



# Les herbiers sous-lacustres

Catalogue réalisé en 2024 dans le cadre de l'exposition  
sur les herbiers sous-lacustres présentée à l'Espace Léman.

# Sommaire

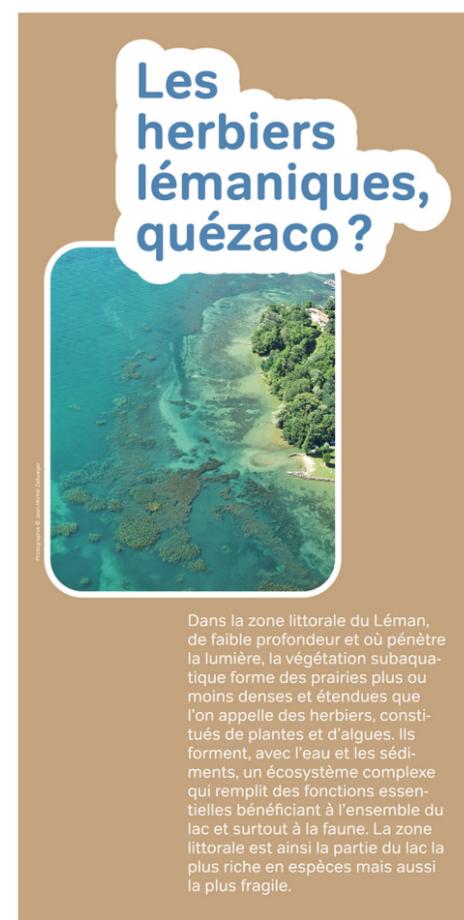
L'exposition	p.4
Plan d'exposition	p.5
Liste des panneaux d'exposition	p.6-7
Des forêts dans le lac, vraiment ?	p.8-19
Rôle des herbiers	p.20-21
Menaces sur les herbiers	p.22-25
Remerciements	p.26-27

# L'exposition

Bienvenue dans cette exposition immersive, dédiée à la découverte des forêts sous-lacustres du Léman. Ces écosystèmes peu visibles depuis la surface, jouent un rôle crucial pour la biodiversité et l'équilibre écologique du Léman. Nous vous invitons à plonger dans ce monde fascinant et peu connu pour comprendre leur importance, la vie qu'ils abritent et saisir les enjeux de leur préservation.

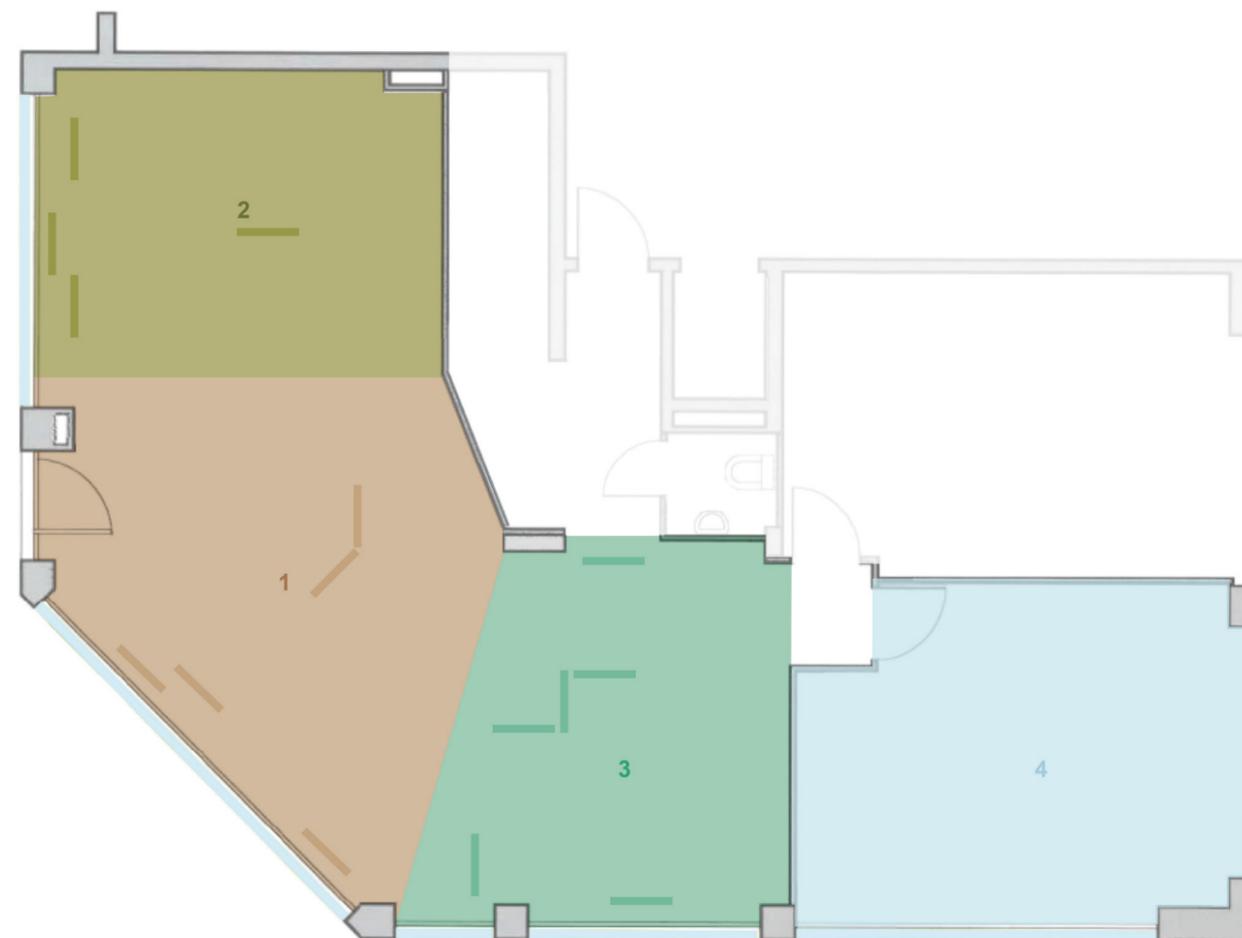
Ce catalogue apporte des informations scientifiques complémentaires à l'exposition. Vous y trouverez des textes qui abordent de manière plus approfondie les thématiques de certains panneaux que l'on retrouve dans les trois salles d'Espace Léman. Au-dessus des divers chapitres du document, sont indiqués les numéros des panneaux correspondants à l'aide d'une pastille numérotée. Vous retrouverez la liste de ces panneaux aux pages 4 et 5 du catalogue.

Pastille numérotée = 1



Exemple d'un panneau d'exposition.

# Plan d'exposition



## 1 – Des forêts dans le lac, vraiment ?

1. Les herbiers lémaniques, quézaco ?
2. Plante aquatique ou algue ?
3. Une biodiversité très réactive
4. Des espèces indigènes menacées
5. Potamot perfolié
6. Chara globuleuse
7. Des espèces exotiques en expansion

## 2 – Rôles des herbiers

8. Repos, habitat et refuges
9. Lieu de ponte et nurserie
10. Oxygénation
11. Nourriture

## 3 – Menaces sur les herbiers

12. Artificialisation des rives
13. Ancrage et bouée d'amarrage
14. Faucardage
15. Eutrophisation

## 4 – Salle d'animation et pédagogie

# 1 – Des forêts dans le lac, vraiment ?

p8 - 19

Le Léman accueille une multitude de variétés de végétaux aquatiques qui donnent naissance à de grands herbiers qui colonisent le fond du lac. Leurs tailles et leurs formes varient, offrant ainsi de magnifiques paysages sous-lacustres.

## 1 Les herbiers lémaniques, quézaco ?

Dans la zone littorale du Léman, de faible profondeur et où pénètre la lumière, la végétation subaquatique forme des prairies plus ou moins denses et étendues que l'on appelle des herbiers, constitués de plantes et d'algues. Ils forment, avec l'eau et les sédiments, un écosystème complexe qui remplit des fonctions essentielles bénéficiant à l'ensemble du lac et surtout à la faune. La zone littorale est ainsi la partie du lac la plus riche en espèces mais aussi la plus fragile.

## 2 Plante aquatique ou algue ?

Souvent appelées « algues » à tort, les plantes aquatiques sont des végétaux supérieurs munis d'un système vasculaire et de racines, tiges, feuilles, fleurs et fruits à graines pour se reproduire. Les algues, quant à elles, sont, le plus souvent, des organismes unicellulaires microscopiques flottant en pleine eau (phytoplancton) ou pluricellulaires, fixées sur les fonds lacustres. Le phytoplancton constitue l'essentiel de la biomasse végétale produite chaque année.

## 3 Une biodiversité très réactive

La richesse en espèces (19 en 2019) et la composition floristique varient constamment d'un herbier à l'autre, ainsi que l'abondance de végétation, la surface et la profondeur colonisée. Toutes ces caractéristiques dépendent de la topographie, de la qualité du substrat et surtout, de celle de l'eau : richesse en nutriments (phosphore, azote) transparence, température. En un siècle, les herbiers ont fait le yoyo entre le meilleur, le pire et le renouveau d'un lac tourmenté par la pollution.

