

Bonjour à tous,

J'ai le plaisir de vous convier à ma soutenance de thèse intitulée :

**« Devenir des sols ennoyés sous les réservoirs de barrage. Effet sur la sédimentation et l'écologie des plans d'eau. »**

qui aura lieu le **mercredi 12 décembre 2018** à **14H00** dans l'amphithéâtre 1 de l'IUT à l'université de Savoie Mont-Blanc (28 avenue du lac d'Annecy, 73370 Le Bourget-du-Lac).

La soutenance sera suivie d'un pot de thèse où vous pourrez profiter des spécialités locales !

Le jury sera composé de :

François GUILLEMETTE	Professeur, UQTR	Rapporteur
Gérard GRUAU	Directeur de recherche, CNRS/Univ Rennes 1	Rapporteur
Florence HULOT	Maitre de conférence, Univ Paris-Sud XI	Examinatrice
Agnès BARILLIER	Ingénieur, EDF-CIH	Examinatrice
Gilles PINAY	Directeur de recherche, IRSTEA	Examineur

Avec :

Etienne DAMBRINE	Professeur, INRA/ Univ Savoie Mont-Blanc	Directeur de thèse
Vincent CHANUDET	Ingénieur, EDF-CIH	Co-directeur de thèse
Christian WALTER	Professeur, INRA/ Agrocampus Ouest	Co-directeur de thèse

En espérant vous voir nombreux,  
Cordialement,

Jim FELIX-FAURE

-----  
Jim Félix-Faure

Doctorant - Centre Alpin de Recherche sur les Réseaux Trophiques et les Écosystèmes Limniques  
UMR 042 CARTEL - INRA/Université de Savoie Mont Blanc  
SceM, Bât. Belledonne 225  
73376 Le Bourget du Lac Cedex

[jim.felix-faure@univ-smb.fr](mailto:jim.felix-faure@univ-smb.fr)

# Thèse

Présentée pour obtenir le grade de

**DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE SAVOIE MONT-BLANC**

Spécialité : Biodiversité, Écologie, Environnement

Par

**Jim FÉLIX-FAURE**

## **Devenir des sols ennoyés sous les réservoirs de barrage. Effet sur la sédimentation et l'écologie des plans d'eau.**



Thèse soutenue publiquement le

**12 décembre 2018**

Devant le jury composé de :

**Mr. Etienne DAMBRINE**  
**Mr. Vincent CHANUDET**  
**Mr. Christian WALTER**  
**Mr. François GUILLEMETTE**  
**Mr. Gérard GRUAU**  
**Mme. Florence HULOT**  
**Mme. Agnès BARILLIER**  
**Mr. Gilles PINAY**

Professeur, INRA / USMB  
Ingénieur, EDF-CIH  
Professeur, INRA / Agrocampus Ouest  
Professeur, UQTR  
Directeur de recherche, CNRS / Univ. Rennes 1  
Maitre de Conférences, Univ. Paris-Sud XI  
Ingénieure, EDF-CIH  
Directeur de recherche, IRSTEA

Directeur de thèse  
Co-directeur de thèse  
Co-directeur de thèse  
Rapporteur  
Rapporteur  
Examinatrice  
Examinatrice  
Examinateur

## Résumé

A l'échelle mondiale, les retenues de barrage couvrent environ  $0,26 \cdot 10^6$  km<sup>2</sup>. Leur remplissage transforme des écosystèmes terrestres en écosystèmes aquatiques et occasionne des modifications majeures des cycles biogéochimiques à l'échelle locale et à l'échelle globale. Cette thèse s'intéresse à l'évolution des sols ennoyés par les réservoirs de barrage et à l'influence de ces sols sur les flux sédimentaires, le statut trophique et les émissions de gaz à effet de serre des réservoirs. Trois sites ont été étudiés afin de cerner ces différents aspects: deux grandes retenues mésotrophes de moyenne montagne (Sarrans, 1934, Massif Central) et de plaine (Guerlédan, 1931, Bretagne) et un petit lac subalpin oligotrophe modifié pour la production hydro-électrique (Corne, 1976, Alpes du Nord).

L'utilisation hydro-électrique conduit à un marnage saisonnier, qui conditionne une érosion accrue des sols dans la zone de marnage et un transfert de ces matériaux au plan d'eau. A Sarrans, l'érosion des sols de la zone de marnage annuel contribue à environ un tiers de la masse totale de sédiment accumulée depuis la mise en eau. Dans le petit lac modifié de Corne, l'analyse des sédiments montre, l'arrivée d'un flux d'abord organique puis progressivement minéral provenant des sols de la zone de marnage, et l'épuisement de ce flux au bout d'une quarantaine d'années. Ces flux de matière devraient donc être pris en compte pour les calculs d'accumulation sédimentaire dans les retenues.

