



**HAL**  
open science

## **Le Carrtel, une UMR d'écologie lacustre face au concept de service écosystémique. Enjeux et interrogations, démarches et prospective**

Bernard Montuelle, Jean Guillard, Jean Marcel Dorioz

### ► **To cite this version:**

Bernard Montuelle, Jean Guillard, Jean Marcel Dorioz. Le Carrtel, une UMR d'écologie lacustre face au concept de service écosystémique. Enjeux et interrogations, démarches et prospective. Les services écosystémiques dans les espaces agricoles. Paroles de chercheur(e)s, pp.93-102, 2020, <10.15454/nwq9-zk60\_book\_ch09>. <hal-02503324>

**HAL Id: hal-02503324**

**<https://hal.science/hal-02503324v1>**

Submitted on 9 Mar 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 - Attribution - Non-commercial use - No Derivative Works - International License

# 09

## Le Carrtel, une UMR d'écologie lacustre face au concept de service écosystémique Enjeux et interrogations, démarches et prospective

Bernard Montuelle / UMR Carrtel  
Jean Guillard / UMR Carrtel  
Jean-Marcel Dorioz / UMR Carrtel



L'UMR Carrtel est le Centre Alpin de Recherche sur les Réseaux Trophiques et les Écosystèmes Lacustres. Notre positionnement et notre réflexion par rapport aux services écosystémiques (SE), sont assez bien schématisés par le dessin ci-contre. Il illustre la façon dont nous nous posons la question des SE, à savoir : comment alimenter la notion de service écosystémique lacustre, et comment utiliser les concepts qui existent pour venir enrichir notre réflexion scientifique ?



A-t-on intérêt, au sein de l'unité, à développer des compétences scientifiques sur cette approche? Comment le fait-on ? Cette présentation va tenter de préciser notre positionnement. La poule et son couteau : dans le cas présent, c'est quand même un couteau suisse multifonctionnel, multi lames, multi services, plus compliqué d'utilisation qu'un couteau avec une seule lame.

Une présentation de l'Unité permettra dans un premier temps d'expliquer notre capacité à intégrer tout ou partie de ce concept de service écosystémique.

La seconde partie présentera quelques informations sur les services écosystémiques spécifiques fournis par les systèmes lacustres, sur la façon avec laquelle le travail de Carrtel s'interface déjà avec cette notion de service écosystémique, en particulier avec un focus sur l'importance des chroniques de données longue durée, dans la compréhension de la dynamique temporelle des services. L'Observatoire des Lacs alpins (OLA) peut, dans ce contexte, être un outil très important.

Enfin, nous présenterons brièvement notre contribution en termes d'anticipation, d'alerte, sur les risques futurs pour les environnements lacustres et, par voie de conséquence, sur les risques de perte de services écosystémiques.



## Carrtel : missions et objectifs

L'objet de recherche de l'UMR est le méta-écosystème composé du lac-bassin versant et soumis à des forçages globaux et locaux (climat, société) (figure 1). La compréhension du fonctionnement des bassins versants (interactions utilisation des sols - hydrologie...) permet de caractériser leurs états et les charges de polluants et de nutriments (notamment d'origine diffuse) transférés aux lacs via les affluents. L'état du système lacustre est caractérisé par sa biodiversité (réseaux trophiques) contrainte par sa physico-chimie (morphologie, qualité de l'eau), ses processus et ses flux. L'Unité Carrtel prend en compte les milieux pélagique et benthique et les interactions eau-sédiment, en termes de charge interne susceptible d'alimenter les réseaux trophiques, mais aussi en termes d'archives sédimentaires informant sur les conditions environnementales et sur les biodiversités passées.

Lacs et bassins versants sont en interaction avec la société, au travers les usages que celle-ci fait de ces systèmes. Ces usages sont susceptibles d'être impactés par les pressions exercées sur le milieu lacustre notamment à travers les flux du bassin versant ; selon sa « perception » de la perturbation ainsi générée, le socio-système décide des réponses à fournir (modèle classique DPSIR).

### Objectifs scientifiques

L'Unité a trois objectifs scientifiques majeurs :

- comprendre l'état et l'évolution des écosystèmes lacustres dans leur bassin versant, c'est-à-dire décrypter les éléments de la biodiversité, les fonctions associées, l'organisation, les

contrôles des réseaux trophiques, les transferts écosystème terrestre-aquatique et les forçages en résultant ;

- comprendre les mécanismes qui sous-tendent les processus écologiques et, à plus large échelle, la vulnérabilité du système aux changements (climatique, pressions anthropiques) ;
- établir les liens de causalité pressions-impacts qui s'exercent à tous les niveaux biologiques, à différentes échelles spatiales (lacs spécifiques) et à des niveaux temporels variés (saisonniers, annuels, interannuels).

Nos objectifs finalisés sont co-construits avec les acteurs opérationnels des milieux lacustres et fournissent les références scientifiques de leur gestion. Nos compétences relèvent de l'écologie fonctionnelle et de la chimie environnementale. Nos recherches s'appuient sur des suivis *in situ*, de l'expérimentation et de la modélisation. Le levier le plus important de l'unité est l'OLA déjà évoqué (l'Observatoire des Lacs alpins), un Système d'observation et d'expérimentation au long terme pour la recherche en environnement (Soere) rassemblant huit partenaires.

### Partenariat et réseaux

L'UMR développe un partenariat varié (figure 2). Notre partenariat académique est bien développé, celui avec les gestionnaires comporte le plus de contacts autour de la notion de service écosystémique lacustre.