## 4 Des espèces indigènes menacées

Trois espèces sont à ce jour menacées, la characée *Tolyella glomerata*, « en danger » sur la liste rouge suisse, le Potamot fluét et la Zannichellie des marais, qualifiées de « vulnérables ». Quatre autres espèces sont considérées « potentiellement menacées ». A noter parmi ces dernières, la Naïade marine qui est nouvelle dans le Léman mais en régression en Europe et protégée en France.

## 5 Potamot perfolié

Plante d'eau douce entièrement immergée dont seule l'inflorescence émerge de l'eau. Cosmopolite, répandue au nord des Alpes, c'est la plante la plus abondante dans le Léman. Elle apprécie particulièrement les eaux tranquilles ou lentes, profondes et plutôt riches en nutriments. Les tiges peuvent atteindre plus de 6m de long. Elle est pourvue d'un aérénchyme constitué de cellules séparées par des lacunes permettant la circulation de l'air et lui conférant sa flottabilité.

## 6 Chara globuleuse

Cette macroalgue verte de la famille des characées, la plus abondante dans le Léman, se développe dans la zone benthique littorale, fixée sur les fonds meubles par des rhizoïdes. Cette famille de plantes pionnières colonise généralement les lacs, ruisseaux lents et étangs de préférence aux eaux claires, plutôt pauvres en nutriments et aux températures peu élevées, à toute profondeur recevant suffisamment de lumière. Elles constituent un bon indicateur de la qualité des eaux.

## 7 Des espèces exotiques en expansion

Le Léman héberge trois espèces néophytes (introduites après l'an 1500) ou exotiques qui s'avèrent invasives, l'Elodée du Canada, l'Elodée de Nuttall et, plus préoccupante, le Grand Lagarosiphon qui, hautement compétitif, se propage rapidement de manière végétative dans le Léman et peut former des populations denses susceptibles de supplanter les plantes indigènes affaiblies. Leur introduction est vraisemblablement due à des déversements d'aquarium dans le lac.

# 2 – Rôle des herbiers

p20 - 21

Les herbiers remplissent des fonctions essentielles pour l'écosystème lacustre, ce qui justifie pleinement l'importance accordée à leur protection. Leur présence est vitale pour de nombreuses espèces lémaniques, tels que certains crustacés, mollusques, oiseaux ou poissons.

## 8 Repos, habitat et refuges

Les herbiers offrent une variété d'habitats dans lesquels sont assurées une activité biologique intense et les fonctions vitales interdépendantes de la flore, de la faune et des microorganismes. L'herbier offre notamment un espace d'affût et de chasse pour les poissons prédateurs et, réciproquement, d'abri et de refuge aux invertébrés et alevins qui tentent de leur échapper. Certains trichoptères, quant à eux, confectonnent leur fourreau à partir des feuilles de Potamots.

## 9 Oxygénation

Dans le Léman, les herbiers participent à l'oxygénation de l'eau, en particulier dans la zone littorale où ils favorisent la respiration des animaux et la minéralisation de la matière organique par les microorganismes.

## 10 Lieu de ponte et nurserie

Les herbiers jouent un rôle essentiel dans la reproduction de certains poissons, tels que les brochets et les perches qui y déposent leurs œufs. Lorsque les œufs éclosent, 10 à 15 jours plus tard, les alevins profitent des herbiers pour se nourrir et se protéger des prédateurs.

## 11 Nourriture

Certaines espèces d'oiseaux se nourrissent des herbiers, c'est notamment le cas de la Nette rousse qui apprécie les characées et dont la population a augmenté au fur et à mesure que ces végétaux sont réapparus, grâce à l'amélioration de la qualité de l'eau. Les Limnées aussi sont friandes de characées et la Foulque macroule les apprécie justement parce qu'elles abritent de nombreux mollusques et crustacés.

# 3 – Menaces sur les herbiers

p22 - 25

Bien qu'indispensables à l'équilibre de l'écosystème lacustre, les herbiers lémaniques subissent pourtant de nombreuses pressions. Une attention particulière doit être portée à leur gestion pour atténuer le « stress » qui leur est imposé par les activités humaines.

## 12 Artificialisation des rives

Le littoral lacustre subit des perturbations qui pèsent sur sa valeur écologique. Les aménagements et infrastructures développées sur les rives (remblayages, endiguements, ports, marinas, quais, murs, conduites) entraînent la fragmentation et l'altération d'habitats et d'herbiers susceptibles de générer une perte de biodiversité. La décharge d'eaux usées épurées ou non, d'eaux de ruissellement (urbaines, de routes) et de déchets ont un impact direct sur les herbiers.

## 13 Ancrage et bouée d'amarrage

Lorsqu'un bateau est amarré à une bouée, il n'est jamais totalement immobile et bouge au gré des vents et des courants. Ces déplacements entraînent des va-et-vient de la chaîne reliant la bouée au corps mort. La chaîne racle le fond et arrache les plantes situées sur son passage. L'ancre, si elle est jetée dans un herbier, va également entraîner la perte de nombreuses plantes en venant racle le fond du lac.

## 14 Faucardage

Afin de libérer les voies de navigation et les zones de baignade, on fauche les herbiers durant la période estivale. Cette action, appelée faucardage, coûteuse d'un point de vue économique l'est également écologiquement par la destruction des herbiers et la possible dissémination d'espèces invasives. C'est pourquoi, de nouvelles méthodes sont appliquées qui préconisent des fauches ciblées tenant compte de la pesée des intérêts entre usages et valeur écologique du lac.

## 15 Eutrophisation

L'enrichissement excessif des eaux en éléments nutritifs provoque la prolifération des algues et un appauvrissement des eaux en oxygène qui entraînent des déséquilibres écologiques de l'écosystème aquatique. Ce phénomène, appelé eutrophisation, a mis à mal le Léman dès les années 1960, une évolution négative qui a pu s'inverser lentement à partir de la deuxième moitié des années 1980, notamment grâce à l'interdiction des phosphates dans les produits de lessive.



Herbiers sous-lacustres de densités variables en vue aérienne. Photo Jean-Michel Zellweger

# 1 - Des forêts dans le lac, vraiment ?

## Zone littorale lacustre 1

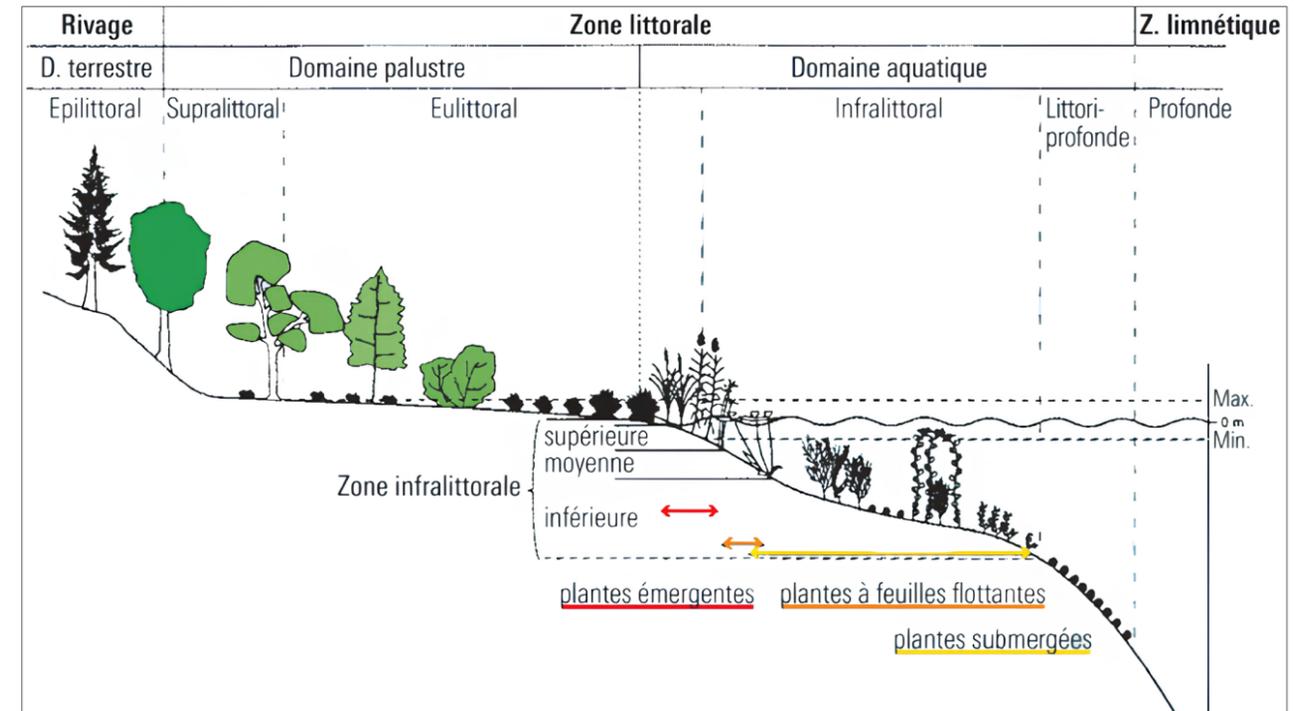
La zone littorale d'un lac comprend la région située entre la limite, côté terre, des hautes eaux et la limite, côté lac, de colonisation des fonds en profondeur par les végétaux (macrophytes et microphytes).

