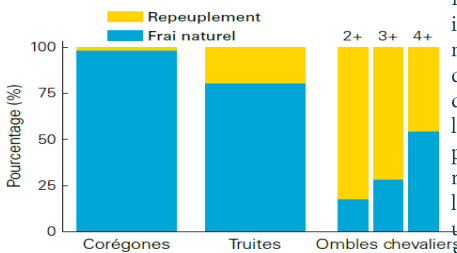
Les travaux menés à l'INRA ont permis de montrer que ces pratiques de repeuplement avaient des efficacités variables selon les espèces, les lacs et même selon les piscicultures. En marquant les poissons relâchés, il est alors possible d'évaluer leur proportion dans les pêches par rapport aux poissons issus de la reproduction naturelle, qui sont non marqués, et d'estimer ainsi leur contribution aux populations en place. Ainsi, il apparaît que, dans le Léman, la majorité des ombles capturés par la pêche sont nés en pisciculture : sa survie

dépend donc du repeuplement. En revanche, pour la féra et pour la truite, la contribution du repeuplement est actuellement beaucoup plus modeste, mais a été importante dans les années du pic d'eutrophisation* (aux alentours de 1980) permettant de façon temporaire le maintien de ces populations de poissons. Les connaissances scientifiques développées par la SHL ont donc permis de proposer des modalités de gestion de la ressource piscicole lacustre et le maintien des poissons emblématiques de nos lacs

Ce qu'il faut retenir

Le repeuplement a permis de maintenir certaines populations dans nos lacs et c'est une méthode qui a été très utile lors de la période d'eutrophisation*. Cependant à long terme, d'un point de vue biologique, ce n'est pas une solution viable à cause d'effets négatifs : soustraction de géniteurs à la reproduction naturelle, mortalité induite par leur capture et altération génétique qui modifie les caractéristiques des populations et leur capacité à se maintenir naturellement.

Le marquage par bain, avec une substance fluorescente rose qui se dépose sur les pièces osseuses



Proportion de salmonidés issus de la reproduction naturelle (en bleu) et issus du repeuplement (en jaune) dans le Léman. Chez l'omble, la contribution des poissons issus du repeuplement diminue de l'âge 2+ à l'âge 4+ révélant une plus faible survie

Source : Champigneulle et Caudron, 2013

AGIR



Le barcoding des diatomées: la bioindication du futur

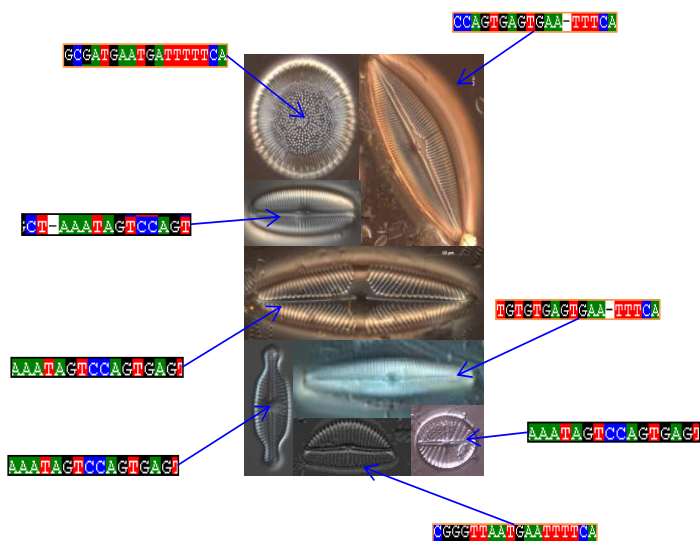
Les diatomées sont des algues microscopiques possédant une enveloppe externe en silice transparente et rigide (le frustule), caractéristique de chaque espèce. Il en existe plus de 100 000 espèces dans le monde. Dans les cours d'eau et les lacs, ces algues se développent notamment en formant un « biofilm* », très fine pellicule se développant sur toutes les surfaces immergées et constituées d'une communauté de micro-organismes. Grâce à leur sensibilité à la pollution de l'eau due notamment aux enrichissements en nutriments et en matière organique*, les diatomées constituent d'excellents bioindicateurs de la qualité des milieux aquatiques.

