Modélisation des régimes thermiques des plans d'eau français

AOI ECOREV 2009
Cemagref/CEREGE

Exposé scientifique du projet:

- **Contexte de la recherche**

L'évaluation des impacts écologiques du changement climatique est une étape clé dans la gestion des écosystèmes. Cela est particulièrement vrai pour les écosystèmes lacustres européens, pour lesquels la directive cadre européenne sur l'eau (DCE) implique un retour au bon état écologique à l'horizon 2015. S'il n'est pas question de corriger les tendances climatiques à cet horizon, il est en revanche indispensable de connaître l'évolution de systèmes de référence sous cette contrainte pour mieux gérer l'impact des autres pressions anthropiques. L'acquisition de connaissances fondamentales relatives aux impacts écologiques du changement climatique est donc cruciale. Dans ce cadre, caractériser le fonctionnement thermique des systèmes est un pré requis indispensable au développement de toute recherche fondamentale ou appliquée portant sur les effets du changement climatique sur les écosystèmes.

La caractérisation des conditions climatiques en milieu terrestre a déjà été largement développée. Cela n'est pas le cas pour les milieux aquatiques pour lesquels l'appréhension des conditions thermiques a été moins systématique. Pourtant, la température est un élément clé de ces systèmes. En effet, les organismes aquatiques sont pour la plupart ectothermes. De plus, il existe un fort couplage entre température et quantité d'oxygène dissous dans l'eau. De ce fait, la prise en compte de la température est indispensable lors de la caractérisation de l'état d'un système naturel ou perturbé. Ces considérations, couplées au réchauffement global observé, ont poussé l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA) à développer dès aujourd'hui un réseau de suivi des conditions thermiques dans les cours d'eau français. L'équivalent n'existe pas encore pour les plans d'eau mais est désiré par l'ONEMA. Dans ce sens, l'établissement d'un bilan des données thermique actuellement disponibles sur ces systèmes permettrait de mieux définir ce réseau.

Parallèlement aux mesures in situ, il existe des modèles thermodynamiques qui permettent de caractériser la température des lacs. Outre les conditions actuelles, ces modèles permettent de prédire l'évolution des conditions thermiques sous différents scenarii climatiques. Cependant, ces modèles ont principalement été utilisés pour des grands systèmes lacustres (de l'ordre de 10^9 m^3) et doivent être adaptés à des petits plans d'eau. Le développement d'un outil transférable entre systèmes est donc indispensable.

- **Objectifs de la demande :**

Ce travail constitue une étape préliminaire d'un projet ANR jeune chercheur qui sera soumis en septembre 2009. Ce projet porte sur l'étude des liens entre structures en taille et température à différentes échelles biologiques (de l'individu à la communauté) chez les ectothermes. Il existe plusieurs règles écologiques relatives aux liens taille-température (règle de Bergmann, règle de James et Temperature-Size-Rule). Le projet vise (1) à clarifier l'échelle biologique à laquelle ces règles jouent, (2) à évaluer l'influence des contraintes non thermiques (ex : ressources, compétition) sur ces règles, (3) à évaluer la nature adaptative des modifications des structures en taille et enfin (4) à étudier les liens entre ces règles et la règle d'Elton qui lie taille des organismes et position dans la chaîne trophique. Le modèle biologique considéré est le poisson. Le travail sera basé sur des approches expérimentales et sur l'analyse de données récoltées dans les plans d'eau français et européens et à disposition du Cemagref. Un pré requis essentiel à ce travail est l'évaluation des conditions thermiques dans les plans d'eau.

Dans ce cadre, le projet ECOREV présenté ici a deux objectifs principaux : (1) recenser les données thermiques disponibles actuellement dans la base de données du Cemagref et (2) tester les capacités de transférabilité du modèle de caractérisation du fonctionnement thermique des plans d'eau développé par P.A. Danis (CEREGE) sur des systèmes particuliers (en particulier des retenues). Le travail s'inscrit dans une volonté d'utilisation d'approches physiques (ici en particulier thermodynamiques) dans un objectif écologique.