L'étendue de la zone littorale dépend essentiellement de la topographie du site (pente forte ou faible) ainsi que des nature et texture du substrat du benthos (fond).

On distingue l'eulittoral situé entre la limite des hautes eaux et celle des basses eaux (zone de marnage) de l'infralittoral qui va de la limite des basses eaux à la profondeur maximale colonisée par les végétaux, profondeur qui peut varier de moins de 3 m à plus de 100 m.

L'infralittoral est lui-même subdivisé en infralittoral supérieur, colonisé par la végétation fixée émergente, infralittoral moyen, qui abrite la végétation fixée à feuilles flottantes et infralittoral inférieur, où se propage la végétation submergée fixée ou libre.

Les herbiers permettent de délimiter l'extension vers le large de la zone littorale, la profondeur maximale de colonisation des fonds par les plantes étant directement liée à la transparence des eaux, elle-même partiellement dépendante de la densité du peuplement phytoplanctonique, révélant une compétition potentielle entre ces deux types de végétaux.



Zonation de la végétation aquatique colonisant une rive lacustre naturelle. Source Juge Raphaëlle et Lachavanne Jean-Bernard (1997)

Quant à la faune liée à la zone littorale et aux herbiers pour tout ou partie de ses fonctions vitales, son développement dépend de la disponibilité en oxygène, fournie essentiellement par la végétation à partir d'une certaine profondeur.

La profondeur limite varie selon les types d'écosystèmes d'eau stagnante. Pour les lacs profonds de Suisse, par exemple, les observations en plongée ont montré qu'elle ne dépassait guère 20 m, même dans les lacs aux eaux les plus limpides (Lachavanne et al. 1986).

Revenons sur l'importance du degré de transparence des eaux qui constitue un facteur-clé de la manière avec laquelle les plantes submergées vont coloniser l'espace disponible. En effet, de lui dépend directement l'intensité de l'énergie lumineuse qui parvient jusqu'aux plantes.

En outre, la transparence est le résultat de l'action conjuguée de nombreux autres facteurs. Elle dépend de la couleur de l'eau (matières organiques dissoutes), de la turbidité des eaux, c'est-à-dire de la concentration des particules organiques inertes (débris, humus, etc.) et inorganiques (alluvions charriées par les affluents).

Enfin, elle est directement tributaire des concentrations en phyto- (surtout) et zooplancton, celles-ci variant elles-mêmes au cours des saisons et selon les conditions trophiques du milieu (degré d'eutrophisation des eaux).

A cause de l'effet de la pression hydrostatique sur le transport interne des gaz, les plantes submergées ne colonisent les fonds qu'exceptionnellement au-delà de 10 m. Les charo-

phytes et les bryophytes (mousses), bien que pouvant pousser à des profondeurs variées, sont capables de croître sous de très faibles intensités lumineuses et pénètrent souvent jusque dans la partie inférieure de la zone photique (éclairée) (Wetzel 1975, Cole 1979).

En étang et dans les lacs peu profonds, toute la surface des fonds est potentiellement colonisable par les plantes aquatiques, pour autant, bien sûr, que l'énergie lumineuse soit suffisante pour assurer la photosynthèse.

La structure des peuplements de plantes est en effet déterminée d'abord par la morphologie des plantes, puis par la façon dont elles se groupent et se répartissent dans l'espace et dans le temps sous l'influence des conditions du milieu (géomorphologie et topographie de la rive, climat, caractéristiques physico-chimiques du substrat et de l'eau, etc.) et des facteurs biologiques (broutage, compétition).

La structure de ces peuplements participe ainsi au premier chef à l'architecture des communautés littorales. La forme de croissance, le rythme de vie saisonnier, les caractéristiques démographiques des espèces dominantes d'une communauté comptent parmi les éléments décisifs justifiant la présence/absence et la biomasse de tous les autres organismes liés à la communauté (Den Hartog, 1982).

- 1
- 2
- 4
- 7

### Des forêts dans le lac vraiment ?

Le Léman accueille une multitude de variétés de végétaux aquatiques qui donnent naissance à de grands herbiers qui colonisent le fond du lac, comparables à des forêts. Leurs tailles et leurs formes varient, offrant ainsi de magnifiques paysages sous-lacustres.



Myriophylle en épi (plante indigène potentiellement menacée).  
Photo submers.org

### Algues et plantes aquatiques, ce n'est pas pareil ! 2

Les algues sont, pour la plupart d'entre elles, des organismes uni ou pluricellulaires, peu ou pas visibles à l'œil nu, qui ne sont donc observables qu'au microscope. Elles font partie d'un grand groupe de végétaux primitifs qui flottent dans l'eau et qu'on appelle « phytoplancton ». Lorsque les conditions le permettent (température, luminosité et teneur en nutriments élevée), certaines espèces peuvent former des colonies de grande taille, devenant ainsi perceptibles à travers la coloration des eaux en vert ou en brun. Elles peuvent aussi devenir visibles à l'œil nu en formant des films verts qui recouvrent les bouées d'amarrage, les coques de bateaux, les rochers et les sédiments (phytobenthos) ou des amas filamenteux flottants qui s'échouent sur les grèves.

Les algues se différencient des plantes supérieures par l'absence d'organes différenciés, notamment de racines permettant un ancrage dans le sol. Elles se reproduisent de manière végétative, asexuée (division cellulaire), un peu comme les bactéries, et/ou sexuée par l'intermédiaire de gamètes et de spores.

Les characées constituent un groupe de végétaux à part. Leur structure cellulaire et leur mode de reproduction sont plus proches des algues ; elles sont visibles à l'œil nu et possèdent des filaments similaires à des racines qui leur permettent de s'ancrer dans le sol. Elles occupent ainsi le même territoire que les plantes aquatiques et font partie des herbiers sous-lacustres. Leur classification fait débat mais on les considère généralement comme des macro-algues évoluées.



Elodée de Nuttall (plante néophyte) sur des fonds recouverts d'algues filamenteuses. Photo Marc Bernard

Les mousses ou bryophytes. Les mousses sont formées d'une « tige » portant de petites feuilles et de filaments servant à leur fixation et à l'absorption de nourriture (Rhizoïde). Seule une espèce est présente dans les eaux peu profondes du Léman, la Mousse de source (*Fontinalis antipyretica*).

Les plantes aquatiques. Les plantes aquatiques constituent une part importante de la végétation colonisant la zone littorale des milieux marins (posidonies, par exemple) et d'eau douce. Il s'agit de végétaux supérieurs munis, comme les plantes terrestres, d'un système vasculaire et de racines, tiges, feuilles, fleurs et fruits à graines pour se reproduire. Les fleurs de plusieurs espèces montent jusqu'à la surface de l'eau en été pour propager leurs graines à l'air libre. Portées par l'eau, tiges et feuilles sont exemptes de rigidité.

Les herbiers littoraux obéissent à une dynamique saisonnière qui évolue au gré des variations des conditions climatiques. La croissance et le développement des plantes se déroulent surtout en été. En hiver, à l'exception de quelques plantes aquatiques comme les élodées et le Myriophylle en épi, seules les characées subsistent sous forme de tapis recouvrant les fonds jusqu'à environ 15 mètres de profondeur.

La capacité de production primaire par le phytoplancton est incomparablement plus élevée que celle des zones de végétation submergée. Le peuplement formé par une colonie d'algues peut doubler en une semaine alors que la maturation d'un herbier se déroule sur une saison.

Les herbiers denses n'occupent donc densément la zone littorale que de mai à septembre alors que le phytoplancton est présent quasiment toute l'année avec tout de même une pause relative de décembre à mars.

L'étendue de colonisation par les plantes aquatiques se limite à la zone littorale, de la berge à environ 8 à 12 mètres de profondeur. En revanche, l'aire de jeu du phytoplancton est constituée d'un volume d'environ 110'000 km<sup>3</sup> dans la zone euphotique du lac. Cette estimation correspond en gros à la surface du Léman fois la profondeur de colonisation par le phytoplancton et ce, grâce à la pénétration de la lumière dans l'eau (env. 15 m). L'essentiel de la biomasse végétale et de l'oxygène produit au sein du lac, disponibles pour la suite de la chaîne alimentaire, provient donc du phytoplancton.

Algues phytoplanctoniques du Léman.  
Photo Håkan Kvarnström





Potamogeton luisant et Potamogeton à feuilles de saules (plantes indigènes) vu depuis la surface. Photo Pascal Mulattieri

#### Qu'est-ce qu'une « Liste rouge » ? 4

Elaborée par l'UICN, la Liste rouge constitue l'inventaire mondial le plus complet de l'état de conservation global des espèces végétales et animales. Elle s'appuie sur une série de critères précis pour évaluer le risque d'extinction de milliers d'espèces et de sous-espèces. Ces critères s'appliquent à toutes les espèces et à toutes les parties du monde.