C'est pour cette raison que la Directive Cadre sur l'Eau (DCE)*, qui a notamment pour objectif l'atteinte du

bon état écologique des milieux aquatiques, préconise parmi d'autres indicateurs l'utilisation de ces micro-organismes pour évaluer l'état de santé des milieux d'eau douce. A l'heure actuelle, des méthodes normalisées sont déployées uniquement sur les cours d'eau (indice biologique diatomées ou IBD). Elles sont basées sur des prélèvements pendant l'été de biofilms en rivières, qui sont ensuite observés au microscope pour identifier et dénombrer les différentes espèces présentes. Le niveau de pollution du milieu échantillonné est ensuite évalué en calculant des indices de qualité qui combinent l'abondance des espèces avec leur tolérance connue vis-à-vis de la pollution.



Prélèvements de diatomées sur le Léman



Analyse de l'ADN des diatomées : L'ADN permet de connaître quelles espèces sont présentes dans le milieu aquatique et donc d'évaluer son niveau de pollution

Depuis 2010, les équipes de l'INRA de Thonon-les-Bains sont en association avec l'unité Biodiversité, GENes et Communautés (Unité BIOGECO, Inra-Université de Bordeaux) pour le développement d'une méthode novatrice d'identification taxonomique basée sur l'ADN (métabarcoding). Cette innovation est basée sur l'analyse de petits fragments d'ADN (barcodes), caractéristiques des espèces de diatomées et issus du séquençage massif des biofilms, complétée par une

technologie originale de traitement des données massives produites par le séquençage haut-débit. Cette méthode, appelée à être utilisée à grande échelle sur tous les milieux aquatiques, a été validée par des études sur les rivages du Léman et des cours d'eau de Mayotte. Elle s'appuie sur une base de données (R-Syst::diatom) déjà riche de plus de 5 000 spécimens et qui permet d'identifier les diatomées à partir de séquences moléculaires.

Ce qu'il faut retenir

Les diatomées sont des microalgues indicatrices de la qualité des milieux aquatiques. Leur composition en espèce renseigne sur le niveau de pollution. Des analyses sont réalisées en microscopie sur tous les milieux aquatiques (lacs et rivières), mais celles-ci sont longues et requièrent des experts pour l'identification. Une méthode innovante basée sur l'analyse de l'ADN des diatomées est développée à Thonon-les-Bains. Des tests probants ont été réalisés sur le Léman ainsi que dans des cours d'eau tropicaux. En 2016, une grande campagne d'échantillonnage à l'échelle nationale a été lancée.

AGIR

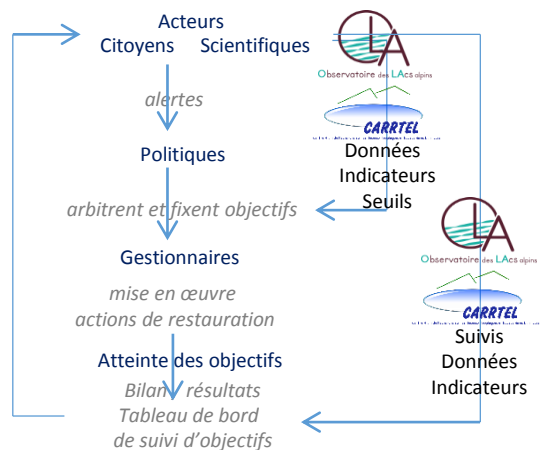


Scientifiques et gestionnaires : un travail coordonné

Depuis la prise de conscience collective de la dégradation de la qualité des lacs dans les années 1960, les interactions entre les scientifiques de l'INRA et les gestionnaires ont toujours été étroites. Elles se sont très vite révélées indispensables, tant pour élaborer la définition des indicateurs de qualité et des questions scientifiques autour du fonctionnement des lacs, que pour établir les suivis saisonniers permettant de mesurer l'évolution des lacs. Ceci a nécessité (et nécessite toujours) de nombreuses discussions entre les deux partenaires : comment traduire les besoins de gestion en questions scientifiques auxquelles les chercheurs pourront répondre et, inversement, comment réaliser une traduction des résultats scientifiques en outils ou méthodes utiles et utilisables par les gestionnaires.