Dans le cadre de la DCE, il existe aujourd'hui un réseau de suivi des conditions biologiques et environnementales des plans d'eau français. L'Equipe Ecosystèmes Lacustres (UR HYAX, Cemagref Aix-en-Provence) est identifiée par le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de l'Aménagement du Territoire (MEEDAT) comme le gestionnaire des données récoltées dans le cadre de ce réseau. L'équipe a donc à sa disposition une quantité importante de données environnementales et biologiques sur de nombreux plans d'eau français. En particulier, le protocole d'échantillonnage du phytoplancton implique la réalisation de 4 profils verticaux annuels de températures couplés aux échantillons biologiques. L'objectif de la première étape du projet sera donc de recenser l'ensemble des données thermiques disponibles dans cette base. Cette étape nous fournira une image des caractéristiques thermiques actuelles des plans d'eau.

Dans un deuxième temps, nous appliquerons le modèle thermodynamique développé par P.A. Danis (Danis *et al.*, 2003) pour caractériser les conditions thermiques de la retenue de Bimont (13095 Saint-Marc-Jaumegarde). Le premier objectif de cette étape est de voir dans quelle mesure le modèle, développé pour des plans d'eau de grande taille, peut s'appliquer sur des plans d'eau de petite taille au fonctionnement particulier (ici une retenue ayant des apports hors bassin versant). Nous identifierons en particulier si le rapport entre volume des systèmes et volume des apports par les cours d'eau affluents peut influencer l'adéquation au modèle. S'il existe un lien clair, nous tenterons alors de mieux caractériser l'influence des apports dans le bilan thermique du plan d'eau. A terme, la mise en place d'un tel outil permettra (1) d'évaluer les conditions thermiques d'un lac en fonction de caractéristiques environnementales facilement accessibles (conditions météorologiques locales, débits et températures des affluents) et (2) d'envisager l'utilisation de scenarii climatiques pour prédire les évolutions futures des caractéristiques thermiques de plans d'eau variés.

- **Réalisations prévues**

La première étape du projet consistera à recenser et bancariser les données thermiques existantes. De plus, En collaboration avec P.A. Danis, nous utiliserons des données locales de conditions de vent et de température pour prédire le fonctionnement thermique de la retenue de Bimont. Cette retenue à l'intérêt d'être facilement accessible depuis le Cemagref d'Aix-en-Provence et la particularité d'avoir un fonctionnement principalement basé sur des apports hors basin versant. Appliquer le modèle de P.A. Danis sur ce système permettra (1) d'un point de vue scientifique de tester ses limites sur des plans d'eau particuliers et (2) d'un point de vue politique de développer les liens existant entre le Cemagref et le Société du Canal de Provence. Ce deuxième point est important si l'équipe désire utiliser ce plan d'eau comme site pilote (ex : réalisation d'expérimentations in situ, suivi long terme).

Les conditions météorologiques seront tirées des stations de mesure locales (Météo France) ou du CRU (Mitchell & Jones, 2005; http://www.cru.uea.ac.uk/). Les données du CRU fournissent les conditions climatiques régionales (résolution spatiale de 50km) à l'échelle mensuelle sur la période 1901-2002. D'autres sources sont également disponibles pour les paramètres météorologiques comme les sorties du modèle régional REMO (résolution spatiale de 50km ; données journalières actuellement disponibles pour la période 1961-2001 ; Hoffmann *et al.*, in prep). Un profil thermique de la retenue sera réalisé mensuellement pour une durée d'un an.

Les conditions locales (plus proche station météorologique) de vent et de température seront demandées à Météo-France pour une période de 5 ans. Nous utiliserons la méthode présentée dans Danis *et al.* (2003) pour ajuster les conditions météorologiques de la station Météo France (ou au point de la grille CRU ou de la grille REMO) à la position du plan d'eau. Nous utiliserons le modèle développé par Danis et al. (2003, Fig. 1) pour prédire les conditions thermiques de la retenue. Ce modèle a été développé pour des lacs de grande taille pour lesquels les échanges thermiques sont importants avec l'atmosphère et où les influences thermiques des tributaires et des sédiments sont limitées. Il est donc possible qu'il existe des écarts significatifs au modèle pour des lacs de petite taille au regard des débits des affluents et des stockages de chaleur dans les sédiments. Nous comparerons donc les sorties du modèle avec les données mesurées pour calculer des erreurs de prédiction. Nous vérifierons par des modèles linéaires si ces erreurs de prédiction sont liées à des variables caractérisant le ratio entre les débits des affluents (ou le volume de sédiment) et le volume total du plan d'eau. Si ce lien est établi, cela indiquera qu'une prise en compte de l'influence thermique des affluents et/ou des sédiments est nécessaire.