La Liste rouge de l'UICN est un indicateur privilégié pour suivre l'état de la biodiversité dans le monde. Fondée sur une solide base scientifique, la Liste rouge de l'UICN est reconnue comme l'outil de référence le plus fiable pour connaître le niveau des menaces pesant sur la diversité biologique spécifique. Sur la base d'une information précise sur les espèces menacées, son but essentiel est d'identifier les priorités d'action, de mobiliser l'attention du public et des responsables politiques sur l'urgence et l'étendue des problèmes de conservation, et d'inciter tous les acteurs à agir en vue de limiter le taux d'extinction des espèces.

La Liste rouge permet de répondre à des questions essentielles, telles que :

- Dans quelle mesure telle espèce est-elle menacée ?
- Par quoi telle ou telle espèce est-elle spécialement menacée ?
- Combien y a-t-il d'espèces menacées dans telle région du monde ?
- Combien a-t-on dénombré de disparitions d'espèces ?

Dans la dernière édition de la Liste rouge mondiale (version 2023.1), sur les 157'190 espèces étudiées, 44'016 sont classées menacées.

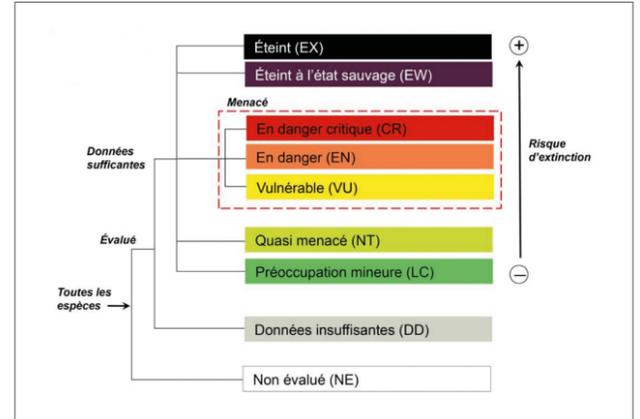
La classification d'une espèce ou d'une sous-espèce dans l'une des trois catégories d'espèces menacées d'extinction (CR, EN ou VU) s'effectue par le biais d'une série de cinq critères quantitatifs qui forment le cœur du système. Ces critères sont basés sur différents facteurs biologiques associés au risque d'extinction : taille de population, taux de déclin, aire de répartition géographique, degré de peuplement et de fragmentation de la répartition. L'UICN détermine des lignes directrices régionales cohérentes que chaque zone géographique, pays ou région du monde doit suivre pour appliquer les catégories de menace déterminées par l'UICN et établir des listes rouges aux échelles régionales de leur choix.

**En France:**  
Dans cet état des lieux mondial, la France figure parmi les 10 pays hébergeant le plus grand nombre d'espèces menacées : au total, 2'268 espèces menacées au niveau mondial sont présentes sur son territoire, en métropole et en outre-mer. Au total, 17 groupes taxonomiques de la flore, de la faune et des champignons font l'objet de listes rouges.

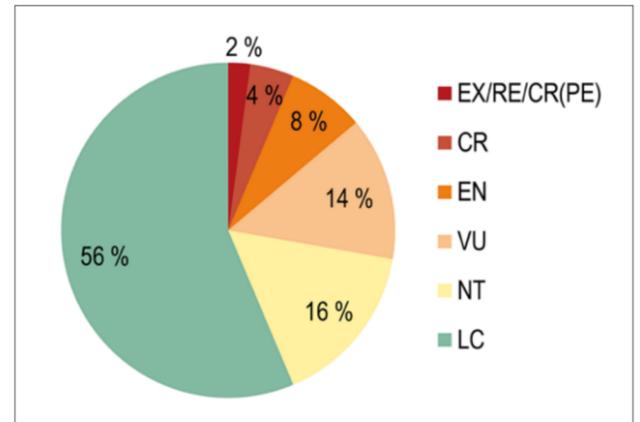
**En Suisse:**  
Les listes rouges dressent le bilan du degré de menace pesant sur les espèces indigènes selon les critères scientifiques de l'UICN. Il en existe pour 28 groupes d'organismes. En outre, depuis 2013, la Suisse dispose d'une liste rouge des milieux naturels menacés. Les critères de classement des espèces en catégories de menace s'appuient sur une combinaison de facteurs qui déterminent le risque d'extinction. Les principaux facteurs suivent les critères UICN. Ce sont :

- la superficie de la répartition géographique de l'espèce,
- la taille et le degré d'isolement des populations concernées,
- les fluctuations d'effectifs.

Les listes rouges doivent être révisées tous les dix ans afin de fournir des informations sur l'évolution des espèces. Il existe actuellement des listes rouges pour 28 groupes d'organismes (trois groupes de végétaux (plantes vasculaires, bryophytes, characées), 22 groupes d'animaux (tous les vertébrés et seize groupes d'invertébrés), trois groupes de champignons et lichens (champignons supérieurs, lichens épiphytes et lichens terricoles). À ce jour, 10'844 des 56'009 espèces connues a été évalué selon les critères d'établissement des listes rouges.



Catégories de menace déterminées par l'UICN et utilisées au niveau régional



Répartition des espèces de plantes vasculaires par catégorie de menace. Situation actuelle (2016) en Suisse. Sur... Bornand, C. et al., OFEV et Inflora, 2016. Sur les 2603 taxons de plantes évalués, 56% (1463) ne sont pas menacés et relèvent de la catégorie LC (préoccupation mineure), 725 (28%) sont menacés ou ont disparu dont 55 taxons sont considérés comme éteints ou disparus. Parmi les 670 taxons menacés, 111 sont au bord de l'extinction (CR), 197 en danger (EN) et 362 vulnérables (VU). Enfin, 415 taxons (16%) sont considérés comme potentiellement menacés (NT).



Grand Lagarosiphon, plante néophyte invasive.  
Photo Marc Bernard

### Qu'est-ce qu'une espèce envahissante ? 7

Une espèce végétale ou animale néophyte exotique (non-indigène) naturalisée est qualifiée d'invasive ou d'envahissante si, introduite après la découverte des Amériques (dès 1500), volontairement ou non, dans un territoire situé hors de son aire de distribution naturelle originelle, elle se reproduit et prolifère dans les milieux naturels et semi-naturels au point d'entraîner des changements significatifs de composition, structure et fonctionnement des écosystèmes.

Un archéophyte est une espèce exotique qui était déjà présente avant 1500 (par exemple, introduite à l'époque des Romains), capable de se reproduire et de persister dans la nature sans contribution humaine.

Les plantes exotiques envahissantes parviennent à s'établir dans la nature et à proliférer par manque de facteurs régulateurs (maladies, parasites, herbivores, concurrence) aux dépens de plantes indigènes qui occupent le biotope convoité mais dont les peuplements tendent alors à s'affaiblir, se raréfier, voire à disparaître.

Les plantes envahissantes peuvent ainsi porter atteinte à la diversité biologique et à son usage durable ou mettre en danger l'être humain ou l'environnement.

À noter que l'être humain est dans la plupart des cas à l'origine d'une invasion mais qu'il faut distinguer les introductions volontaires de celles qui sont accidentelles, voire d'une colonisation naturelle due au changement climatique.

Selon les Nations-Unies, les espèces invasives occupent, au plan mondial, le second rang des menaces qui pèsent sur la biodiversité, juste après la destruction et la transformation des écosystèmes.

En Suisse, on compte 730 plantes exotiques (dont 11 aquatiques) parmi lesquelles 89 (dont 8 aquatiques) sont envahissantes, soit 12 %.

La plupart des espèces exotiques s'intègrent discrètement dans nos écosystèmes et ne sont pas envahissantes. En fait, la présence, même abondante, d'une espèce exotique n'implique pas nécessairement des dommages.

En outre, même des espèces indigènes peuvent se montrer envahissantes ou du moins, être considérées comme telles. C'est, par exemple, le qualificatif accordé aux « mauvaises herbes » qui envahissent le potager ou le gravier de la terrasse. Dans les cultures, on les appelle « adventices » ; elles sont nuisibles car elles diminuent sensiblement le taux de rendement agricole. Le délicat coquelicot en fait partie.

Groupes taxonomiques	Établies	Dont envahissantes
Animaux	430	85
Vertébrés	66	42
Invertébrés	364 (dont insectes: 296)	43 (dont insectes: 23)
Plantes	730	89
Plantes vasculaires terrestres	714	80
Plantes vasculaires aquatiques	11	8
Bryophytes	5	1
Champignons	145	23
Total	1305	197

Nombre d'espèces exotiques établies et une partie de celles qui s'avèrent envahissantes dans différents groupes taxonomiques en Suisse (20% pour les animaux et 12 % pour les plantes). 64% des plantes et animaux et 90% des champignons envahissants sont des espèces dont il est prouvé qu'elles causent des dommages. (extrait de OFEV (éd.) 2022).