Ce partenariat s'appuie sur la mise en place de contrats annuels ou pluriannuels qui définissent et cadrent les actions des partenaires, chacun ayant des missions spécifiques : établissement de connaissances scientifiques et des données de suivis par la SHL, mise en place d'actions de restauration par les gestionnaires. C'est ainsi que s'est très vite établi la nécessité d'avoir des suivis

récurrents (c'est à dire à des rythmes annuels) pour établir les tendances d'évolution de la qualité des lacs sur le long terme, en évitant les variations interannuelles. C'est, en particulier, la mission de l'observatoire OLA, piloté par la SHL, qui après avoir débuté il y a une cinquantaine d'années par l'étude du Léman, puis du lac d'Annecy et du Bourget, a été labellisé en 2010 par le Ministère de la Recherche. Il a ainsi atteint une reconnaissance nationale et internationale, intégrant le lac Pavin (Auvergne), des lacs du Jura, des lacs alpins d'altitude, le lac d'Aiguebelette et en s'insérant dans un réseau mondial de suivi de lacs.



Organigramme des interactions
scientifiques- gestionnaires (et plus
généralement des acteurs)



Programme quinquennal 2011-2015

RAPPORTS SUR LES ETUDES ET RECHERCHES ENTREPRISES DANS LE BASSIN LEMANIQUE

Campagne 2014

Les rapports annuels publiés par les gestionnaires (CIPEL, CISALB, SILA, etc..) sur la qualité des lacs reposent sur une coopération avec des scientifiques de la SHL (ici le rapport annuel 2014 sur le Léman)

Ce qu'il faut retenir

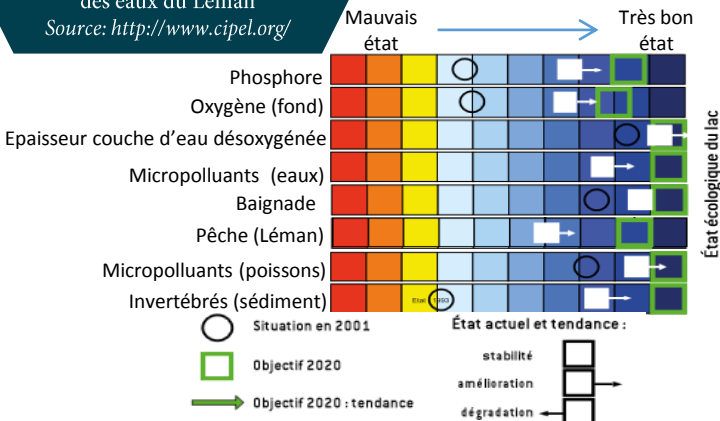
La surveillance de l'état des lacs et de leur qualité passe par une co-construction entre scientifiques et gestionnaires, à la fois pour leur complémentarité de compétences, mais aussi pour la mise en commun de moyens humains, techniques et financiers.

Concrètement, ces suivis sont co-construits avec les partenaires (moyens financiers, techniques, paramètres pertinents, saisonnalité, etc.) et les rapports annuels de suivis sont discutés et validés par des Conseils Scientifiques. Le Léman est un cas particulier, car en tant que lac international, sa gestion est sous le contrôle des deux états, suisses et français et est confié à la

Commission International des Eaux du Léman (CIPEL)*.

Une utilisation concrète des avancées scientifiques de la SHL est l'établissement de tableaux de bords par les gestionnaires, qui sont un outil d'aide au pilotage et au suivi de l'efficacité des actions de restauration mises en place.

