

## FICHE TYPE DE RECUEIL DES FAITS MARQUANTS 2013 DES DEPARTEMENTS/CENTRES

(Renseigner une fiche par fait marquant, classification des rubriques en annexe)

Titre du fait marquant : **La diversité des virus associés au phytoplancton des lacs péri-alpins est importante, dynamique et parfois unique**

Catégorie: **Etude & Publication**

Contact : **Stéphan JACQUET**

Unité : **CARTEL**

Département : **EFPA**

Centre INRA de Recherche : **DIJON**

Axe du document d'orientation 2010-2020 : **Axe non renseigné**

Axe du tripode : **Environnement**

Domaine d'activité: **Microorganismes**

Méta-programme (si adapté): **Non**

Mots-clés (rubrique libre) : **écologie, écosystèmes, lacs, diversité, virus, plancton, facteur de régulation**

**Résumé (5 lignes)** : La diversité et la dynamique des virus infectant le phytoplancton eucaryote et procaryote des grands lacs péri-alpins ont été étudiés au cours d'une année complète. Les résultats acquis ont révélé une diversité importante, des liens marqués avec certains groupes (phyto)planctoniques et des caractéristiques génétiques uniques, suggérant l'importance de facteurs biogéographiques spécifiques au sein des lacs péri-alpins.

### **Contexte et enjeux :**

Le CARTEL met au centre de ses recherches l'étude du fonctionnement écologique et l'évolution des écosystèmes aquatiques, particulièrement des systèmes lacustres Rhône-alpins, en relation avec leurs bassins versants. Les recherches sont conduites avec la volonté de se placer au cœur des grands débats scientifiques actuels tels que le rôle fonctionnel de la biodiversité ou encore l'impact des changements globaux sur les écosystèmes.

Les microalgues sont les principaux contributeurs à la biomasse et à la production primaire des écosystèmes aquatiques. Premier maillon trophique, leur rôle est primordial dans le fonctionnement global des écosystèmes. De nombreux facteurs abiotiques ont été

identifiés dans la régulation de la dynamique des communautés phytoplanctoniques et de leurs efflorescences. Le rôle joué par les prédateurs zooplanctoniques et les virus constitue aussi un facteur important dans le contrôle de la biomasse et de la structure des communautés algales. La diversité et le rôle fonctionnel des virus est très mal connu et ceci est particulièrement vrai pour les milieux dulçaquicoles pour lesquels le nombre d'études est particulièrement réduit en Europe voir nul. Ainsi, compte tenu du rôle fonctionnel important qu'est susceptible d'exercer le parasitisme et/ou l'action lytique viral, il doit être considéré aujourd'hui avec plus d'attention dans le développement des concepts concernant la dynamique du phytoplancton des lacs péri-alpins (et au-delà) et les flux de matière dans les réseaux trophiques. Il est donc aujourd'hui critique de s'intéresser à la diversité et au rôle fonctionnel de ces virus en milieu lacustre.

La réalisation du travail de thèse de Xu ZHONG (2010-2013) a contribué à commencer à répondre aux questions suivantes :

- quelle est la diversité des virus phytoplanctoniques au sein des lacs péri-alpins ?
- quelle est la dynamique de cette diversité en lien avec les populations phytoplanctoniques hôtes et les facteurs environnementaux ?
- quelle est l'importance de la lyse virale comparativement à l'activité de prédation zooplanctonique dans le processus de mortalité du phytoplancton ?

**Ce travail de thèse a donc permis d'obtenir les premières données dans les grands lacs péri-alpins portant sur la diversité, la dynamique et rôle des virus du phytoplancton.**