Régionalement, l'Unité est en lien avec des acteurs socio-économiques (industriels, associations de pêcheurs, collectivités, communes, etc.) qui sont

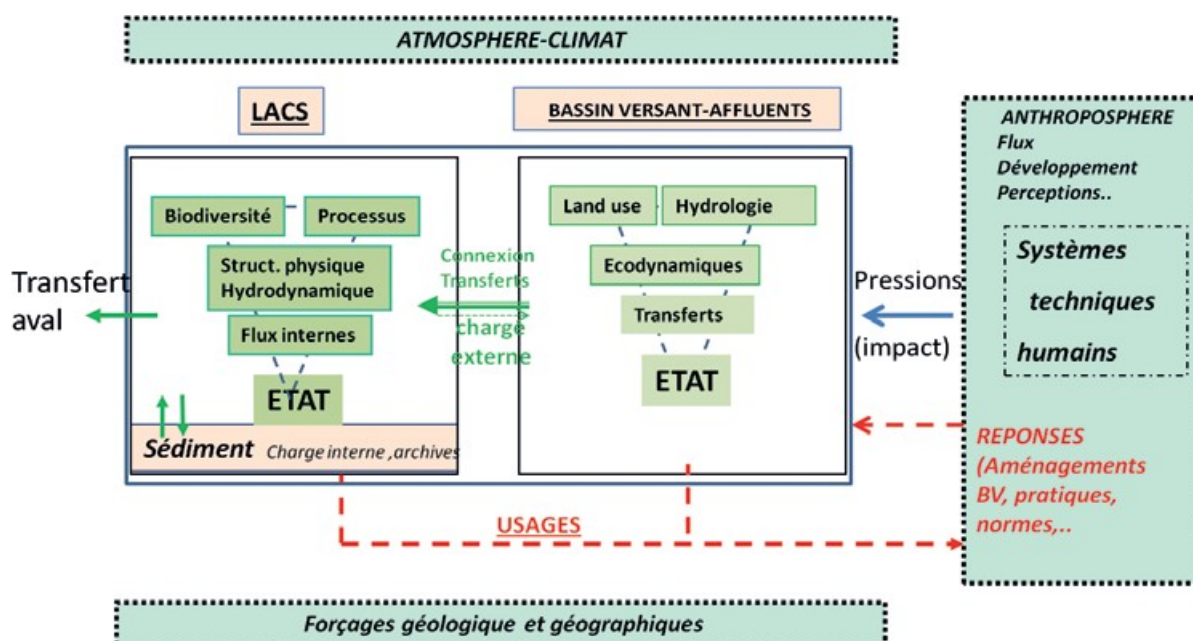


Figure 1. L'objet de recherche de l'UMR Carrtel.

essentiellement intéressés par un service unique : les associations de pêcheurs s'intéressent uniquement au service « pêche » ; la commune responsable du prélèvement d'eau potable nous interroge sur le service de fourniture d'eau potable ; la mairie s'intéresse à la qualité de la baignade.

En fait, seuls les gestionnaires des lacs qui prennent en compte l'ensemble des usages et des attentes des habitants de leur bassin (syndicats intercommunaux, associations, ...) posent la question des multiservices. Avec l'Onema, opérateur national, cette approche par services écosystémiques n'est pas abordée : il s'agit plus de l'étude de cas, de la caractérisation de la qualité écologique en lien avec des normes (DCE – Directive cadre sur l'eau). Enfin, l'OLA est très fortement lié aux gestionnaires, puisqu'ils en sont financeurs.

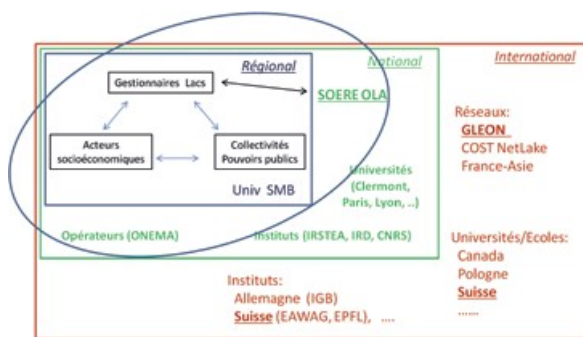


Figure 2. Les partenariats régionaux, nationaux et internationaux de l'UMR Carrel.

**À noter :**

- Ū cadrage réglementaire existant (DCE, habitat...),
- Ū intégration du multiservices, ex. : pêche professionnelle et domaine culturel (tourisme),
- Ū échelle spatiale et temporelle variable selon les services : association montagne et lac,
- Ū bassin versant et lac : intégration et méta-écosystème.

## Services écosystémiques lacustres

Maintenant, quelques mots sur les services écosystémiques liés aux lacs. La plupart des exemples ci-après sont liés aux grands lacs alpins français (le Léman, le Bourget, Annecy), mais l'Unité intègre de plus en plus les lacs d'altitude, beaucoup plus petits, mais qui fournissent également des services.

Les principaux services (régulation, production, culturels, etc.) des milieux des grands lacs alpins (sensu lato) sont bien identifiés. Quelques SE lacustres sont particulièrement significatifs (tableau 1) et assez spécifiques :

- Ū les régulations de flux d'eau aval, auxquelles les lacs peuvent contribuer via un contrôle de leur marnage de quelques dizaines de centimètres (exemple du Bourget en relation avec une demande de soutien d'étiage du Rhône, demande qui risque de s'étendre au Léman) ;
- Ū la production de poissons pour la pêche professionnelle et amateurs (évoquée plus loin) ;
- Ū une régulation climatique locale (évaporation, inertie thermique), sur une petite frange (1 à 2 km) autour des grands lacs ;
- Ū le service culturel et récréatif, qui génère des activités touristiques, d'hôtellerie..., économiquement très importantes et très diversifiées ;
- Ū la ressource en eau en termes d'eau potable. Autour du Léman, environ 900 000 personnes boivent de l'eau du lac, après un traitement relativement simple. Un nouvel usage se développe : l'utilisation de l'eau du lac pour rafraîchir et (ou) réchauffer des bâtiments.