Exemple de tableau de bord utilisé par la CIPEL pour évaluer l'avancée de l'amélioration de la qualité des eaux du Léman
Source: <http://www.cipel.org/>



AGIR

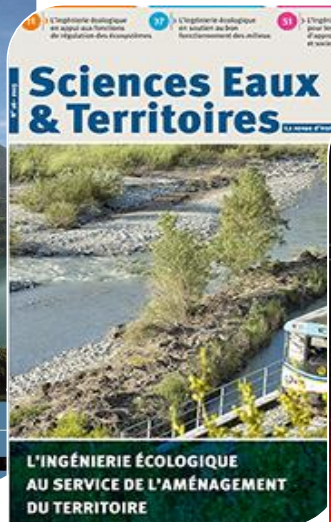
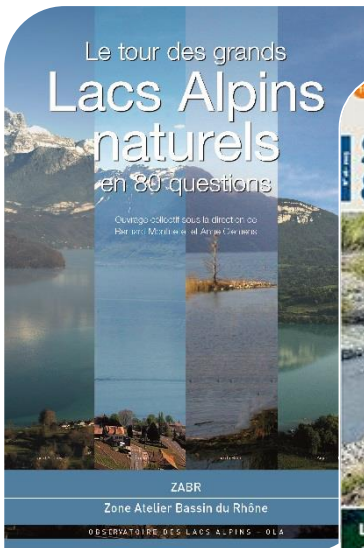


Transmettre, c'est agir

La mission principale du scientifique est de produire des articles dans des revues scientifiques de haut niveau. Les connaissances acquises sont diffusées, avec des règles précises et sous le contrôle de ses pairs, à l'ensemble de la communauté scientifique. Le savoir ainsi partagé permet de faire progresser l'ensemble de nos connaissances et aboutit, à plus ou moins long terme, à des progrès technologiques ou d'ingénierie, des progrès majeurs dans telle ou telle discipline, des connaissances théoriques, etc. Le chercheur assure en parallèle une formation par la recherche, en encadrant des étudiants de différents niveaux (post-doctorants, thésards, etc.) et en participant à l'enseignement à l'université.

Mais il se doit aussi de diffuser son

savoir au plus grand nombre afin de faire partager ses recherches, porter à la compréhension du public les progrès réalisés sur les domaines étudiés et faire partager ses connaissances des grands enjeux sociétaux au public. Le laboratoire INRA de Thonon-les-Bains a ainsi porté à la connaissance du plus grand nombre, les évolutions de la qualité des lacs, les facteurs qui les influencent (eutrophisation*, urbanisation, pollutions diverses, changement climatique, etc.). Financée par l'ensemble de la société, de façon directe ou indirecte, cette mission se traduit par la production d'articles de vulgarisation scientifique, des communications lors de conférences grand public, des vidéos mises sur les réseaux sociaux, l'édition de livres et l'organisation de journées portes ouvertes.



La SHL valorise ses travaux par différents type de publications : revue, ouvrage,...



Ce partage des connaissances avec le plus grand nombre, l'acte de vulgariser, met ainsi les recherches effectuées dans notre unité, avec leurs limites et leurs incertitudes, à la portée de tous. Le citoyen peut ainsi avoir un regard critique sur les enjeux et les travaux de la communauté scientifique. Le vulgarisateur inscrit ses recherches dans le contexte sociétal, humain, culturel, politique qui a permis à leur aboutissement. Enjeux forts de son travail, malheureusement parfois oubliés, c'est aussi par ce partage des connaissances et cette fonction d'alerte que la société évolue.

A partir de la fin des années 1950, le Léman a été touché par le phénomène d'eutrophisation : son aspect a changé, les couches profondes se sont désoxygénées et les poissons nobles se sont raréfiés. Les scientifiques du laboratoire de Thonon-les-Bains ont étudié ce phénomène, ses conséquences sur le fonctionnement du lac mais aussi sur l'origine de cette pollution. Ces crises de qualité du lac, dues à l'eutrophisation, ont pu se résoudre grâce à cette interaction sciences-société et le travail de vulgarisation de nos chercheurs.

Ce qu'il faut retenir

Si la transmission scientifique permet les échanges entre spécialistes et permet de stimuler découvertes et progrès, elle doit aussi être transmise, de façon compréhensible, aux citoyens. C'est un élément de culture et d'aide à la décision publique. C'est ainsi que, dans la crise d'eutrophisation* qui a touché le Léman à la fin des années 1950, l'INRA a publié des informations scientifiques qui ont alerté la société, amenant les pouvoirs publics à prendre des mesures de restauration.



Accueil du public lors de Journée Portes Ouvertes (Fête de la Science).