L'OFEV (Office fédéral de la protection de l'environnement) a publié en 2022 un nouveau rapport sur les plantes exotiques envahissantes en Suisse.

Il comprend deux listes de plantes, animaux et champignons :  
 – les espèces dont il est prouvé qu'elles causent des dommages à l'environnement (env. ancienne « liste noire » )  
 – les espèces dont il faut supposer qu'elles causent ou causeront des dommages à l'environnement\* (env. ancienne « Watch list », invasion potentielle)

Le rapport comprend également une liste non exhaustive d'espèces qui ne sont pas encore présentes en Suisse ou qui ont été éradiquées grâce à des mesures de lutte, mais dont la présence ou la réapparition en Suisse ne sont pas à exclure.

Pour en savoir plus au niveau suisse :

Espèces exotiques en Suisse

Aperçu des espèces exotiques et de leurs conséquences.

État 2022. Editeur: Office fédéral de l'environnement OFEV

Série Connaissance de l'environnement

<http://especes-exotiques-envahissantes.fr>

Pour en savoir plus au niveau français :

<http://especes-exotiques-envahissantes.fr>

<https://www.ecologie.gouv.fr>

### La Moule quagga, une espèce très envahissante

Originaire de la région ponto-caspienne qui s'étend de la mer Noire à la mer Caspienne, la Moule quagga semble être arrivée en Suisse par le nord, via le Rhin, à Bâle vers 2015. Souvent accrochées aux coques des bateaux, il est probable que son introduction soit issue d'embarcations ayant navigué dans des régions où elle était présente avant qu'elles soient mises à l'eau sur le Léman.

Dès lors, la Moule quagga s'est massivement développée, à tel point qu'elle a pratiquement remplacé la moule zébrée, sa proche parente qui était présente avant elle dans le lac.

Cette vitesse de propagation est notamment due à une méthode de fécondation externe très efficace. En effet, la Moule quagga possède une capacité de prolifération massive qui lui permet de coloniser rapidement une zone. Une femelle mature peut avoir un cycle de reproduction continu sur plusieurs mois et produire plus d'un million d'œufs par année. Ces œufs sont expulsés en pleine eau où ils sont fécondés et donnent ensuite naissance à des larves véligères qui vont dériver pendant plusieurs semaines avant de se fixer. De plus, ces moules, à l'inverse des Moules zébrées, n'ont pas besoin de substrat dur sur lequel se fixer, elles peuvent s'agglutiner entre elles en utilisant souvent comme simple point d'ancrage des restes de végétaux ou d'autres mollusques, au détriment de ces derniers. Enfin, la Moule quagga possède une tolérance supérieure vis-à-vis des températures plus froides, des ressources alimentaires limitées et d'un faible niveau d'oxygène. Ces aptitudes lui ont permis de coloniser les fonds du Léman rapidement et à des profondeurs allant jusqu'à plus de 200 mètres !

Sous sa forme adulte, elle peut atteindre une longueur maximale de 4 cm et vivre entre 3 et 5 ans. Grâce aux cils qu'elle possède, elle peut filtrer plusieurs litres d'eau par jour dont elle extrait des particules alimentaires (phytoplancton, zooplancton, bactéries, et même ses propres larves), ce qui entraîne une clarification de l'eau.

Les conséquences de la prolifération de la Moule quagga dans le Léman sont à la fois écologiques, sociales et économiques. Colonisant tout l'espace disponible, dont les aménagements anthropiques, cette espèce peut ainsi obstruer les prises d'eau ou se retrouver dans les conduites, voire les bassins des stations de traitement des eaux.

La Quagga nuit à la biodiversité. Elle envahit toute surface disponible de presque tous les types de substrats, ainsi homogénéisés, au détriment des autres espèces indigènes. Certaines d'entre elles sont même directement utilisées comme support par cette moule ce qui peut les empêcher de respirer, de se nourrir, ou encore de creuser des abris. La moule est aussi une très grande consommatrice de plancton, ce qui peut entraîner une diminution de la nourriture disponible pour les espèces indigènes.

A lire (absolument) : « La folle invasion de la Moule quagga » de Pascal Mulattieri et Jean-A. Luque. Lémaniques 113 / septembre 2019. Association pour la Sauvegarde du Léman. Accessible sur <https://asleman.org>



### En matière de degré ou type d'invasion, tous les cas de figure existent

Invasion, d'un côté « positive », des moules zébrée et quagga qui ont envahi le Léman, mais attiré de nouvelles espèces de canards plongeurs friands du petit mollusque, contribuant ainsi à augmenter la diversité de l'avifaune lémanique, « négative » de l'autre, car elles colmatent les fonds, se fixent sur les plantes aquatiques et obstruent les conduites d'alimentation en eau.

Le cygne, introduit en 1690, est dit exotique naturalisé mais non envahissant et semi-sauvage, parfaitement adapté aux conditions locales.

La tortue de Floride, qui vit 30 ans et atteint 30 cm montre un appétit vorace pour les poissons et les grenouilles et n'a pas de prédateurs dans nos régions. Elle est interdite en Suisse depuis 2008 et en France depuis 1997. Auparavant, achetée petite en animalerie, elle faisait l'objet de lâchers inconsidérés dans la nature par leurs propriétaires lassés de leur compagnie et de leur croissance spectaculaire.

Quant aux écrevisses américaines, elles présentent toutes les qualités de l'envahisseur type : capacité d'adaptation, résistance aux pollutions, fécondité et, cerise sur le gâteau, elles sont même porteuses saines d'un champignon pathogène (peste de l'écrevisse) dont les écrevisses indigènes sont victimes.

Le public est mal informé des risques que présente l'introduction d'espèces exotiques et ne sait pas forcément que la bonne action de libérer son poisson rouge qui tourne en rond dans son bocal risque de créer une panique totale dans l'étang hôte ou que le buddleia, au surnom séducteur d'arbre à papillons, qu'il achète en jardinerie est un colonisateur de milieux ouverts d'une rapidité redoutable qui ne laisse aucune chance aux plantes pionnières indigènes. Une règle d'or, donc : plantez des végétaux indigènes et ne relâchez pas des animaux exotiques dans la nature ! Et nettoyez consciencieusement tout matériel immergé dans un plan d'eau avant de le transférer dans un autre, afin d'éviter de transporter sans le savoir des organismes envahissants comme, par ex, des larves de Moule quagga, invisibles à l'œil nu.

Moules quagga recouvrant les fonds du lac et des anciens piliers au milieu des herbiers.  
Photo Chris Bouchet

### Législation

À l'échelle internationale, divers articles évoquent l'objectif de contrôler la circulation des espèces exotiques envahissantes (EEE) dans : i) la Convention sur la diversité biologique, Rio 1992 ; ii) la Conférence de Montréal, (COP15), 2022 ; iii) la Convention internationale pour la protection des végétaux (protection des cultures contre les organismes nuisibles), Conférence de l'ONUAA (FAO), 1951, révision 1997 ; iv) le Règlement européen relatif à la prévention et à la gestion de l'introduction et de la propagation des EEE, Parlement et Conseil européen, 2015.

Au niveau de l'Union européenne, il existe un règlement du parlement européen et du conseil, datant du 22 octobre 2014, relatif à la prévention et à la gestion de l'introduction et de la propagation des espèces exotiques envahissantes mais ce texte n'a aucun effet juridique.

#### En Suisse

Plusieurs textes légaux fédéraux\* régissent les EEE essentiellement au niveau de leur propagation, mais aucun ne mentionne une obligation de lutte.

i) Projet de révision de la loi sur la protection de l'environnement (2019) ayant pour but de lutter contre la diffusion des néophytes envahissantes qui menacent la biodiversité indigène et d'obliger les particuliers à éliminer ces plantes de leurs jardins.

ii) Interdiction de vendre les 11 plantes exotiques envahissantes figurant sur une liste d'EEE acceptée par le Conseil fédéral et les Chambres.

La loi cantonale vaudoise (2023) met en avant une lutte de ces EEE et le service responsable édicte des directives techniques spécifiques aux espèces concernées.

#### En France

La réglementation française de lutte contre les EEE relève du niveau européen et du niveau national. Elle est formulée dans le Code de l'Environnement (L.411-5 à L.411-10 et R.411-31 à R.411-47) ainsi que dans la loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages, (2016).

Au niveau régional, un Arrêté préfectoral EEE basé sur le Code de l'environnement (art. L.411-8) peut rendre la lutte obligatoire dans certains cas.

\*Notamment l'Ordonnance sur l'utilisation d'organismes dans l'environnement (Ordonnance sur la dissémination dans l'environnement, ODE,2008) Annexe 2 = liste des Organismes exotiques envahissants interdits de l'art.15, al.2 : les organismes exotiques envahissants au sens de l'annexe 2 ne doivent pas être utilisés directement dans l'environnement ; sont exceptées les mesures de lutte contre ces organismes.



Jeune brochet déambulant entre les myriophylles dans un herbier dense, propice à une chasse discrète. Photo Marc Bernard

## 2 – Rôle des herbiers

### Le métabolisme lacustre, cycle de vie 8 9 10 11

Les êtres vivants se reproduisent, grandissent, se nourrissent, se déplacent et meurent. Pour ce faire, ils produisent de la matière et de l'énergie. L'ensemble des réactions biochimiques permettant la production de matière et d'énergie est appelé métabolisme.

