

Ecole doctorale Environnements-Santé
Dossier de projet de thèse « Contrat doctoral Etablissements »
ANNEE 2025

1) Renseignements administratifs sur la direction de thèse¹ (1 page maximum) :

Directeur de thèse HDR

Nom : Bertrand

Prénom : Guillaume

Section CNU : 36

Grade : MCU

HDR : non ; oui Date de soutenance...31/01/2025..... Discipline :

Hydrogéologie

Coordonnées (adresse, courriel, téléphone) : 4 place Tharradin, 25200 Montbéliard

guillaume.bertrand2@univ-fcomte.fr

Unité d'appartenance (intitulé, label, n°, directeur) : UMR CNRS/UMLP 6249 Chrono-environnement, dir : Emilie Gauthier

Co-directeur de thèse éventuel :

Nom : STEINMANN

Prénom : Marc

Section CNU : 36

Grade : MCU

HDR : Date de soutenance : 3.12.2008 Discipline : Géochimie

L'HDR devra être soutenue, ou sa soutenance autorisée, au moment du dépôt du présent projet.

Coordonnées (adresse, courriel, téléphone) : 16 route de Gray, 25000 BESANCON

marc.steinmann@univ-fcomte.fr, +33 3 81 66 65 46

Unité d'appartenance (intitulé, label, n°, directeur) : UMR CNRS/UMLP 6249 Chrono-environnement, dir : Emilie Gauthier

2) Descriptif du projet de thèse (devra inclure les rubriques suivantes) :

- nom et label de l'unité de recherche (ainsi que l'équipe interne s'il y a lieu)

UMR CNRS/UMLP 6249 Chrono-environnement, Thème : GEODE/ DYNABIO

- localisation : 16 route de Gray, 25000 BESANCON

- nom du directeur de thèse et du co-directeur s'il y a lieu Marc Steinmann/ Guillaume Bertrand

- adresse courriel du contact scientifique : guillaume.bertrand2@univ-fcomte.fr

- titre du projet : PROjetEr la Dynamique Hydrologique et du Carbone dans le Karst et les Tourbières du Jura au XXIème siècle (PREDHYCKT Jura XXI)

¹ ATTENTION : selon l'article 16 de l'arrêté du 25 mai 2016, le total d'encadrants ne peut pas dépasser 2, sauf si l'un des encadrants appartient au monde socio-économique, qui peut venir en sus, ou en cas de co-tutelle; Le décompte des co-encadrements se fera au prorata du nombre d'encadrants : 1 pour 1 encadrant, ½ pour deux encadrants.

- description du projet (2 pages maximum)

Les systèmes karstiques et les tourbières sont des compartiments importants de la Zone Critique qui contribuent à la régulation du cycle de l'eau et des flux de carbone. Ils ont potentiellement aussi la capacité d'immobiliser du CO₂ atmosphérique, dans le cas du karst par la dissolution de calcaire et dans le cas des tourbières par le stockage de carbone organique sous forme de tourbe. Cependant, les mécanismes chimiques, biologiques, hydrologiques sous-jacents sont complexes, car soumis à divers processus de rétroaction ainsi qu'à des variations cycliques à l'échelle journalière et saisonnière, ce qui rend leur quantification délicate. De plus, le changement climatique modifie aujourd'hui le fonctionnement de ces systèmes en perturbant leur équilibre hydrique et leur dynamique écologique.

Dans ce contexte, le massif du Jura, compte tenu de sa géomorphologie karstique et sa forte densité de tourbières, constitue une zone stratégique du point de vue des flux de carbone des hydrosystèmes, mais également une zone de forte sensibilité hydroclimatique avec des événements de sécheresses ou d'inondations amplifiés par le fonctionnement non-linéaire des karsts et des zones humides. Ce contexte implique l'augmentation des risques et de situations de conflits d'usage de la ressource depuis quelques années, et pose aussi la question de la réponse de ces systèmes en tant que stock de carbone potentiellement réémis vers l'atmosphère. Dans ce cadre, ce projet vise à atteindre les objectifs spécifiques suivants : 1) quantifier les flux d'eau et de carbone organique et inorganique dissous, particulaire et gazeux à plusieurs échelles temporelles (sub-horaire, quotidienne, saisonnière et annuelle) dans le karst jurassien et dans les tourbières, en prenant en compte les processus de spéciation et en évaluant l'influence des facteurs hydro-météorologiques et écologiques sur ces flux (ex. : saisons, dynamique de la nappe, événements extrêmes, humidité du sol, etc.) ; 2) caractériser l'origine et les proportions de carbone mobilisés par les transferts d'eau (carbone organique superficiel contre profond / carbone inorganique biogénique contre terrigène) ; 3) extrapoler les flux d'eau et de carbone pour les décennies futures, en se basant sur des données historiques et des projections climatiques régionalisées jusqu'en 2100.