Tous ces services lacustres sont plus ou moins interconnectés, constituant ainsi un réseau qu'il est difficile de dissocier des SE fournis par les montagnes environnantes, en particulier en ce qui concerne les services récréatifs et de régulation. Au final, la question est bien celle de l'intégration des services au niveau du méta-écosystème lac-bassin versant.

Services	Sous catégories	Spécifiques au lac	Bénéficiaires
Régulation	Cycle de l'eau	Régulation flux aval	Pêcheurs
	Cycle des éléments chimiques	MO, nutriments	Distributeurs d'eau
	Régulations des espèces	Migration amont aval	Touristes
	Régulation climatiques	Impact sur le climat local (bv, vallée...)	Sportifs
Culturel	Cadre de vie aménagés	Tourisme, hotellerie, transports..	
	Valeur patrimoniale	Paysagère, bâti historiques..	
	Valeurs artistiques	Poésie, peintures etc..	
	Récréatifs	Tourisme, baignade, pêche de loisir..	
Approvisionnement	Scientifique et éducatif	Recherche et filière universitaire	
	Alimentation	Pêche professionnelle	Rhône aval
	Ressource génétique	Spécificité de peuplements	
Support	Eau	Eau potable, industrie, cooling	
	Biodiversité	Biodiversité	
	Habitats	Habitats	

Tableau 1. Panorama des services écosystémiques liés aux lacs avec leurs bénéficiaires.

## Interfaces Carrel-services écosystémiques

Une rétrospective des questions posées par le socio-système (citoyens, ONG, structures publiques, scientifiques...) sur l'état du milieu lacustre montre une évolution des inquiétudes au fil du temps. De nombreux exemples peuvent être relevés dans les médias locaux : prolifération d'algues filamenteuses ou de cyanobactéries ; puce du canard ; contaminants chimiques (Hg, PCB, ...); contaminants fécaux, baisse des pêches...

Compte tenu de ses compétences en écologie lacustre, l'Unité ne peut pas répondre à toutes les interpellations et notre légitimité scientifique se focalise sur des questions de production piscicole ou de prolifération algales, d'espèces invasives, par exemple.

Les questions sont aussi très globales. Ainsi une question récurrente, depuis le simple baigneur jusqu'aux élus, est : « Comment va le lac ? »... Très vaste question, derrière laquelle les gens veulent savoir : les actions de restauration ont-elles été utiles ? Est-ce qu'il y a vraiment un gain ? ... L'enjeu principal est alors de faire en sorte que la société puisse réagir en connaissance de cause.

Essentiellement, nous sommes interpellés par des gestionnaires de lacs et de bassins versants : les syndicats intercommunaux (Annecy, le Bourget), la commission internationale de protection des eaux du Léman, ou des associations (Aster, gestionnaire de lacs d'altitude et de Réserves naturelles en bord de grands lacs).

L'interpellation se fait par une voie très officielle avec la co-construction programmatique avec des gestionnaires. Mais elle passe aussi par des journées portes ouvertes, par des réunions de quartier, des conférences en MJC (Maisons des Jeunes et de la

Culture), etc. On a donc plusieurs structures qui nous font remonter des questions pour lesquelles nous pouvons faire circuler de l'information scientifique.

Ces questions sont souvent très générales, très globales et elles sont exprimées au filtre de la perception du public. Si on veut pouvoir y répondre, il faut être capable de les traduire en termes scientifiques, de manière à pouvoir élaborer les éléments de réponse, et éventuellement construire un suivi ou une expérimentation, si nécessaire.

Trois exemples de questions :

- Ū Les proliférations d'algues planctoniques impactent la pêche, le traitement de potabilisation et donc le service d'approvisionnement. Quelles sont les causes et conditions d'apparition des blooms ? Avec quelles espèces d'algues ? Quelle sera leur dynamique spatio-temporelle ? Tout cela suppose de développer des compétences sur l'écologie du phytoplancton dans les milieux lacustres ;
- Ū Mêmes questions pour les blooms à cyanobactéries, qui peuvent causer des risques sanitaires liés à la baignade et des arrêts de prélèvement de l'eau potable dès qu'une certaine concentration cellulaire est dépassée. Ces questions illustrent le lien santé des écosystèmes - santé humaine ;
- Ū Il y a moins de perches qu'avant. Cela nous pose des questions d'ichtyologie lacustre. Quelle est la dynamique de population des différentes espèces, leurs interactions, la dynamique temporelle, etc. ?

Dès que l'on traduit ces interpellations en termes scientifiques (tableau 2), on voit qu'on a besoin de chroniques de données sur le long terme pour comprendre et expliquer les processus écologiques qui sous-tendent une réduction des services rendus par les systèmes lacustres.

Constat/demande	Avantage/service impacté	traduction en questions fonctionnelles de recherche
Prolifération algues vertes...	Colmatage de filets / gêne à la pêche Colmatage des pompes et filtres d'alimentation en eau potable (Service d'approvisionnement)	Quelles sont les causes environnementales des blooms d'algues ? Quelle dynamique spatio-temporelle ? ⇒ Écologie du phytoplancton
Bloom à cyanobactéries...	Risque sanitaire / eau potable Baignade (Service d'approvisionnement + culturel)	Causalité environnementale des blooms ? ⇒ Écologie des cyanobactéries.
Moins de perches qu'avant....	Pêche professionnelle/ restaurateurs/ (Service d'approvisionnement + culturel-lien au tourisme)	Dynamique de population ? Dynamique temporelle ? ⇒ Écologie lacustre / Ichtyologie

Tableau 2. Traduction des demandes du monde socio-économique en questions scientifiques (intégration dans notre programmation de recherche)  
NB: la réponse à ces questions nécessite des chroniques de données long terme, d'observatoire.

