

Thèse en co-direction
Ecole des Ponts ParisTech - Centre national de la recherche scientifique libanais

Couplage entre fonctionnement physique et développement du phytoplancton dans les lacs de barrage de Grangent sur la Loire (France) et Karaoun sur le Litani (Liban).

Directeurs de thèse : B.Tassin (ENPC CEREREVE) et B.Lemaire (ENPC CEREREVE)
Co-directeurs de thèse : K.Slim (Univ Libanaise) et A.Atoui (CNRSL)

Contexte et enjeux

Les proliférations de phytoplancton, notamment de cyanobactéries toxiques, sont fréquentes sur les lacs et perturbent les activités comme la production d'eau potable, l'aquaculture ou la baignade. Le mécanisme de leur développement est mal connu, en raison entre autres d'un suivi insuffisant. Or la surveillance des milieux aquatiques contribue à la compréhension et à la gestion des milieux aquatiques.

En France, elle est nécessaire à l'atteinte du « bon état écologique et chimique » pour les milieux aquatiques naturels et du bon potentiel écologique pour les milieux aquatiques artificiels (directive-cadre européenne sur l'eau). La reconquête de la qualité écologique et la gestion durable des milieux aquatiques est aussi un des objectifs du « **Grenelle de l'environnement** ». Le tout dans un contexte de **changement climatique** dont les conséquences restent à évaluer.

Au Liban, ce n'est pas la quantité d'eau douce qui posera de graves problèmes dans l'avenir, mais la qualité des **ressources disponibles pour la consommation humaine**. Pour maîtriser la sécurité de l'approvisionnement, il devient primordial de comprendre les mécanismes des polluants et les proliférations d'algues et notamment des cyanobactéries toxiques.

Le LEESU travaille sur le fonctionnement biogéochimique des lacs depuis les années 1980, notamment dans le cadre du programme de surveillance du lac du Bourget qui a accompagné les travaux d'amélioration de sa qualité. Les principaux résultats obtenus par le laboratoire concernent l'hydrodynamique (modèle thermique, ondes internes à l'interface entre la couche de surface et la couche profonde), le cycle biogéochimique du phosphore, la dynamique de la matière particulaire (sédimentation, cristallisation de la calcite), les apports des affluents et la dynamique du phytoplancton dans le lac. Le laboratoire a développé un modèle numérique unidimensionnel pour les lacs alpins (lac Léman, puis lac du Bourget), décrivant le fonctionnement thermique, le cycle du phosphore et le phytoplancton (dont la cyanobactérie *Planktothrix rubescens* dans le lac du Bourget). Ce travail s'est fait dans le cadre d'une coopération de long terme avec d'autres laboratoires (Muséum national d'histoire naturelle, Laboratoire de géochimie des eaux de l'Université Paris Diderot, Laboratoire CARTEL de l'Institut national de recherche agronomique principalement) et avec le bureau d'études Sogréah.

Dans un premier temps, le projet **SACYTOX** du programme national RITEAU a développé un système de surveillance et d'alerte des **efflorescences de cyanobactéries toxiques** sur le lac du Bourget entre 2002 et 2004. Il couplait des mesures **in situ** (fluorescence, pH, oxygène dissous) et la **modélisation mathématique** opérationnelle de la dynamique de l'activité phytoplanctonique pour alerter le gestionnaire du lac si nécessaire. Dans la lignée de SACYTOX, de 2007 à 2010, le projet « Système opérationnel pour la surveillance et l'alerte **en temps réel** des proliférations phytoplanctoniques – application aux cyanobactéries » (**PROLIPHIC**) du programme ANR-PRECODD, développe, valide et effectue la pré-industrialisation d'un système **autonome** de surveillance et d'alerte. Il comprend la conception et la fabrication d'une **bouée de mesure**, l'automatisation de l'intégration des données, le développement de procédures d'alerte, la validation du système sur trois lacs représentatifs de la diversité des plans d'eau européens (grand lac alpin du Bourget, retenue de moyenne montagne de **Grangent** et petit lac urbain d'Enghien-les-Bains) (<http://proliphyc.h2o.net>). De tels systèmes de suivi et de prévision, autonomes, pourront participer à des réseaux de surveillance dans le cadre d'observatoires environnementaux qui ont vocation à se multiplier dans les années à venir.