Tout écosystème, terrestre comme aquatique fonctionne grâce à ces échanges de matière et d'énergie et selon son propre métabolisme.

Les végétaux (organismes chlorophylliens) sont les premiers êtres vivants à coloniser un milieu. Ce sont les producteurs primaires qui se développent en produisant de la matière organique à partir de sels minéraux et ce, grâce à l'énergie solaire. Ce processus s'appelle la photosynthèse. Cette dernière va permettre de faire entrer de l'énergie dans la matière vivante, soit dans l'ensemble de la biocénose de l'écosystème.

$6 \text{ CO}_2 + 12 \text{ H}_2\text{O} + \text{photons} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O}$   
 Ce qui en français nous donne: en captant du gaz carbonique, avec de l'eau et sous l'action de la lumière, les végétaux produisent du sucre (plus précisément du glucose), dégagent de l'oxygène et relâchent de l'eau.

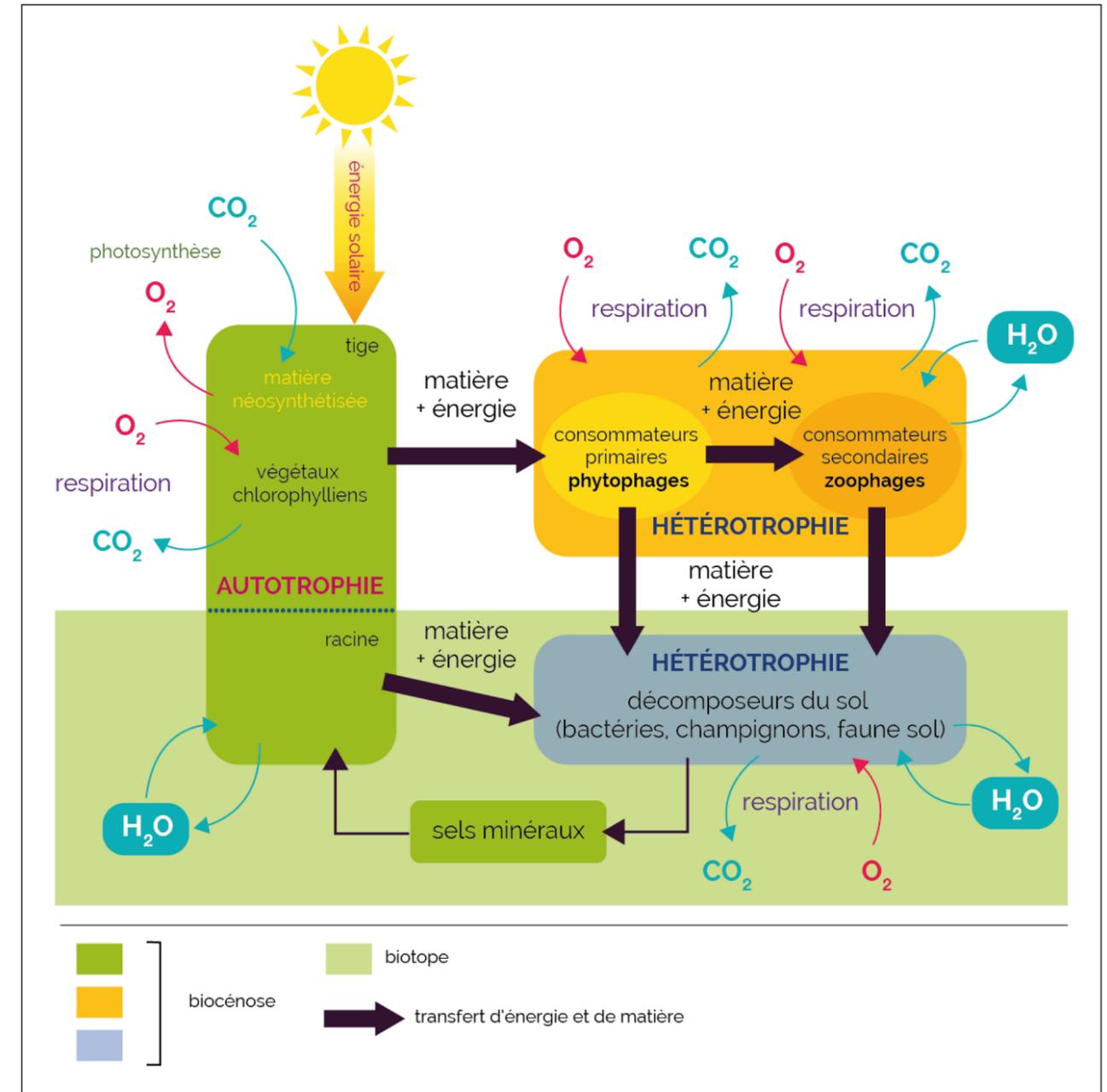
Les consommateurs primaires sont les animaux qui se nourrissent de végétaux chlorophylliens dont ils assimilent les molécules organiques (glucides, protéides, lipides) et les sels minéraux nécessaires à leur développement. Ce sont des phytophages.

Les consommateurs secondaires sont des animaux qui se nourrissent de la matière produite par les consommateurs primaires ou par d'autres consommateurs secondaires. Ils sont zoophages. La digestion des animaux consommés sert également à accumuler l'énergie nécessaire à leur développement.

8 9 10 11

### Rôle des herbiers

Les herbiers remplissent des fonctions essentielles pour l'écosystème lacustre, ce qui justifie pleinement l'importance accordée à leur protection. Leur présence est vitale pour de nombreuses espèces lémaniques, tels que certains crustacés, mollusques, oiseaux ou poissons.



Les échanges de matière et d'énergie au sein d'un écosystème. Source: maxicours.com

Les décomposeurs sont des êtres vivants très diversifiés. Il s'agit de microorganismes (bactéries, champignons en suspension dans l'eau ou liés au benthos dans le cas d'un lac) et animaux détritivores qui se nourrissent de la matière d'organismes morts et la transforme en matière minérale qu'ils restituent au milieu. Les végétaux chlorophylliens s'en nourrissent ensuite pour produire de nouveau de la matière organique.

La boucle est bouclée, le cycle se répète inlassablement.

Quel qu'il soit, tout organisme vivant réalise des échanges gazeux (dégagement de  $\text{CO}_2$ ) avec son milieu par respiration, voire du méthane par fermentation (voir eutrophisation).

Les végétaux chlorophylliens, producteurs primaires, sont qualifiés d'autotrophes car ils ne dépendent d'aucun autre être vivant pour produire leur propre matière et leur énergie vient de la capacité de la chlorophylle qu'ils contiennent à capter l'énergie solaire grâce la photosynthèse. Les autres êtres vivants dont le développement dépend de la consommation d'un autre organisme sont qualifiés d'hétérotrophes. Ce régime concerne tous les animaux, les champignons ainsi que la plupart des bactéries.



Amas d'algues résultant de l'eutrophisation, tels qu'on en voyait dans les années 70-80. Photo ASL

### 3 – Menaces sur les herbiers

#### Qu'est-ce que l'eutrophisation ? 15 3

Pour le Léman, c'est 30 ans d'asphyxie et d'indigestion chronique, entre les années 1960 et 1990

Facteurs clés de ce processus : le Phosphore et l'Oxygène

L'eutrophisation est le phénomène naturel de vieillissement des lacs, qui se caractérise par une augmentation de la productivité d'un plan d'eau, et qui engendre des changements dans l'écosystème aquatique, notamment en termes de biodiversité.

Par sédimentation, le lac se comble de matière organique, ce qui en provoque l'atterrissement progressif. Ce phénomène se déroule naturellement en quelques décennies dans un petit étang de faible profondeur et se produit à l'échelle géologique sur plusieurs centaines de milliers d'années pour un lac profond comme le Léman.

Toutefois, le processus se trouve fortement accéléré par les activités humaines qui engendrent une augmentation des apports en nutriments et en sédiments, à tel point que l'on peut observer des signes de dégradation en quelques dizaine d'années seulement!

Dans un plan d'eau jeune, qualifié « d'oligotrophe », les éléments nutritifs sont peu disponibles, ce qui limite la croissance des plantes aquatiques, des algues et des cyanobactéries et, consécutivement, de la faune qui s'en nourrit.