Sous conditions de données suffisantes, nous améliorerons, en collaboration avec P.A. Danis, le modèle existant en prenant en compte l'influence des apports des affluents et l'influence des sédiments. Pour ce faire, nous calquerons le modèle des flux isotopiques développé par P.A. Danis (2003) pour l'appliquer à des flux thermiques. Dans un premier temps, nous nous attacherons à développer un modèle simple afin de garantir au mieux sa transportabilité. L'hypothèse de travail principale est le lien entre densité de l'eau et température, les eaux des affluents venant se mêler aux eaux du plan d'eau de même densité. L'écoulement de l'eau est évalué par des bilans de masse, la régulation du niveau du lac s'effectuant pas effet « piston ». Un bilan thermique est également appliqué pour prendre en compte l'influence thermique de la masse d'eau supplémentaire sur les eaux du plan d'eau.

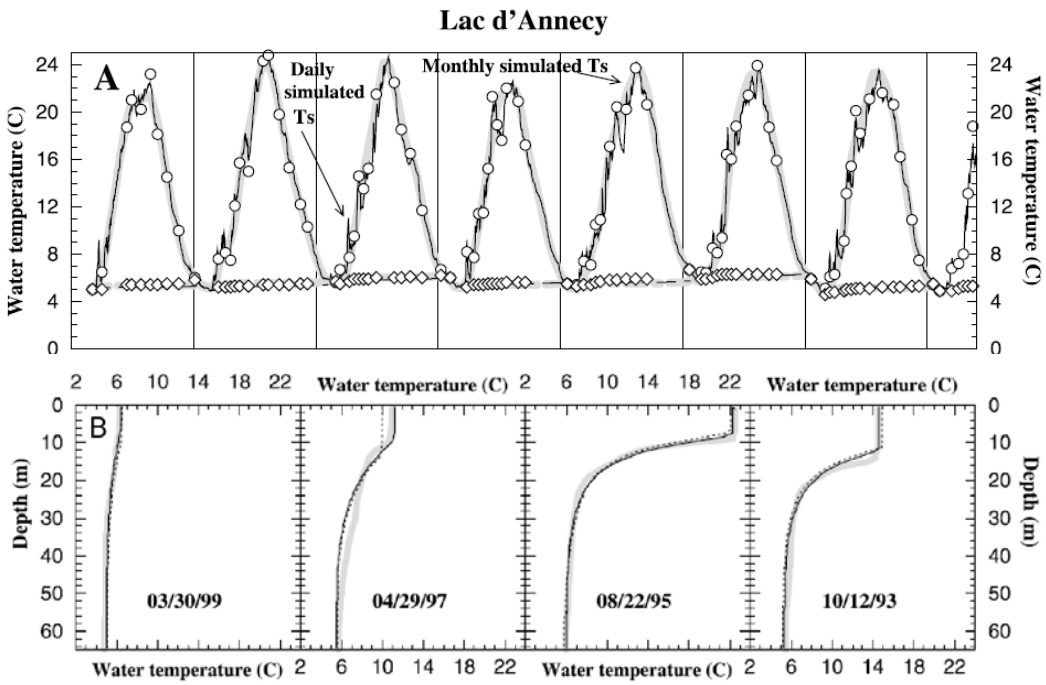

Figure 1: Exemple de sorties du modèle de Danis *et al.* (2003) pour le lac d'Annecy. (A) Simulations mensuelles (lignes grises) et journalières (ligne noires) des températures de surface et de fond. (B) Profils verticaux à l'échelle mensuelle (trait continu) et journalière (trait pointillé). Les cercles (température de surface, 1A) les losanges (température de fond, 1A) et les lignes grises (profils verticaux, 1B) sont des données observées.

- **Plan financier**

La demande financière s'élève à 10 000€ (Cemagref : 9000 €; CEREGE : 1000 €). Cette somme couvrira les frais de déplacement des différents partenaires (réunions + mesures thermiques sur la retenue de Bimont) et les frais liés à l'acquisition des données Météo-France.

- **Organisation des échanges**

La collaboration entre les équipes se fera principalement par des réunions sur l'un des deux sites. Une première réunion permettra de définir les données nécessaires à la réalisation du projet. Une ou deux réunion porteront sur le développement du modèle et sur l'analyse de ses sorties. En dehors de ces échanges, d'autres réunions pourront être définies lors de la rédaction des publications dérivées du projet.