## L'Observatoire des lacs alpins et les suivis long terme comme outils contribuant au questionnement sur les services écosystémiques

Dans le cadre de l'OLA, nous cherchons à renseigner les trajectoires écologiques des lacs en fonction du temps, à l'aide de descripteurs d'état — biodiversité, flux (C, N, P...) — reliés aux changements de pressions anthropiques ou climatiques.

Nous utilisons deux niveaux de données :

- les observations directes, réalisées *in situ* depuis une cinquantaine d'années, ce qui permet de caractériser une tendance évolutive du système lacustre ;
- la rétro-observation, qui analyse les relations entre l'environnement global des lacs et leurs réponses sur un plus long terme. Nous utilisons alors les outils de la paléolimnologie, appliqués aux archives sédimentaires (analyse de restes d'organismes, entre autres). Les indicateurs utilisés sont des proxys qui donnent une tendance de l'évolution sur plusieurs centaines ou milliers d'années, en couvrant une gamme de changements environnementaux plus importante.

Ces connaissances rétrospectives pourraient, via la modélisation, contribuer à mieux identifier les caractéristiques des SE lacustres, voire à l'établissement de scénarios d'évolution de ces services dans le futur, compte-tenu des projections de climats et des changements sociétaux attendus (figure 3).

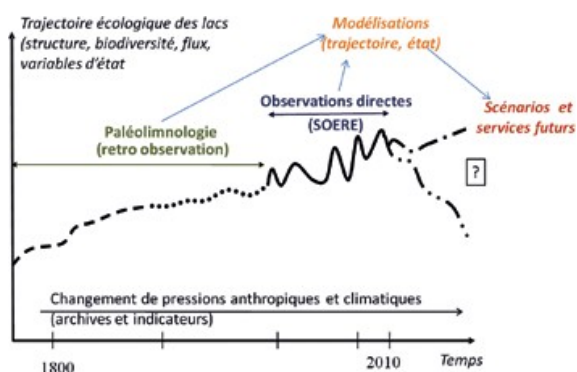


Figure 3. Démarche d'étude des trajectoires écologiques des lacs (d'après Meybeck, comm. pers.).

De façon plus détaillée, on dispose de données variées de physique, chimie, biologie, des bactéries aux poissons (figure 4), ainsi que de données de gestion (pêches et repeuplements). Ces données sont précises, et les fréquences d'acquisition, plutôt basses (mensuelles à bi-hebdomadaires), sont compensées par la longue durée des chroniques.

Ceci nous permet de caractériser ces trajectoires écologiques et d'exprimer :

- les dynamiques fonctionnelles des lacs, en particulier les passages entre les périodes eutrophes, mésotrophes ou oligotrophes ;
- les évolutions de la diversité lacustre, en prenant en compte les variabilités interannuelles et les tendances, plutôt décennales, de l'évolution de cette diversité ;
- un focus sur les stocks de poissons.

Ce qu'on ne fait pas actuellement, c'est la relation avec l'évolution des services écosystémiques rendus par les lacs.

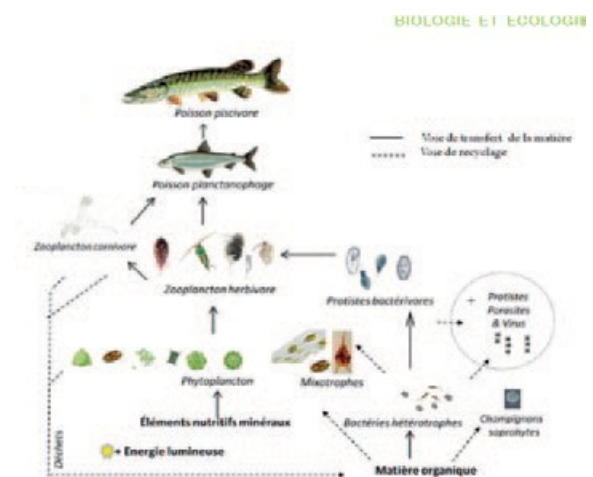


Figure 4. Exemple de réseau trophique avec transferts depuis les éléments minéraux et (ou) organiques disponibles dans l'eau jusqu'aux poissons (d'après Domaizon, comm. pers.).

Un forçage a beaucoup impacté les lacs : l'évolution des concentrations en phosphore dans le lac. Cela concerne le Léman et le Bourget, et à un moindre niveau Annecy.

Très globalement, dans le cas du Léman, c'est une évolution en trois temps (figure 5) :

- une phase d'eutrophisation, dont les conséquences néfastes ont été identifiées et diffusées par les professionnels du lac (scientifiques, pêcheurs professionnels), initiant une prise de conscience citoyenne (ONG) ;
- une phase de mise en œuvre d'actions correctrices (réseaux d'égoûts, stations de transfert d'énergie par pompage (STEP), structure de gestion, suppression du phosphore (P) dans les lessives (Suisse) réduisant drastiquement les apports de P biodisponible au lac ;
- une phase de restauration lente, avec un retour à des niveaux de P similaires à ceux des années 1950 avec reconstitution des services écosystémiques.

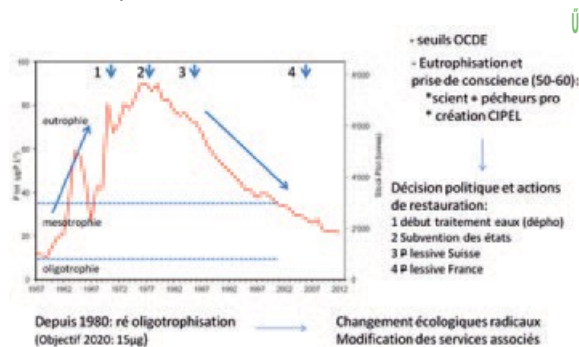


Figure 5. Évolution sur plus de 50 ans de la concentration moyenne pondérée en phosphore et des stocks du lac Léman.