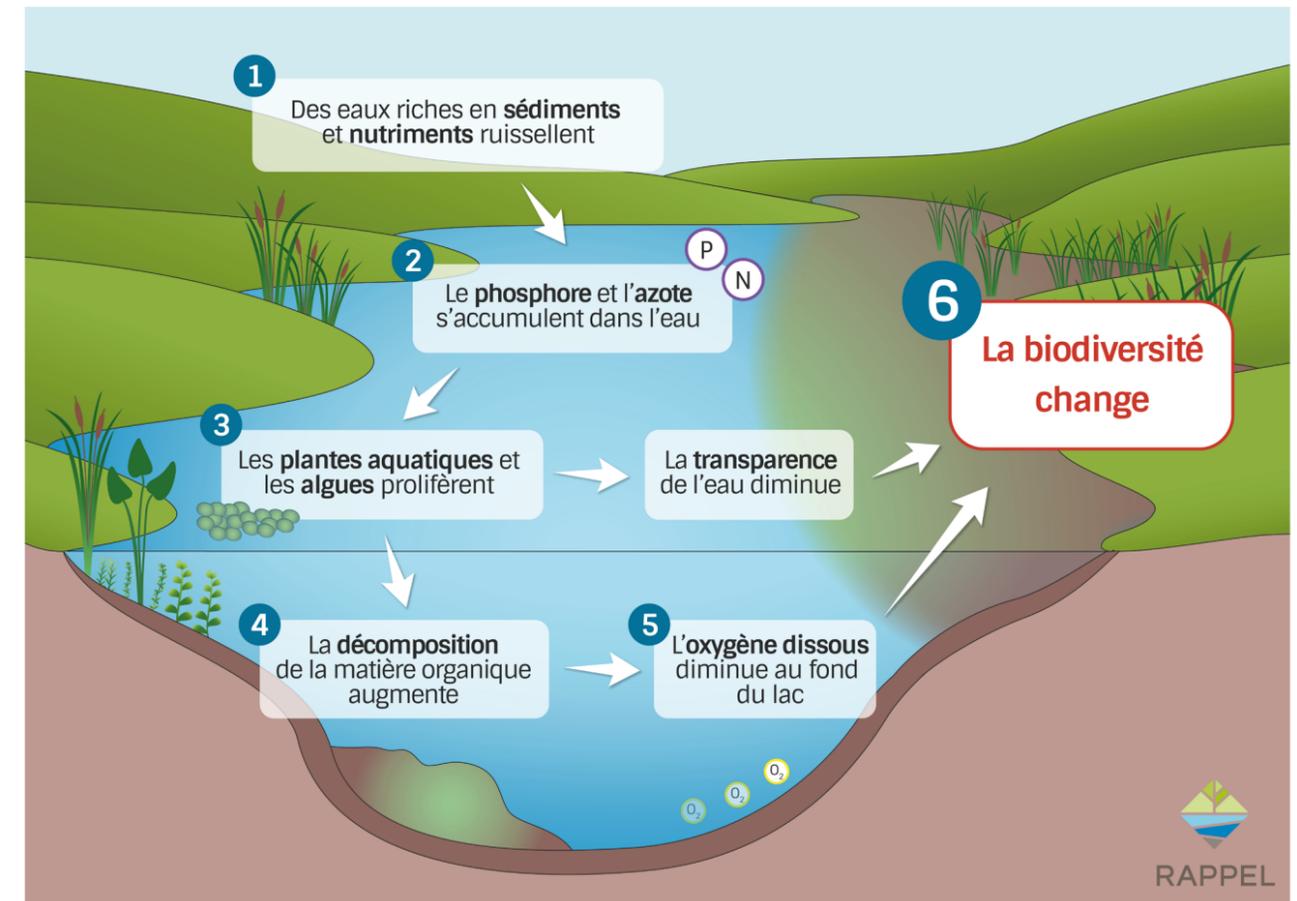
Or, si le principal nutriment habituellement limitant, le Phosphore, devient trop abondant dans un lac, cette limitation de croissance n'est plus effective. Les plantes aquatiques, les algues et les cyanobactéries en profitent ainsi pour proliférer dans le milieu et en augmenter ainsi la teneur en matière organique.

Ce changement dans l'écosystème s'accompagne donc d'une augmentation de la quantité de matière organique assimilable par la faune et les bactéries. Ces dernières, responsables de sa décomposition en éléments minéraux (minéralisation de la matière organique), prolifèrent et consomment donc plus d'oxygène dissous, ce qui peut occasionner un déficit de ce gaz indispensable à la vie des animaux aquatiques.

15 3

#### Menaces sur les herbiers

Bien qu'indispensables à l'équilibre de l'écosystème lacustre, les herbiers lémaniques subissent pourtant de nombreuses pressions. Une attention particulière doit être portée à leur gestion pour atténuer le « stress » qui leur est imposé par les activités humaines.



Les étapes clés du processus d'eutrophisation des lacs. Source: rappel.qc.ca

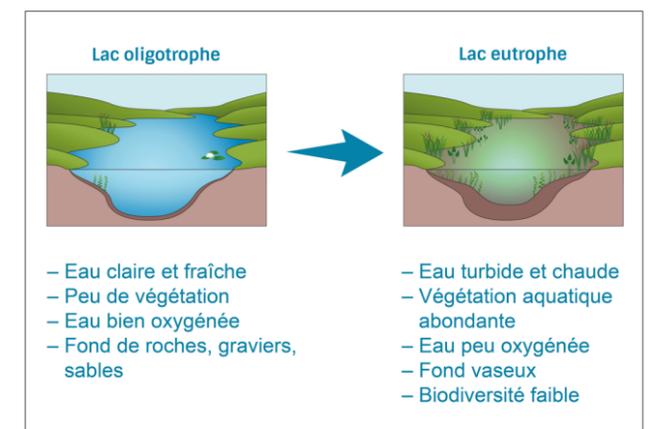
Parallèlement, l'eutrophisation s'accompagne d'une diminution de la transparence de l'eau due à la présence accrue d'algues microscopiques et de matières en suspension. La richesse en espèces végétales et animales diminue. Certaines, résistantes, dominent alors que d'autres disparaissent. La biomasse produite dans le milieu tend à augmenter encore, jusqu'à saturation.

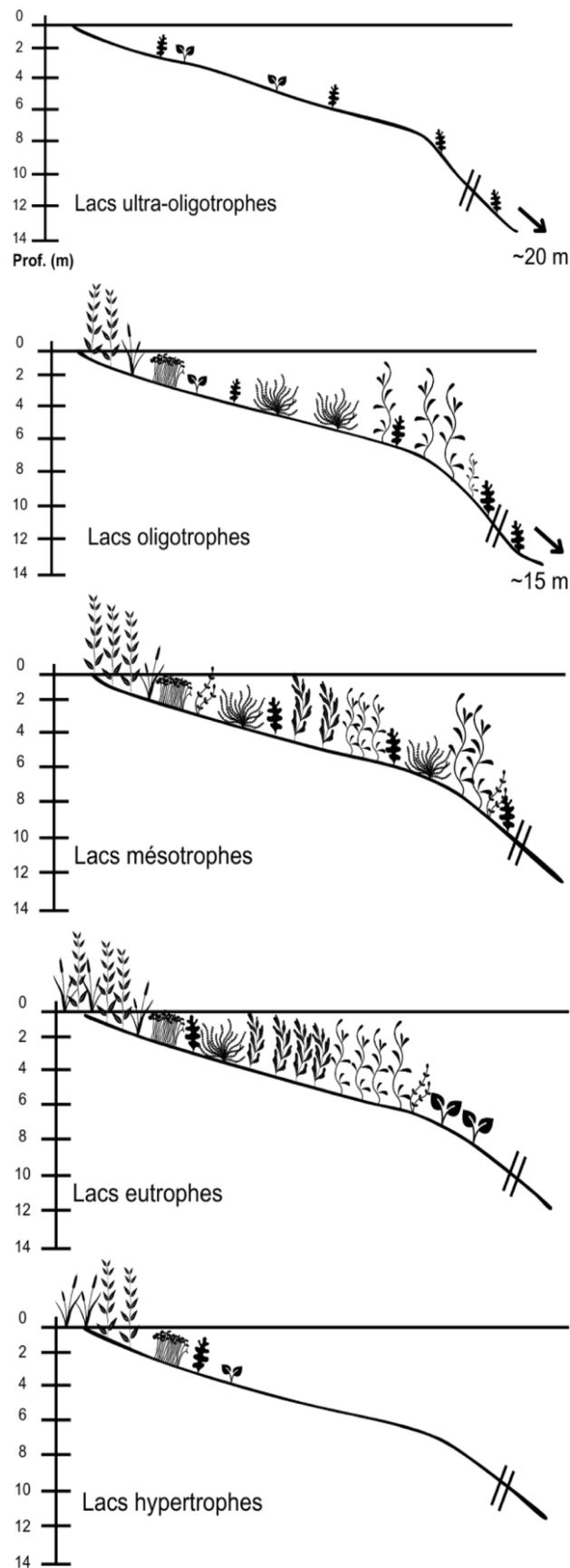
Dans les conditions d'eutrophisation extrême, qualifiée d'« hypertrophie » ou de « dystrophie », la teneur en oxygène diminue à tel point que la décomposition de la matière organique morte (végétaux, animaux et microorganismes) opère en anaérobie, c'est-à-dire en absence d'oxygène, impliquant des phénomènes de putréfaction, donc de dégradation beaucoup plus lente de la matière organique avec dégagement de gaz (méthane, dioxyde de carbone).