AGIR



Les recherches participatives : une démarche scientifique originale et ouverte

Les sciences participatives (ou citoyennes) connaissent un essor singulier ces dernières décennies. Il s'agit de programmes de recherche qui associent des scientifiques et des citoyens, amateurs volontaires ou éclairés, spécialistes à la retraite, etc. sur un projet particulier (souvent en lien avec l'environnement). Leur notoriété croît au sein des structures de recherche ou de gestion et de la société civile, car elles permettent d'accéder à des données jusqu'alors peu ou pas exploitées, tout en impliquant le public. La SHL mène des projets participatifs, dans des domaines variés tels que l'agriculture ou la gestion des pêches.

Depuis les années 1990, la SHL collabore étroitement avec les pêcheurs amateurs et professionnels pour une gestion durable de la pêche au lac d'Annecy. Les pêcheurs prennent part aux discussions dans les différentes phases des démarches de recherche. Des données et matériels biologiques sont récoltés par ces deux groupes de pêcheurs (écailles, otolithes, contenus stomacaux, ...) et analysés par les scientifiques. L'analyse des échantillons permet de suivre l'évolution de l'état des populations de poissons. Ce suivi à long terme permet d'aboutir à une gestion partagée par l'ensemble des acteurs concernés.



Commission réunissant les acteurs de la pêche à Annecy : pêcheurs amateurs et professionnels, gestionnaire du lac, administration, police de l'eau, élus, scientifiques et association environnementale



Le paysage d'avant pays du lac d'Aiguebelette est un site d'étude du programme 'Pour et Sur le Développement Régional 4' impliquant collectivités, chercheurs et agriculteurs

En associant structures de recherche, collectivités locales et profession agricole, la SHL a initié un programme de modélisation participative sur le bassin versant* du lac d'Aiguebelette. Il vise à comprendre dans quelle mesure les dynamiques paysagères peuvent aider à valoriser différents services fournis par les écosystèmes* (épuration de l'eau, transition agro-écologique,...). Le processus participatif permet d'intégrer des acteurs locaux dans des modèles décrivant des évolutions paysagères, leurs liens avec la circulation de l'eau, les fonctionnements des systèmes agronomiques.

Le développement des technologies 2.0 offre de nouvelles opportunités pour les sciences participatives. Elles facilitent la collecte de données, la co-construction de projets (jeux de rôles sur plateformes de simulation, applications pour smartphones, ...) et permettent des échanges entre citoyens et scientifiques favorisant la progression des connaissances. Cependant, pour rester crédible, la science développée dans les contextes participatifs doit conserver son objectivité et sa rigueur. De plus, l'investissement du citoyen doit reposer sur un choix volontaire de rentrer dans le processus participatif et d'en déterminer les modalités.

Ce qu'il faut retenir

Les sciences participatives permettent d'intégrer les citoyens dans les processus scientifiques de compréhension de leur territoire. Elles permettent une meilleure interaction entre spécialistes et citoyens, permettant de rendre compte des liens entre les composantes écologiques et sociétales de notre environnement.

AGIR



GLOSSAIRE



Affluent : parfois appelé le tributaire en hydrologie, c'est un cours d'eau qui se jette dans une rivière plus grande, un fleuve ou qui alimente un lac.

Amer : point de repère fixe et clairement identifiable, par exemple sur la berge d'un lac.

Allochtone : qualificatif utilisé pour désigner des espèces d'origine étrangère au milieu local.

Anthropique : relatif à l'activité humaine. Qualifie tout élément résultant directement ou indirectement par l'action de l'homme: érosion des sols, pollution par les pesticides des sols, etc.

Autochtone : qualifie ce qui habite en son lieu d'origine.

Bassin-versant : portion de territoire délimitée par des lignes de crête (ou lignes de partage des eaux) et irriguée par un même réseau hydrographique (une rivière, avec tous ses affluents et tous les cours d'eau qui alimentent ce territoire). A l'intérieur d'un même bassin, toutes les eaux reçues suivent, du fait du relief, une pente naturelle et se concentrent vers un même point de sortie appelé exutoire.

Biofilm : communauté de microbes qui forme généralement une mince couche visqueuse sur toute surface naturelle ou artificielle immergée, essentiellement en milieu aquatique.