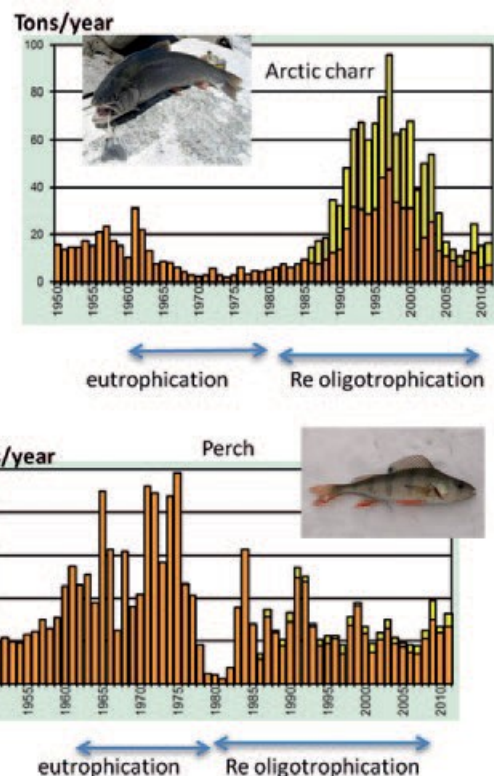
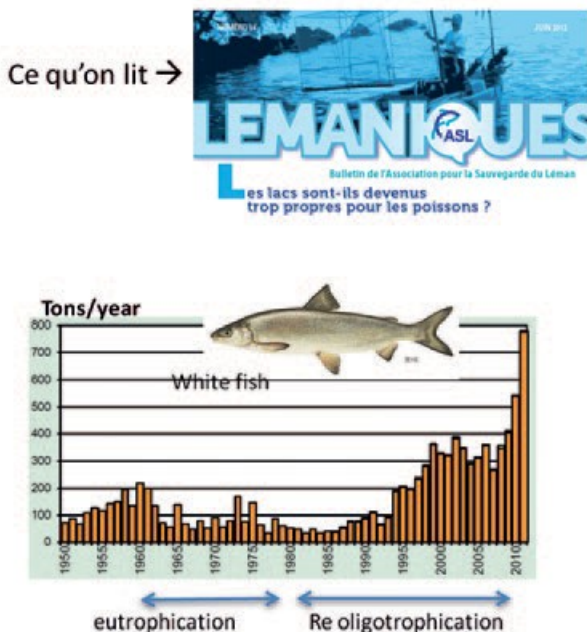


Figure 6. Évolution entre 1950 et 2010 des quantités pêchées (pêche professionnelle) d'omble chevalier (en haut à droite), de corégone et de perche (en bas à gauche et à droite, respectivement).

Les changements de teneur en P ont induit des changements écologiques dans le système lacustre et une des questions actuelles est l'interaction de ces « faibles » teneurs en P et le réchauffement progressif des eaux. En corollaire à ces changements d'eutrophie, certains services associés au lac se sont modifiés, notamment les services d'approvisionnement.

Les trois graphes de la figure 6 indiquent l'évolution des quantités de poissons pêchés annuellement depuis les années 1950 pour trois espèces emblématiques des lacs alpins, le corégone, l'omble chevalier et la perche. Les profils d'évolution de ces quantités pêchées sont très différents selon les espèces considérées. Si on cumule l'ensemble des prises pour quantifier globalement le service de pêche (en tonnes par an), on pêche beaucoup plus de poissons maintenant qu'il y a quarante ans. En fait, un des éléments qui est très marquant dans l'appréciation du service de pêche par les pêcheurs, c'est la perche que l'on pêche trois ou quatre fois moins qu'il y a quarante ans. Cette perception-là prédomine et induit certains articles de presse avec le message suivant : les lacs sont trop propres, c'est une menace sur la ressource. Par rapport à la question globale sur le service de pêche, il n'y a donc pas de réponse unique et il faut détailler, espèce par espèce, ce service.

D'une façon plus générale, en dessous d'une concentration de 5 µg/L de phosphate (ce qui est très faible), on a un effondrement des capacités de pêche sur un lac. Ce seuil de 5 µg/L, en tout cas en France et en Suisse, est loin d'être atteint puisqu'on vise, au mieux, un seuil de 10-15 µg/L. Si on prend le graphique de la figure 7, le seuil de 15 µg/L nous situe dans la moyenne de productivité, avec une incertitude élevée : pour une concentration de 10 µg/L, la quantité de pêche peut passer de 10 kg à 70 kg ou 80 kg/ha, indiquant le poids d'autres facteurs comme le ratio N/P, température, compétition interspécifique ... (figure 8).

Ce genre d'information est assez difficile à faire passer auprès des utilisateurs et des pêcheurs et nécessite un effort de vulgarisation d'autant plus important que notre connaissance scientifique du sujet est encore partielle.