Le lac Karaoun est la seule retenue artificielle du Liban, construite en 1960. Le barrage se situe dans la partie intermédiaire de la rivière Litani (160 km de long). Sa capacité maximale est de 220 millions de m³ mais ces dernières années, en raison de la sécheresse, la réserve n'excède pas 100 millions m³ (60 millions m³ en période d'étiage). Plusieurs usines y déversent leurs produits en plus des égouts des villages. Des études sporadiques ont montré la dégradation de la qualité des eaux et l'occurrence d'efflorescences de phytoplancton, comme par exemple celles de la dinophycée *Ceratium hirudinella* en 2006.

Le Laboratoire des sciences de l'eau et de l'environnement participe au suivi biogéochimique du lac Karaoun.

Objectifs de la thèse

La cyanobactérie *Microcystis aeruginosa* prolifère dans le lac de Grangent, et la dinophycée *Ceratium hirudinella* dans le lac Karaoun.

L'objectif de la thèse est de **comprendre les déterminants physiques des proliférations de phytoplancton** dans les deux lacs de barrage, de **modéliser leur fonctionnement biogéochimique** et de **fournir des recommandations pour la gestion hydraulique** des deux barrages.

Déroulement de la thèse

Le traitement de mesures climatiques, hydrologiques, physico-chimiques et biologiques sur les lacs de Karaoun et de Grangent, ainsi que des mesures en continu sur le lac de Grangent (bouée Proliphyc) et l'analyse des règles de gestion des deux barrages permettront de réaliser un modèle déterministe du développement du phytoplancton. Cela permettra d'étudier :

- l'influence de la gestion des retenues sur les écosystèmes constitués par les lacs, en particulier sur la dynamique phytoplanctonique (lâchers d'eau pour l'hydroélectricité, irrigation, production d'eau potable, maintien du niveau pour les loisirs),
- le rôle des pluies hivernales sur la recolonisation de la colonne d'eau du lac de Grangent par les cyanobactéries à partir du sédiment au printemps,
- l'influence de la sécheresse sur le risque de prolifération algale dans le lac de Karaoun.

Enfin, le doctorant proposera et analysera des scénarios de gestion des retenues limitant la prolifération des cyanobactéries à partir du modèle.

Caractère innovant :

- utilisation pour le lac de Grangent de séries de **mesures à haute fréquence dans la colonne d'eau**, physico-chimiques (température, conductivité, pH, oxygène) mais surtout biologiques (fluorescence associée à 5 familles de phytoplancton dont les cyanobactéries) ; profils de ces mêmes paramètres à la fréquence journalière,
- étude approfondie de la dynamique du phytoplancton et de la composition géochimique des eaux dans le lac Karaoun.

Champ disciplinaire

Le sujet est un sujet interdisciplinaire à dominante modélisation des milieux aquatiques. Un profil d'ingénieur et de bonnes bases en mathématiques appliquées seront un atout.

Ressources

Electricité de France assure un suivi physico-chimique et biologique du réservoir de Grangent depuis plusieurs années. La bouée du projet Proliphyc y sera maintenue durant la première moitié de la thèse de manière à étendre la durée de la série de mesures (météorologie, conductivité, oxygène dissous, fluorescence et température à deux profondeurs fixes, profils quotidiens de ces mêmes paramètres).

La modélisation de la physique des retenues et de la dynamique du phytoplancton en fonction des conditions physico-chimiques se basera sur ce qui s'est déjà fait pour le lac du Bourget (théorie et modélisation numérique).

Mots-clés : lac, hydrodynamique, biogéochimie, écologie fonctionnelle, cyanobactéries, phytoplancton, modélisation écologique.