

UNIVERSITÉ PARIS-EST

ECOLE DOCTORALE SIE - SCIENCES, INGÉNIERIE ET ENVIRONNEMENT

Thèse de doctorat

Sciences et Techniques de l'Environnement

M. Frédéric SOULIGNAC

APPORT DE LA MODÉLISATION TRIDIMENSIONNELLE À LA COMPRÉHENSION DU
FONCTIONNEMENT DES ECOSYSTÈMES LACUSTRES ET À L'ÉVALUATION DE
LEUR ÉTAT ÉCOLOGIQUE

Soutenance le 8 décembre 2017
à 14h00 en Amphithéâtre Navier

École des Ponts ParisTech
6-8 avenue Blaise-Pascal
Cité Descartes
77420 Champs-sur-Marne

Jury :

M. Damien BOUFFARD	EAWAG, Suisse	Rapporteur
M. Marco TOFFOLON	Université de Trente, Italie	Rapporteur
Mme Céline CASENAVE	INRA	Examinatrice
M. Jean-François HUMBERT	IEES Paris	Examineur
M. Rodolfo SCARATI	Univeristé de Sao Paulo, Brésil	Examineur
Brigitte VINÇON-LEITE	ENPC	Directice de thèse
Mme Orlane Anneville	INRA	Co-encadrante de thèse
M. Bruno LEMAIRE	ENPC	Co-encadrant de thèse
M. Rob UITTENBOGAARD	Deltares, Pays-Bas	Invité

Résumé :

La qualité des services écosystémiques qu'offrent les lacs est liée à la structure et au fonctionnement de leur écosystème. Protéger leur masse d'eau est devenu un objectif global qui requiert une meilleure compréhension de leur fonctionnement, un suivi et une évaluation de leur qualité. Expliquer les hétérogénéités spatio-temporelles des variables physico-chimiques et du phytoplancton est un problème récurrent rencontré en écologie et en hydrobiologie. Comprendre la dynamique de ces hétérogénéités est aussi un prérequis essentiel pour évaluer, protéger et restaurer objectivement les écosystèmes lacustres. En ce qui concerne la surveillance, les hétérogénéités spatio-temporelles introduisent des incertitudes sur la représentativité des mesures par rapport à

l'entièreté de la masse d'eau qui est donc discutable et doit être vérifiée. En Europe, la directive cadre sur l'eau (DCE) initiée en 2000 définit un cadre pour la gestion et la protection des eaux. La classification des masses d'eau en fonction de leur état écologique est un point important dans l'implémentation de cette directive. Pour les lacs et les retenues, l'évaluation de cet état écologique est basée sur des paramètres biologiques, physico-chimiques et hydromorphologiques. Les indicateurs liés au phytoplancton et aux paramètres physico-chimiques sont calculés à partir de quatre prélèvements réalisés pendant la période d'activité biologique pour une année sur un plan de gestion de six ans.

Dans ce contexte, la modélisation tridimensionnelle (3D) et la prise en compte des forçages qui conduisent aux hétérogénéités spatio-temporelles est une condition préalable nécessaire tant en limnologie appliquée que théorique. Cette thèse aborde la complexité du fonctionnement des lacs et la capacité des modèles 3D à reproduire leur fonctionnement. L'apport de la modélisation 3D est présenté i) pour la compréhension du fonctionnement de lacs de différentes tailles, ii) couplée aux observations satellitaires, pour l'étude de l'influence des forçages par le vent et de l'hydrodynamique sur l'abondance et la distribution spatiale de phytoplancton, iii) dans le cadre de la DCE, pour l'évaluation des incertitudes d'une évaluation de l'état écologique d'un plan d'eau. Pour cela, deux modèles 3D ont été créés et analysés, un pour le lac de Créteil (42 ha) et un autre pour le Léman (580 km²). Celui du lac de Créteil a été validé à partir de données à hautes fréquences acquises en trois points du lac. Il reproduit correctement son hydrodynamique complexe, sa structure thermique, l'alternance entre les périodes de stratification et les épisodes de mélange, ainsi que les ondes internes. Le modèle du Léman a été validé en utilisant des données mensuelles et bimensuelles en deux stations de prélèvement du lac. Il reproduit aussi correctement son hydrodynamique et la variabilité saisonnière de paramètres physico-chimiques et biologiques. Les résultats des simulations mettent en avant les mécanismes physiques et hydrodynamiques responsables de l'apparition de sites où la biomasse de phytoplancton observée est plus élevée. Dans le cadre de la DCE, ces résultats montrent aussi une variabilité spatiale importante des sous-états écologiques basés sur les différents paramètres qui dépendent du choix des dates des campagnes de mesure et du point d'échantillonnage. Ces résultats ont aussi été utilisés pour estimer la représentativité d'une station de prélèvement. Les résultats de cette thèse i) confirment que le fonctionnement des plans d'eau de toute taille est complexe et que les processus physiques génèrent des hétérogénéités spatio-temporelles, ii) suggèrent que le vent et l'hydrodynamique influencent significativement l'abondance et la distribution spatiale du phytoplancton et que iii) ces hétérogénéités peuvent biaiser notre estimation du statut écologique des plans d'eau dans le cadre de la DCE.

Mots clés : Lac; Hydrodynamique; Écologie; Modélisation tridimensionnelle; Hétérogénéité spatio-temporelle; Directive cadre sur l'eau