Notre contribution à ce débat de société :

- des données scientifiques factuelles long terme permettent de relativiser et d'objectiver les affirmations du « bon sens social » ;

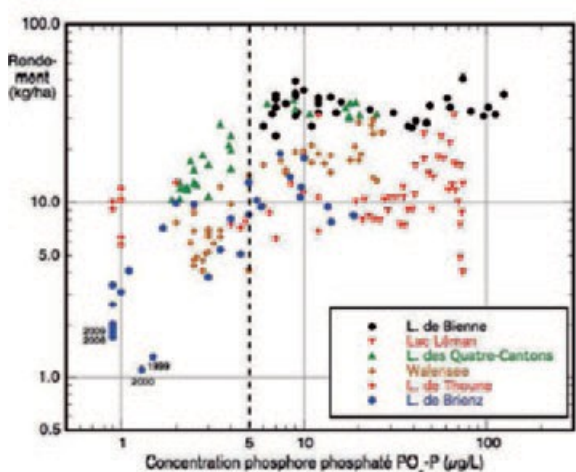


Figure 7. Relation entre le degré trophique de six lacs en termes de phosphates (PO4-P) et le rendement piscicole réalisé par la pêche professionnelle et amateur.

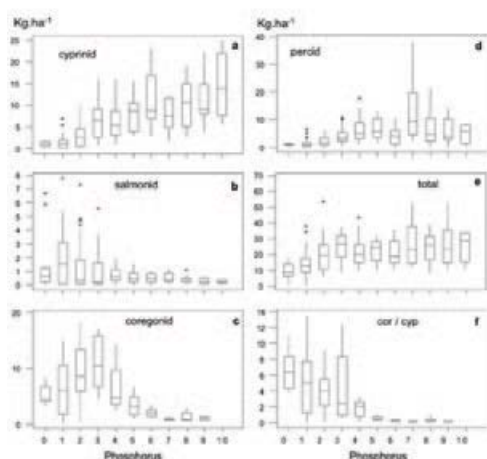


Figure 8. Box-plot de la distribution du rendement annuel moyen (kg/ha) de familles de poissons, pour chaque classe de concentration en phosphore. Les concentrations en phosphore sont divisées en 11 classes d'amplitude 10 µg/L (classe 0 =< 10 µg/L, 1 = 10 - 20, etc.).

- le service de production « pêche » est trop global ;
- tout n'est pas connu (cas de l'omble), les recherches sont à poursuivre.

Un autre phénomène touche également des services de production (la pêche, l'alimentation en eau potable), mais aussi un service récréatif. Il s'agit des blooms à cyanobactéries, susceptibles d'apparaître rapidement dans des zones riches en P et de produire des cyanotoxines, qui peuvent induire des allergies cutanées et interdire les prélèvements d'eau pour la potabilisation.

C'est un problème au niveau mondial, mais pour les lacs alpins il est en régression : plus de bloom à Planktothrix depuis les années 2009 (figure 9), probablement parce qu'on est passé en dessous d'un seuil critique en P. Cependant, d'autres espèces de cyanobactéries (Microcystis), dont l'optimum écologique diffère de celui de Planktothrix, peuvent encore proliférer, maintenant ainsi une certaine menace sur ces services.

### Conclusions des exemples précédents

- Nous fournissons des éléments explicatifs rétrospectifs (a posteriori) sur la causalité de l'état des SE rendus par les lacs, les interactions entre les services, les cascades causales.
- Nous montrons l'inertie et l'hystérésis des systèmes : le retour à des conditions oligotrophes est différent d'un retour à une biodiversité (ou un fonctionnement) « initial ». Donc, les perturbations passées continuent à impacter les SE d'aujourd'hui.
- Il n'y a pas de réponse simple : l'état d'un système lacustre est la résultante de multiples facteurs en interaction. Donc, les scientifiques, qui produisent des connaissances partielles, ne peuvent pas être formels.
- Il est difficile, en raison de l'incertitude et de la complexité des systèmes étudiés, de fournir aux gestionnaires et aux citoyens des réponses simples et claires.

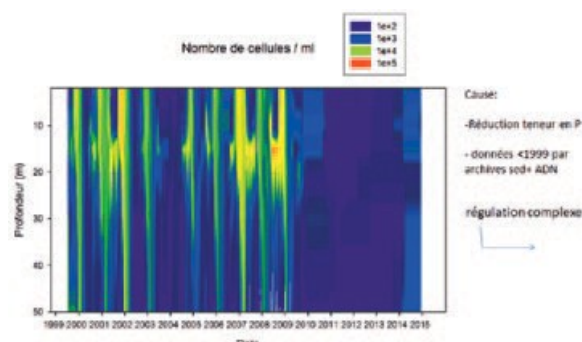


Figure 9. Évolution de la concentration cellulaire de Planktothrix rubescens de 1999 à 2014 en fonction de la profondeur dans le lac du Bourget (Jacquet, 2015).

## rôle du CArrel dans l'anticipation et l'alerte sur des risques futurs (pertes de services écosystémiques ?)

Nous avons trois pistes pour essayer d'améliorer cette interface entre les chercheurs, les limnologues du Carrel et le sociosystème lacustre au sens large : traduction, anticipation, transfert.

La **traduction**, pour nous, c'est essentiellement de continuer à traduire en termes scientifiques les questions très globales, les interpellations qui nous arrivent, de façon à pouvoir continuer à bâtir un corpus de connaissance adapté (tableau 3). Il est nécessaire (1) d'aller au-delà de la simple question qui est sous-tendue par la demande, (2) de maintenir un niveau de connaissance élevé de l'écologie du système et (3) d'alimenter cette base de connaissance. Le défaut, c'est d'attendre la « demande sociétale », avec un risque d'action *a posteriori*, non anticipée, ce qui motive notre seconde action.

Constat/demande	Avantage/service impactés	traduction en questions fonctionnelles de recherche
Prolifération d'algues	Colmatage de filets / gêne à la pêche Service d'approvisionnement	Explication du phénomène de prolifération. Écologie du plancton. Quelles sont les causes environnementales des blooms d'algues vertes ? Quelle dynamique spatio-temporelle ?
Bloom à cyanobactéries...	Risque sanitaire / eau potable Service d'approvisionnement	Écologie des cyanobactéries ? Causalités environnementales ? Devenir des cyanotoxines dans l'environnement lacustre ?
Moins de perches qu'avant....	Pêche professionnelle / restaurateurs Service d'approvisionnement Service culturel (tourisme)	Interaction entre populations piscicoles ? Dynamique des populations piscicoles en conditions de réoligotrophisation ? Dynamique temporelle ⇒ Observatoire !