### Résultats majeurs:

Notre étude a porté majoritairement sur les virus à ADN double brin susceptibles d'infecter les microalgues (appelés phycodnaviridés) et les cyanophages présents dans les eaux de surface (0-20 m) des deux plus grands lacs naturels français, le lac d'Annecy (oligotrophe) et le lac du Bourget (oligo-mésotrophe). Dans un premier temps, nous avons analysé (i) les abondances, la distribution en tailles de génome et de morphologie du virioplancton, (ii) la mortalité bactérienne imputable aux virus, et (iii) l'occurrence et la gamme de taille des génomes de virus du phytoplancton (cyanophages et phycodnaviridés). Dans un second temps, nous avons concentré notre attention sur les virus phytoplanctoniques et avons évalué leur diversité/structure en utilisant une approche de clonage-séquençage et en employant la PCR-DGGE à partir de 5 amorces différentes ciblant des gènes viraux (structurel ou fonctionnel) marqueurs distincts (*g20*, *g23*, *psbA*, *MCP*, *polB*). En parallèle, nous avons mesuré un grand nombre de facteurs biotiques et abiotiques afin d'étudier leur influence sur la dynamique de la structure des différentes communautés virales. Enfin, nous avons tenté de réaliser un zoom sur les interactions entre un groupe particulier de cyanophages, les cyanomyovirus, et les picocyanobactéries, au travers de la comparaison de leurs structures et abondances, mais aussi de la mortalité picocyanobactérienne induite par l'action lytique virale.

Nos résultats ont révélé que les virus planctoniques sont très abondants et très diversifiés dans les lacs péri-alpins, mais également que les communautés virales sont différentes entre les deux lacs étudiés et par rapport à d'autres écosystèmes d'eau douce et marins. Nous avons constaté que les abondances virales varient entre  $4,2 \times 10^7$  et  $21 \times 10^7$  part.ml<sup>-1</sup> dans le lac du Bourget et entre  $2,7 \times 10^7$  et  $8,4 \times 10^7$  part.ml<sup>-1</sup> dans le lac Annecy. Les principaux cyanophages (les cyanomyovirus) détectés par qPCR représentaient moins de 1% des virus totaux, avec au maximum  $3,7 \times 10^5$  part.ml<sup>-1</sup> dans le lac d'Annecy et  $9,4 \times 10^5$  part.ml<sup>-1</sup> dans le lac du Bourget. La mortalité bactérienne imputable à la lyse virale variait entre 6,1 et 33,2% [% de perte induite en termes d'abondances] dans le lac du Bourget et entre 7,4 et 52,6% dans le lac d'Annecy. Par comparaison, la mortalité des

picocyanobactéries n'était constatée qu'à de rares occasions (printemps et été) et uniquement pour le lac du Bourget, atteignant toutefois jusqu'à 24% au mois d'avril. La taille des génomes viraux variait entre 27 et 486 kb dans le lac du Bourget mais pouvait atteindre 620 kb au lac d'Annecy. Les virus infectant le phytoplancton présentait un large spectre de taille génomique, entre 65 et 486 kb, les limites de ces valeurs n'ayant encore jamais été rapportées pour les eaux douces (révélant donc une plus large gamme de taille que celle actuellement connue et répertoriée dans la littérature). Les séquences virales obtenues, associées aux gènes viraux examinés, étaient souvent retrouvées dans les deux lacs mais surtout étaient très différentes des autres environnements examinés de part le monde, suggérant l'influence de facteurs biogéographiques uniques. Des différences significatives ont aussi été détectées entre les deux lacs étudiés pour les myovirus de type T4 (*g23*) et les cyanomyovirus (*g20*), mais pas pour les cyanophages en général (*psbA*) et les phycodnaviridés (*polB* et *MCP*). Chaque groupe viral était caractérisé par des dynamiques temporelles différentes en termes de structure de la communauté dans le lac du Bourget, mais c'était seulement le cas pour les myovirus et les cyanophages dans le lac d'Annecy. Une seule dynamique temporelle était similaire entre les deux lacs, celle des myovirus. En concentrant un peu plus notre étude sur les relations entre cyanophages et picocyanobactéries, nous n'avons trouvé qu'une faible relation entre les abondances et les structures des communautés de *Synechococcus* spp et des cyanomyovirus, sauf au printemps dans le lac du Bourget au moment où la lyse virale de ces cyanobactéries était aussi détectée et relativement élevée. Ce dernier résultat révélait les limites de notre stratégie d'échantillonnage.

Nous avons donc révélé qu'il existe une grande diversité virale au sein des lacs péri-alpins, une partie de cette diversité étant unique à ces écosystèmes. La variabilité temporelle et spatiale dans la dynamique, la structure et la diversité du viroplancton, notamment pour les virus infectant le phytoplancton, semble marquée au sein de ces lacs et elle peut être associée aux variations significatives de la biomasse et/ou de la structure du phytoplancton. Les patterns observés pour ces virus semblent finalement répondre assez bien au modèle dit du « seed-bank » qui affirme que seule une petite partie des virus est caractérisée par des abondances élevées et par une activité mesurable (en tant qu'agents de mortalité cellulaire) à n'importe quel moment, la plupart étant rares et/ou inactifs.