Biodiversité : désigne la diversité du monde vivant à tous les niveaux : diversité des milieux (écosystèmes), diversité des espèces, diversité génétique au sein d'une même espèce.

Biomasse : ensemble de la matière organique d'origine végétale ou animale.

Bouteille Niskin : bouteille de prélèvement munie de deux ouvertures et d'un messenger.

Carotte sédimentaire : prélèvement d'un échantillon du sous-sol terrestre ou marin obtenu à l'aide d'un tube appelé carottier que l'on fait pénétrer dans le sous-sol. L'échantillon ainsi obtenu s'appelle une carotte.

Chalutage : technique de pêche utilisant un bateau avec un filet trainé.

Commission internationale pour la protection des eaux du Léman (CIPEL) : organe intergouvernemental franco-suisse, qui contribue depuis 1963 à la coordination de la politique de l'eau à l'échelle du bassin versant lémanique, plus particulièrement entre les départements de l'Ain et de la Haute-Savoie ainsi que les cantons de Vaud, du Valais et de Genève.

Cloche Pelletier : cloche à prélèvement intégré (brevet INRA).

Corne de brume : instrument de signalisation maritime émettant des signaux sonores par temps de brume pour signaler un obstacle ou danger.

Crustacéen : qui fait partie du groupe des crustacés.

Détritivore : se dit d'une espèce vivante qui se nourrit de débris animaux et végétaux.

Directive Cadre sur l'Eau (DCE) du 23 octobre 2000 (directive 2000/60) : définit un cadre pour la gestion et la protection des eaux par grand bassin hydrographique au plan européen avec une perspective de développement durable.

Disque de Secchi : plaque circulaire noire et blanche utilisée pour mesurer la transparence de l'eau.

Eau résiduaire : désigne l'eau qui a fait l'objet d'une utilisation domestique, agricole ou industrielle.

EAWAG : acronyme de « Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz ». C'est un institut mondialement reconnu en matière de recherche, d'enseignement et de conseils d'experts dans le domaine des sciences et technologies de l'eau.

Ecologie : science qui étudie les êtres vivants dans leur milieu et les interactions entre eux; du grec *oikos* (maison, habitat) et *logos* (discours).

Ecosystème : ensemble des êtres vivants (faune et flore) et des éléments non-vivants (eau, air, matières solides), aux nombreuses interactions d'un milieu naturel (forêt, champ).

Eutrophisation : forme singulière mais naturelle de pollution de certains écosystèmes aquatiques qui se produit lorsque le milieu reçoit trop de matières nutritives assimilables par les algues. Les principaux nutriments à l'origine de ce phénomène sont le phosphore (contenu dans les phosphates) et l'azote (contenu dans l'ammonium, les nitrates, et les nitrites). Il en résulte une prolifération des algues avec diminution de la teneur en Oxygène dissout dans les couches profondes par suite de la décomposition des matières organiques mortes ainsi produites, et une sédimentation accrue. L'eutrophisation provoque donc un vieillissement accéléré des eaux superficielles continentales.

Frayère : lieu où les poissons frayent, c'est-à-dire où la femelle dépose ses œufs qui sont ensuite fécondés par le mâle.

Génotype : ensemble ou partie des gènes d'un individu (patrimoine génétique).

Halieutique : qualifie toutes les activités relevant de la pêche sous toutes ses formes, professionnelle (par un halieute) ou de loisirs, en eau douce ou marine.

Hydroacoustique : terme général pour l'étude et l'application du son dans l'eau. L'outil le plus connu est le sonar, couramment utilisé pour la détection, l'évaluation et la surveillance des caractéristiques physiques et biologiques sous-marines, en particulier des poissons.

Hydrobiologie : science qui étudie la vie (la biologie) des organismes aquatiques et de leurs relations avec le milieu qui leur est propre.

Hydrologie : étude du cycle de l'eau et des écoulements, notamment dans les bassins versants.

Isotope : atomes possédant le même numéro atomique (même nombre de protons) mais de masse atomique différente (nombre différent de neutrons).

Lessivage : désigne le transport des éléments du sol (sédiments, engrais, pesticides, etc.) par les eaux de surfaces (pluie).