Tableau 3. Traduction des demandes en questions de recherche.

La deuxième piste est donc **l'anticipation**.

Nous identifions plusieurs questions en émergence ou potentiellement émergentes, pour lesquelles on sait qu'il faudrait acquérir des connaissances (tableau 4) :

- Ū les micropolluants, résidus médicamenteux, en lien avec le développement des zones urbaines péri-lacustres et avec un impact potentiel sur la potabilisation de l'eau et sur la biodiversité ;
- Ū les espèces invasives, problème bien identifié, en particulier sur les zones rivulaires ;
- Ū le changement climatique, déjà considéré sous son volet thermique, mais dont le volet hydrométéorologie (régime pluvio-nival, épisodes extrêmes) est très peu abordé ;
- Ū les très faibles teneurs en phosphore et leurs conséquences sur la productivité lacustre et finalement piscicole.

Constat/demande	Avantage/service impactés	traduction en questions fonctionnelles de recherche
Micropolluants émergents	Eau potable (approvisionnement) Impact sur la biodiversité (support)	Effets des cocktail de polluants à basses concentrations sur les processus écologiques ?
Espèces invasives	Biodiversité (support)	Impact environnemental (à partir de quand une espèce n'est-elle plus invasive ?)
Effet du changement climatique (hydrométéorologie)	Biodiversité (support) Cycle éléments (régulation) Tourisme (culturel)	Interaction entre populations piscicoles ? Dynamique des populations piscicoles en conditions de réoligotrophisation ? Dynamique temporelle ⇒ Observatoire !
Très faibles teneurs en P	Réduction stock et pêches (approvisionnement)	Ultra-oligotrophie et réseau trophique, hétérotrophie/autotrophie, relations C et P
Augmentation des populations riveraines	Eau potable (approvisionnement) Tourisme (culturel)	Quelles nouvelles pressions ? Quelles interactions villes-lacs-sociétés ? Quels usages nouveaux ?

Tableau 4. Anticipation : des questions potentiellement émergentes (non exhaustif).

Plus globalement, c'est l'augmentation continue des populations riveraines (péri-urbanisation des bassins versants) qui génère de nombreuses questions hors du périmètre de compétence de l'Unité : quelles nouvelles pressions, quelles interactions ville-lac-société ?

Enfin, la troisième piste est le transfert, c'est-à-dire la traduction de nos connaissances scientifiques en indicateurs d'aide à la décision pour les gestionnaires.

Actuellement, on contribue à l'élaboration de tableaux de bord de qualité du milieu (figure 10), formés d'un mélange d'indicateurs de natures diverses : certains sont des services, d'autres des paramètres chimiques ou biologiques. Le tout bien difficile à agréger pour un diagnostic global !

Ce qu'on pourrait peut-être réaliser dans le futur, c'est de contribuer à la construction d'un tableau de bord basé uniquement sur un bouquet de services, en correspondance avec des valeurs quantifiées de paramètres écologiques. Tout l'enjeu pour nous est de passer d'une approche conceptuelle à une quantification de ces services, avec des seuils, des incertitudes, et de prolonger nos travaux de recherche en passant de l'implicite à l'explicite vis-à-vis des SE lacustres.

Notre lien avec le « socio-système » repose également sur la diffusion de la culture scientifique et la réponse à une certaine demande sociale. Cela se fait au moyen d'articles dans des journaux techniques type Sciences, Eaux et Territoires, ou des journaux régionaux grand public comme Nature et Patrimoine. C'est également la coréalisation en 2015 d'un ouvrage : Les Lacs alpins en 80 questions avec la Zone atelier bassin du Rhône. Cet ouvrage, coécrit avec les gestionnaires des lacs, est d'ailleurs celui où l'Unité a le plus avancé dans cette interface entre la connaissance scientifique de l'écologie lacustre et celle des services écosystémiques lacustres. Ceci montre bien l'utilité à minima pédagogique de ce concept.

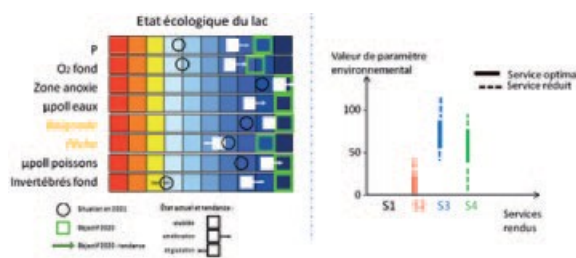
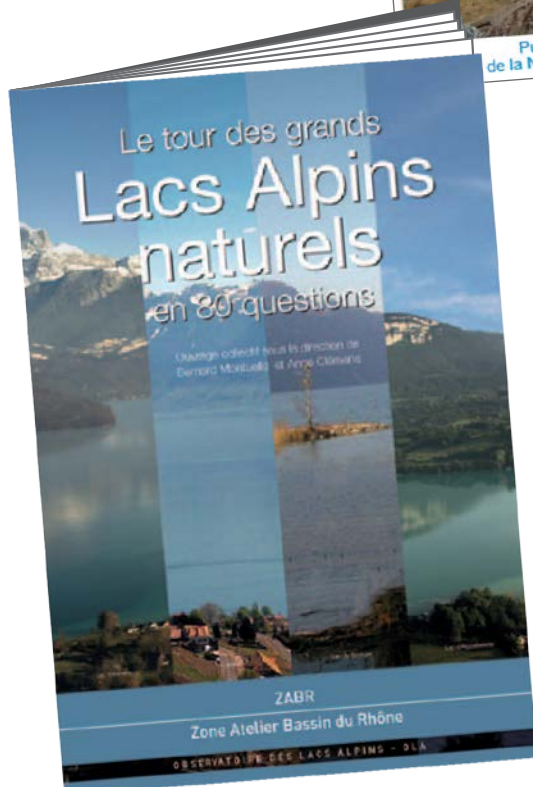


Figure 10. À gauche, le présent: contribution à des tableaux de bord de qualité du milieu (CIPEL). À droite, le futur: contribution à des tableaux de bord de bouquets de services ?