Une eutrophisation accélérée est ainsi synonyme de détérioration de la qualité de l'eau au point que la baignade devient dangereuse pour la santé humaine. La qualité esthétique, liée à l'apparence de l'eau et à l'envasement du lac, est affectée, des odeurs nauséabondes s'en dégagent. Des espèces de poissons de la famille des salmonidés, comme les truites qui ont besoin d'eau froide et relativement bien oxygénée pour survivre se raréfient, voire disparaissent. Inspiré de: <https://rappel.qc.ca/fiches-informatives/eutrophisation/>

« Eutrophisation » signifie en grec « nourrit bien ». Un lac riche en nourriture est dit « eutrophe » (plus de 35 µg de phosphore par litre d'eau), un lac pauvre en nourriture, « oligotrophe » (moins de 10 µg de phosphore par litre) et le stade intermédiaire, « mésotrophe ».

Eutrophisation processus d'évolution des lacs qui passent du stade Oligotrophe à Eutrophe. Source: rappel.qc.ca





Le degré d'eutrophisation des eaux contribue à façonner les peuplements de plantes aquatiques. La figure ci-dessous présente des structures de peuplements typiques de chaque niveau trophique et montre que les stades oligotrophe à eutrophe permettent l'établissement de structures complexes de peuplements végétaux aquatiques alors que les conditions trophiques extrêmes ne peuvent garantir l'intégrité de la zonation végétale.

L'eutrophisation des eaux, qui modifie les caractéristiques tant chimiques que biologiques du milieu induit des modifications typiques dans la structure globale des peuplements de plantes :

- diminution de la profondeur de colonisation (consécutives à la diminution de la transparence des eaux),
- variations de la richesse et de la diversité spécifique des peuplements: enrichissement en espèces et augmentation de la diversité jusqu'au stade mésotrophe puis appauvrissement et dominance par des espèces particulièrement résistantes; banalisation de la flore et simplification des peuplements à partir du stade eutrophe: disparition progressive des plantes submergées à partir des stades hautement eutrophes
- augmentation de biomasse végétale jusqu'au stade eutrophe, puis diminution et disparition de la végétation submergée aux stades d'hypertrophie extrême.

#### De l'eutrophisation, rapide, à l'oligotrophisation, lente !

Dès 1960, la qualité des eaux du Léman se détériore. Le lac devient eutrophe (>35µg/l de Phosphore dans l'eau) à partir de 1963, et ce durant près de 40 ans, soit jusqu'en 2000-2002.

L'inversion du phénomène, soit l'oligotrophisation des eaux, s'amorce à partir de la fin des années 1970 grâce aux premières mesures efficaces prises par les états riverains suisse, puis français, pour lutter contre l'eutrophisation.

Il s'agissait alors d'améliorer le rendement des STEP et d'adapter la capacité d'épuration à l'augmentation de la population du bassin lémanique.

Les stations d'épuration s'équipent d'un processus chimique permettant la déphosphatation de eaux usées. Petit à petit, les pratiques agricoles deviennent plus respectueuses de l'environnement (épandage d'engrais limité p.ex.).

Enfin, plus spectaculaire, après une bataille de plusieurs années dans laquelle l'ASL et d'autres ONG, se sont fortement investies, la Confédération suisse entérine en 1986 la décision d'interdire l'adjonction de phosphates dans les produits de lessive. La France suivra (diminution puis suppression en 2007).

Distribution de la flore et de la végétation de la zone littorale lacustre en fonction du niveau trophique du lac (Lachavanne, 1985). Richesse et diversité croissante de la composition floristique jusqu'au stade mésotrophe. Abondance et densité croissante de la végétation jusqu'au stade eutrophe.

Ainsi, depuis 1986, passe-t-on en 25 ans d'une concentration supérieure à 70µg/l à moins de 25µg/l de Phosphore dans l'eau du lac.

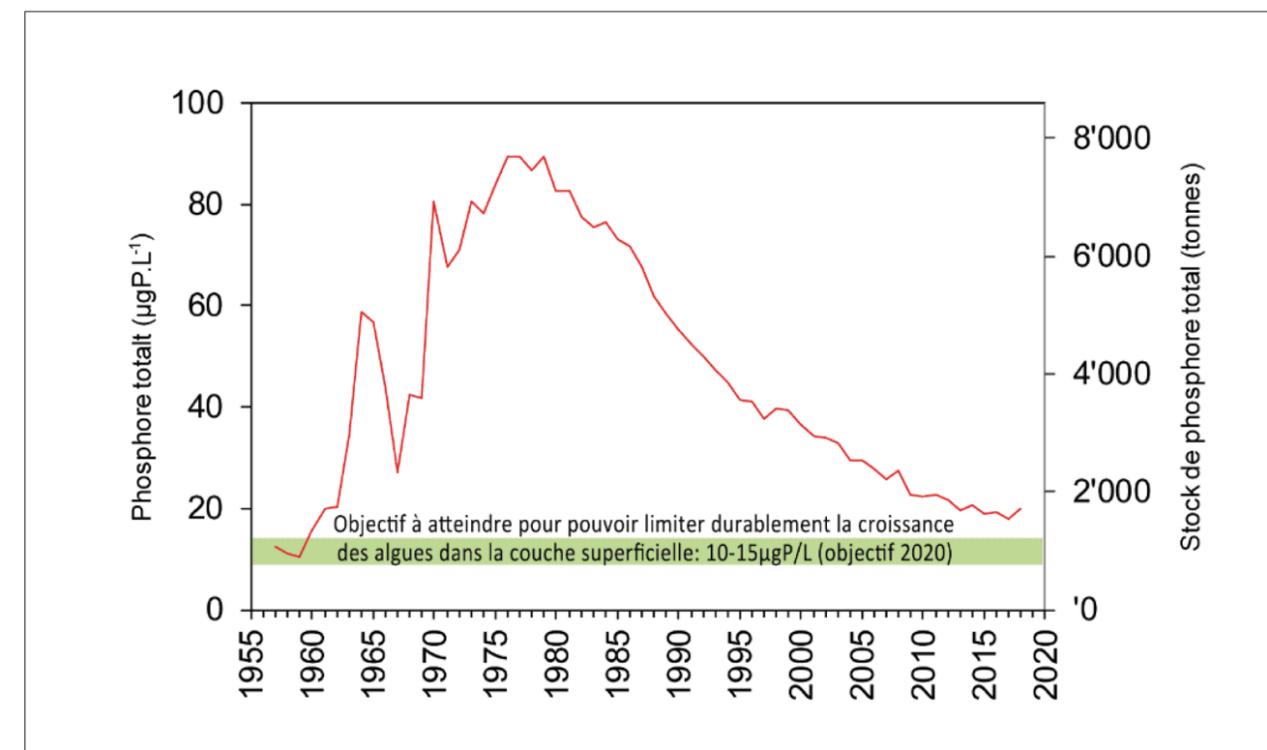
Un constat : salir les eaux du Léman prend beaucoup moins de temps (moins de cinq ans) que de les rendre propres.

Cela est surtout dû à l'inertie énorme qu'imposent les 89 milliards de m<sup>3</sup> d'eau sur une profondeur maximale de 310 m du Léman (prof. moy., 153 m) et un temps de séjour des eaux de 11 ans (vol./débit).

Actuellement, nous pouvons nous avérer plutôt satisfaits de l'état de santé de notre imposant convalescent Mais, si la chimie a plutôt bien répondu aux efforts consentis, la biologie du lac peine à suivre et les caractéristiques de la biocénose lacustre (phytoplancton surtout) font encore état d'un lac plus ou moins mésotrophe.

Autre bémol, la température hivernale de l'eau est trop élevée pour assurer un brassage complet des eaux. Ainsi, la réoxygénation des zones profondes du lac n'est-elle que partielle, trop faible pour assurer la vie de la faune.

Evolution de la concentration moyenne annuelle de phosphore total estimée pour l'ensemble de la masse d'eau du Léman de 1955 à 2018. Entre 2020 et 2022, cette concentration se stabilise autour de 17µg/l.



# Remerciements

## Exposition

### Scénographie et graphisme

Daniel Kunzi – BLVDR

### Rédaction des textes et validation scientifique

Raphaëlle Juge

Pascal Mulattieri

### Photographies

Marc Bernard

Chris Bouchet

Pascal Mulattieri

Jean-Michel Zellweger

OCAN – Office cantonal de l'agriculture et de la nature

### Vidéo

Coline Utz - Léman Bleu

### Impression des panneaux et toiles

Atelier Richard

### Montage

Roback Tanya, Le Flocq Matthew,

Kveim Inés, Lambiel Alisson,

Sesay Namina, Papillon Remy, Forestier Sara

### Conférences

Diane Maitre

### Location de matériel d'exposition

La Manivelle

### Catalogue

### Mise en page

ASL

### Rédaction

Raphaëlle Juge

Pascal Mulattieri

Avec le soutien de

Fonds Electricité  
**vitale**  
Vert



REPUBLIQUE  
ET CANTON  
DE GENEVE

POST TENEBRAS LUX



AVEC · LE · SOUTIEN  
· · · · · DE · LA  
VILLE · DE · GENÈVE