### **Perspectives :**

Les travaux de la thèse de Xu ZHONG ont révélé que la diversité des virus infectant le phytoplancton eucaryote et procaryote des lacs alpins est importante, parfois unique, en tout cas spécifique. Il a aussi été révélé que la mortalité des picocyanobactéries imputable à certains cyanophages peut être très élevée à certains périodes de l'année. Toutefois, le rôle fonctionnel des virus phytoplanctoniques reste encore très largement à apprécier. Les perspectives sont donc nombreuses mais les priorités sont de pouvoir apprécier plus finement la diversité globale de ces virus, notamment par une approche de type métagénomique, et d'isoler et caractériser quelques virus. L'obtention de nouvelles séquences environnementales et des génomes d'isolats permettrait de définir des amorces plus spécifiques pour affiner les analyses de diversité et développer des approches par PCR quantitative afin de pouvoir analyser l'importance numérique de ces virus. Enfin, déterminer le rôle fonctionnel de ces virus en termes de mortalité reste un enjeu de taille. L'ensemble de ces perspectives fera le jeu d'un projet qui sera déposé auprès de l'ANR et de l'ERC en 2014.

## Valorisation : Articles, posters et communication orale

### Articles

- Zhong, X., L. Berdjeb and S. Jacquet. **2013**. Temporal dynamics and structure of picocyanobacteria and cyanomyoviruses in two large and deep peri-alpine lakes. *FEMS Microbiology Ecology* 86:312-326 (**IF=3.408**)
- Zhong, X. and S. Jacquet. **2013**. Prevalence of viral photosynthetic and capsid protein genes from cyanophages in two large and deep peri-alpine lakes. *Applied and Environmental Microbiology* 79:7169-7178 (**IF=3.829**)
- Zhong, X. and S. Jacquet. **2013**. Contrasting diversity of phycodnavirus signature genes in two large and deep western European lakes. *Environmental Microbiology (in press)* doi:10.1111/1462-2920.12201 (**IF=5.843**)
- Zhong, X., J. Colombet, A.S Pradeep Ram and S. Jacquet. **2013**. Variations in abundance, genome size, morphology, and functional role of the virioplankton of lakes Annecy and Bourget over a one-year study. *Microbial Ecology* doi:10.1007/s00248-013-0320-2 (**IF=2.912**)
- Zhong, X. and S. Jacquet. **2013**. T4-like myophages of two close neighboring large and deep sub-alpine lakes are characterized by different community composition and dynamic patterns. *Freshwater Biology (in revision)* (**IF=3.933**)
- Zhong, X., F. Rimet and S. Jacquet. **2013**. Seasonal variations in PCR-DGGE fingerprinted viruses infecting phytoplankton in large and deep peri-alpine lakes. *Ecological Research (accepted)* (**IF=1.552**)

### Posters

- Zhong, X. and S. Jacquet. Diversity of cyanophages and algal viruses in two deep and large peri-alpine lakes. *13<sup>th</sup> Symposium of Aquatic Microbial Ecology (SAME), Stresa, Italy, September 2013*
- Zhong, X. A.S. Pradeep-Ram and S. Jacquet. Dynamics of auto- and heterotrophic picoplankton and associated viruses in Lake Geneva. *13<sup>th</sup> Symposium of Aquatic Microbial Ecology (SAME), Stresa, Italy, September 2013*
- Zhong, X., L. Berdjeb and S. Jacquet. Abundance, richness and potential role of cyanophages in two peri-alpine lakes. *EMBO Conference: "Viruses of Microbes" II, Brussels, Belgium, July 2012*
- Parvathi, A., X. Zhong and S. Jacquet. Are viral photosynthetic reaction centre genes (*psbA* and *psbD*) more diverse than other viral signature genes in Lake Geneva? *EMBO Conference: "Viruses of Microbes" II, Brussels, Belgium, July 2012*

### Communication orale

- Zhong, X and S. Jacquet. Dynamics, richness and functional role of viruses infecting the phytoplankton of Lakes Annecy and Bourget (France). *Troisièmes Journées Internationales de Limnologie et d'Océanographie (JILO), Clermont-Ferrand, France, octobre 2012*