Dans la zone toujours en eau, les sols évoluent dans un milieu hypoxique et sont peu à peu recouverts de sédiments. A Guerlédan comme à Sarrans, l'analyse morphologique et géochimique des sols noyés en permanence montre des sols de couleur terne, mais dans lesquels on distingue encore les horizons pédologiques d'origine. Leur pH s'est élevé au contact de la masse d'eau. Les horizons spodiques de podzols ont perdu l'essentiel de leur fer amorphe, tandis que leur teneur en Al amorphe a peu évolué. Quatre-vingt ans après la mise en eau, ces sols ont perdu entre 40% et 50% de leur stock de carbone et azote d'origine. Ce flux de carbone, s'il est libéré sous forme de CO<sub>2</sub> ou CH<sub>4</sub>, peut quantitativement expliquer l'essentiel du pic d'émission de GES des retenues après leur mise en eau. Les flux de carbone transféré au sédiment par érosion des sols de la zone de marnage, et potentiellement minéralisé dans la zone toujours en eau, doivent donc être déduits des bilans de stockage de carbone sédimentaire attribués traditionnellement aux retenues de barrages.

A Sarrans (et probablement Guerlédan), comparé aux flux entrants par l'affluent et turbinés en sortie du réservoir, le transfert vers la masse d'eau du carbone et de l'azote des sols de la zone de marnage ne semble pas suffisant pour alimenter un regain trophique consécutif à l'ennoisement ; sauf si l'érosion des sols de la zone de marnage annuel, et notamment des horizons organiques, opère rapidement après la mise en eau. Au lac de la Corne, l'approche paléo-limnologique indique que les flux de carbone du sol sont métabolisés par le lac. Les communautés microalgales montrent une élévation de l'état trophique du lac suivi d'une dépression progressive et confirment donc la théorie du « Trophic upsurge ».

Les retenues de barrage constituent des sites exceptionnels de mesure de l'évolution des sols noyés sur des périodes de temps variables et fournissent des archives précieuses des propriétés des sols du passé.

## Abstract

On a global scale, water reservoirs cover about  $0.26 \cdot 10^6 \text{ km}^2$ . Their impoundment transforms terrestrial ecosystems into aquatic ecosystems and causes major changes in biogeochemical cycles at the local and global scales. This thesis focuses on the evolution of soils flooded by reservoirs and the influence of these soils on sedimentary fluxes, trophic state and greenhouse gas emissions from reservoirs. Three sites were studied to identify these different aspects: two large mesotrophic reservoirs of mid-mountain (Sarrans, 1934, Massif Central) and lowland (Guerlédan, 1931, Brittany) and a small oligotrophic subalpine lake modified for hydroelectric generation (Corne, 1976, Northern Alps).

Hydroelectric management leads to a seasonal water level fluctuation, which increases soil erosion in the tidal zone and transfers soil materials to the water body. At Sarrans, soil erosion in the annual drawdown zone contributes to about one third of the total mass of sediment accumulated since impoundment. In the small modified Lake of Corne, the analysis of the sediments shows the arrival of organic fluxes progressively followed by mineral fluxes originating from the soils of the drawdown zone, and finally the depletion of that fluxes after forty years. These internal fluxes should not be taken into account as catchment inputs when sediment accumulation rates are calculated in reservoirs.

In the permanently flooded zone, soils evolve in a hypoxic environment and are gradually covered by sediment. At Guerlédan, as at Sarrans, the morphological and geochemical analysis of permanently drowned soils shows dull colors along soil pits, but original soil horizons are still recognisable. Their pH has risen in contact with the water body. Spodic horizons of podzols have lost most of their amorphous iron, while their amorphous Al content has changed little. Eighty years after impoundment, these soils have lost between 40% and 50% of their original carbon and nitrogen stocks. This carbon flux, if released in the form of  $\text{CO}_2$  or  $\text{CH}_4$ , can quantitatively explain a major part of the GHG emission peak of the reservoirs after being filled with water. The carbon fluxes transferred to the sediment by erosion of the soils of the drawdown zone, and potentially mineralized in the permanently flooded zone, must therefore be deduced from the carbon burial traditionally attributed to reservoir sediments.

At Sarrans (and probably Guerlédan), compared to tributary inflows and outflow at the outlet of the reservoir, the transfer of carbon and nitrogen from the soils of the drawdown zone to the water body does not seem sufficient to feed a trophic upsurge after flooding; unless soil erosion in the annual drawdown zone, including organic horizons, occurs soon after impoundment. At the Lake of Corne, the paleo-limnological study indicates that soil carbon fluxes are metabolized by the lake. The diatom community show an elevation of the trophic state of the lake followed by a progressive depression and thus confirm the "Trophic upsurge" theory.

Water reservoirs are exceptional sites for measuring the evolution of soils in anoxic conditions over various periods of time. In addition, they provide valuable archives of past soil properties.