Limnologie : science des eaux continentales, du grec *limne* (lac) et *logos* (étude).

Macrophyte : ensemble des plantes aquatiques macroscopiques, visibles à l'œil nu.

Macroscopie : est, selon Wikipédia, un jeu de mots se référant à la théorie des trois infinis :

- l'infiniment petit : observable par un microscope,
 - l'infiniment grand : observable par un télescope,
 - l'infiniment complexe : observable par un macroscopie,
- Le terme a été popularisé par Joël de Rosnay en 1975.

Matière organique : désigne la matière décomposée d'origine animale, végétale et bactérienne, des composés organiques issus de déchets et débris de l'environnement trouvé dans un sol.

Microgramme : équivaut à un millionième de gramme.

Micropolluant : substance (minérale, biologique, organique, radioactive..) polluante (et donc altéragène biologique, physique ou chimique) présente dans des concentrations très faibles dans l'eau (de l'ordre du microgramme* ou du nanogramme* par litre), dans l'air ou le sol, et qui peut avoir une action toxique ou écotoxique pour tout ou partie des organismes ou l'écosystème.

Nanogramme : équivaut à un milliardième de gramme.

Nanoplancton : distingue une fraction du plancton dont la taille des organismes est comprise entre 2 et 20 µm.

Nécrophage : qualifie un organisme se nourrissant de cadavres.

Niche écologique : place occupée par une espèce dans un écosystème. Le terme concerne aussi bien l'habitat de cette espèce que le rôle qu'elle joue sur le plan trophique (régime alimentaire).

Oligotrophe : milieu pauvre en éléments minéraux nutritifs, nécessaires à la croissance d'organismes photosynthétiques aérobies. S'oppose à « eutrophe ».

PCB : Les PolyChloroBiphényles, du fait de leur stabilité et de leur faible capacité à se dégrader, sont classés parmi les polluants organiques persistants. Avec le temps et des rejets accidentels, ils se sont accumulés dans l'environnement, en particulier dans les sédiments marins ou d'eau douce. Ils peuvent aussi être toxiques pour l'Homme.

Photosynthèse : processus par lequel les plantes et certaines bactéries utilisent l'énergie solaire pour effectuer la synthèse de molécules organiques à partir de gaz carbonique et d'eau.

Position trophique : position de l'organisme dans la chaîne alimentaire.

Producteur primaire : organisme capable de synthétiser de la matière organique à partir de matières minérales grâce à l'énergie lumineuse. Les producteurs primaires constituent le premier niveau trophique dont dépendent tous les autres êtres vivants.

Recrutement : désigne l'arrivée dans le stock d'une nouvelle classe d'âge.

Réseau trophique : ensemble des relations alimentaires entre espèces au sein d'une communauté et par lesquelles l'énergie et la matière circulent.

Séquence nucléique : succession de nucléotides composant l'ADN et dont l'ordre sous-tend l'information génétique. La technique permettant de connaître cette succession s'appelle le séquençage.

Sonde multiparamètres : sonde permettant la mesure directe de différents paramètres tels que la température, le pH, l'oxygène, etc.

Titre alcalimétrique : sert à connaître les teneurs de l'eau en bicarbonates, carbonates, bases fortes présentes dans l'eau.

Titre hydrotimétrique (T. H.), ou dureté de l'eau : indicateur de la minéralisation de l'eau. Elle est en particulier due aux ions calcium et magnésium.

Liste des contributeurs : ANNEVILLE Orlane, AUGRIT Perrine, BARBIER Christine, BOUCHEZ Agnès, CREPIN Laura, DOMAIZON Isabelle, DORIOZ Jean-Marcel, GOULON Chloé, GUILLARD Jean, HUSTACHE Jean-Christophe, JACQUET Stéphan, LAINE Leslie, LASNE Emilien, LEFEBVRE Guillaume, MARI Lisandrina, MONET Ghislaine, MONTUELLE Bernard, PERGA Marie Elodie, PERNEY Pascal, QUETIN Philippe, RIMET Frédéric, TREVISAN Dominique, VASSELON Valentin



Ce livret ne peut être vendu