Références:

Danis PA. Les publications de P.A. Danis sont données ci-après.

Majewski D (1991) The Europa Modell of the Deutscher Wetterdienst ECMWF Seminar on Numerical Methods in Atmospheric Models, Reading UK, II, 147-191.

Mitchell TD, Jones PD (2005) An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. International Journal of Climatology, 25, 693-712.

Sturm K, Hoffmann G, Langmann B, Stichler W (2005) Simulation of delta 18O in precipitation by the regional circulation model REMOiso. Hydrological Processes, 19, 3425-3444

Description du consortium:

- **Liste des participants :**

  - Cemagref Aix-en-Provence:

Martin Daufresne, Chargé de recherche (CR2), Implication dans le projet : 10%
Cédric Lanoiselée, Assistant Ingénieur, Implication dans le projet : 10%

  - CEREGE:

Pierre-Alain Danis, Chercheur contractuel, Implication dans le projet : 3%

- **Porteurs du projet :**

  - Cemagref Aix-en-Provence:

Martin Daufresne, Chargé de recherche (CR2), UR Hydrobiologie, 3275 Route de Cézanne, CS 40061 13182 Aix-en-Provence Cedex 5. Courriel : martin.daufresne@cemagref.fr, Tel : 04 42 66 79 41, Fax : 04 42 66 99 34.

Thèmes de recherche : Dynamiques des communautés et populations, impacts écologiques du changement climatique, relations taille-température chez les ectothermes.

Formation : Docteur en écologie (Université Lyon 1, 2004), ingénieur agronome (spécialisation halieutique, 1999).

Expérience professionnelle : CR2 au Cemagref depuis Mars 2007. Post-doctorats : IFM-GEOMAR (Kiel, Allemagne, 2006) ; Université de Konstanz (Konstanz, Allemagne, 2005) ; Université d'Oslo (Oslo, Norvège, 2005) ; Cemagref (Antony, France, 2004).

Publications :

Daufresne, M., Boët, P. (2007) Climate change impacts on structure and diversity of fish communities in rivers. *Global Change Biology*, 13, 2467-2478.

Daufresne, M., Bady, P., Fruget, J. (2007) Impacts of global changes and extreme hydro-climatic events on macroinvertebrate community structures in the French Rhône River. *Oecologia*, 151, 544-559

Daufresne, M., Roger, M. C., Capra, H., Lamouroux, N. (2004) Long-term changes within the invertebrate and fish communities of the Upper Rhone River: effects of climatic factors. *Global Change Biology*, 10, 124-140.

  - CEREGE:

Pierre-Alain Danis, Chercheur contractuel au CEREGE, UMR 6635, Europôle Méditerranéen de l'Arbois, BP 80 13545 Aix-en-Provence Cedex 4. Courriel : danis@cerege.fr, Tel : 04 42 97 17 58, Fax : 04 42 97 15 47.

Thèmes de recherche : Développement d'outils de modélisation pour l'étude des impacts des changements climatiques passés et futurs sur les écosystèmes lacustres et forestiers.

Formation : Docteur en géologie (Université de Savoie, 2003), diplômé de l'Ecole Normale Supérieure de Lyon.

Expérience professionnelle : Chercheur contractuel au CEREGE (CDD CNRS, 18 mois, en cours depuis Oct. 2008), Post-doctorat au LSCE (24 mois, 2006-08), ATER au CEREGE (5 mois, 2003-04), Ingénieur d'étude ANDRA (36 mois, 2000-03).

Publications :

Danis P.-A., V. Masson-Delmotte, M. Stievenard, M.-T. Guillemin, V. Daux, Ph. Naveau, U. von Grafenstein (2006). Reconstruction of past precipitation d18O using tree-ring cellulose d18O and d13C : a calibration study near lac d'Annecy, France. *Earth and Planetary Science Letters*, 243, 439-448.

Danis P.-A., U. von Grafenstein, V. Masson-Delmotte, S. Planton, J.-M. Moisselin, D. Gerdeaux (2004). Vulnerability of two European lakes in response to future climatic changes. *Geophysical Research Letters*, 31, L21507.

Danis P.-A., von Grafenstein U., Masson-Delmotte V. (2003). Sensitivity of deep lake temperature to past and future climatic changes : a modeling study for lac d'Annecy (France) and Ammersee (Germany). *Journal of Geophysical Research*, 108(D19).