## CONCLUSION : un périmètre de légitimité à géométrie variable

En conclusion rapide, le schéma conceptuel du métaprogramme EcoServ (figure 11) permet de repositionner les actions de l'UMR Carrel.

L'Unité est très majoritairement impliquée dans le volet « connaissance de l'écosystème, de son fonctionnement, de sa relation avec les systèmes adjacents, le climat », mais contribue également, à un moindre niveau, aux autres sous-parties du modèle d'EcoServ : éléments scientifiques pour l'aide à la décision publique ; vulgarisation scientifique ; données sur l'effet des restaurations.

Pour le futur, l'enjeu majeur de cette question des SE lacustres, est d'arriver, au sein de l'Unité, à élaborer des indicateurs d'état du lac qui soient beaucoup plus liés à des services. Nous devons être en capacité d'évaluer a priori les conséquences écologiques sur les systèmes lacustres d'une éventuelle hiérarchisation des SE, décidée par les gestionnaires ou les pouvoirs publics en fonction des demandes sociétales.

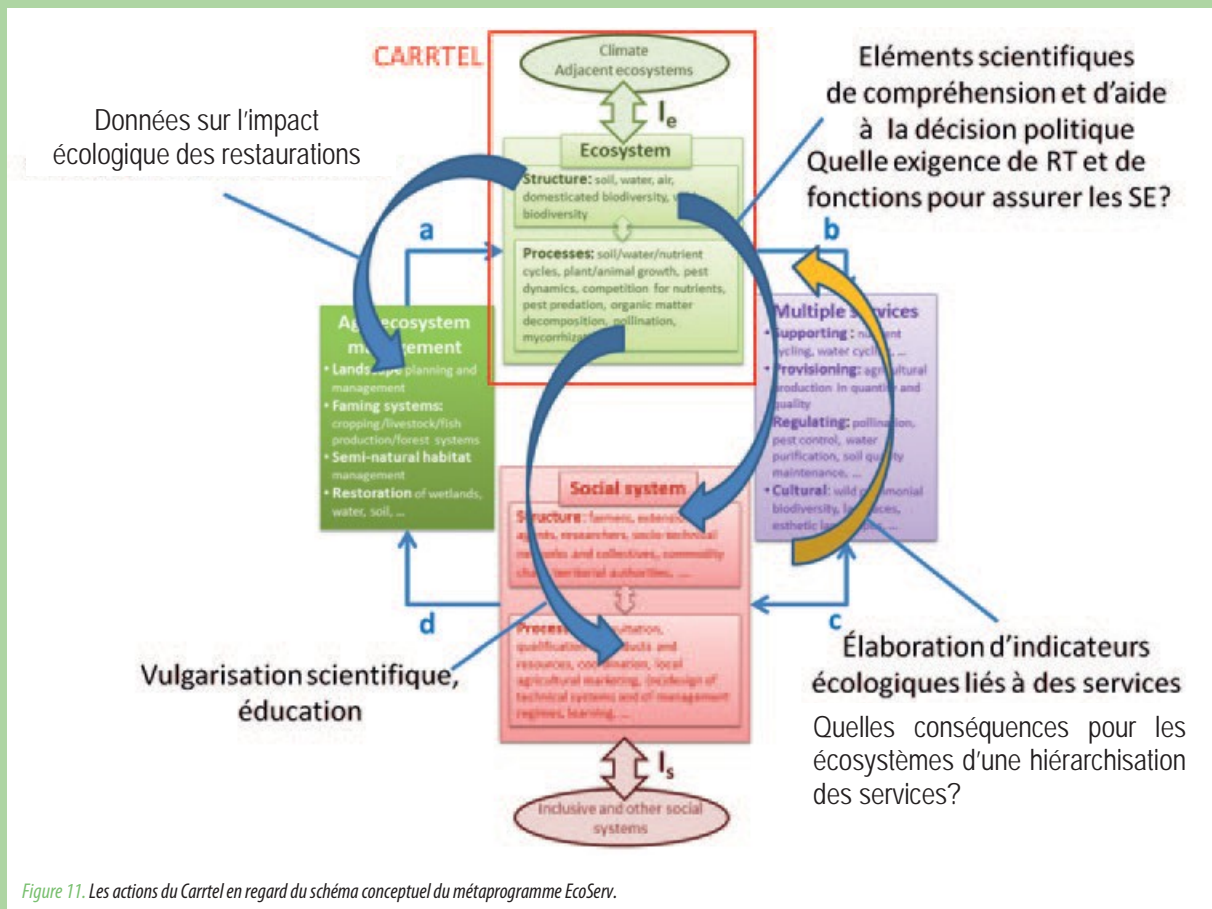


Figure 11. Les actions du Carrel en regard du schéma conceptuel du métaprogramme EcoServ.

## Référence bibliographique

Alcamo, J., Bennett, E.M., Millennium Ecosystem Assessment (Program) (2003) Ecosystems and human well-being : a framework for assessment, Washington, DC, Island Press.