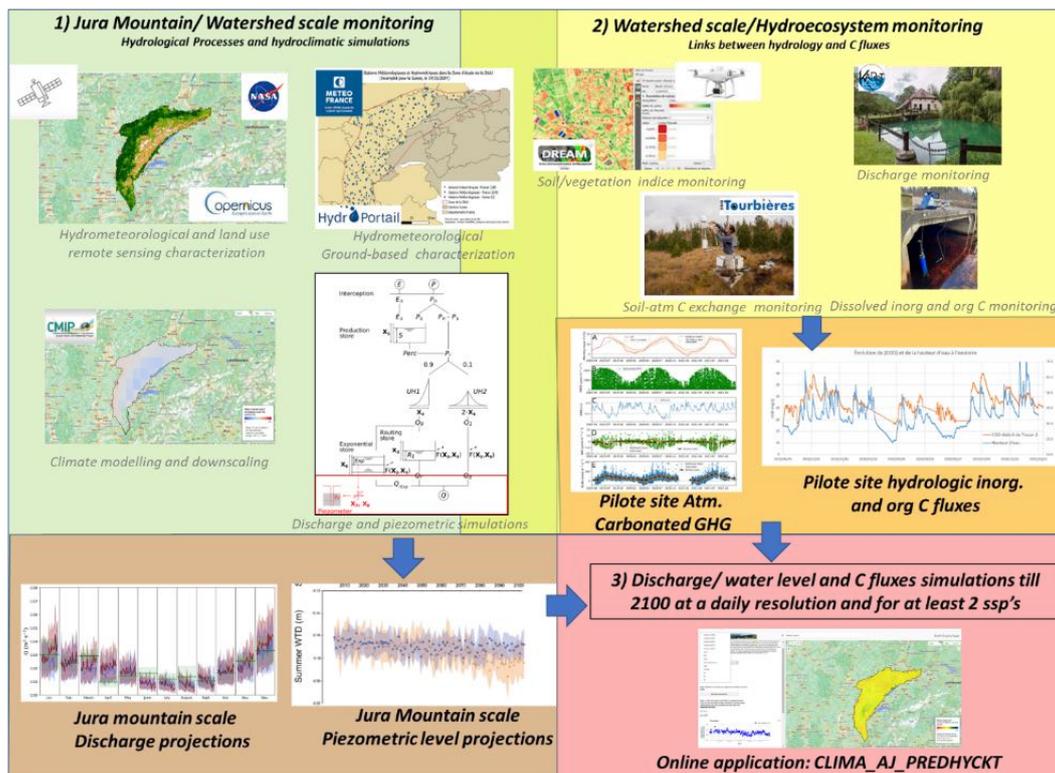
Pour atteindre ces objectifs, la stratégie scientifique consistera à :

- (1) alimenter une base de données pour produire des modèles pluie-débit permettant de formaliser la réactivité hydrologique de chaque émergence ou niveau aquifère surveillé dans le Jura depuis au moins 5 années. Pour cela, des modèles hydrologiques seront calibrés et validés. L'utilisation des codes en licence gratuite (modèle airGR de l'INRAE) et/ou Karstmod seront testés.
- (2) En parallèle, une évaluation de la dynamique des flux de carbone entre tourbière et l'atmosphère (C gazeux) et entre la tourbière/karst et l'hydrosystème en aval (C hydrologique) sera réalisée en s'appuyant sur les données existantes des observatoires du SNO Tourbières et du SNO Karst dans le massif. Les facteurs environnementaux contraignants ces dynamiques (ex. indices de sol, de végétation, conditions hydrométéorologiques) seront évalués statistiquement et formalisés via une approche de machine learning pour créer des modèles de prévision (ex. : modèles linéaires multiples, arbres de décision, forêts aléatoires ou réseaux de neurones, collaboration avec le laboratoire Hydrosiences Montpellier). Cette approche quantitative sera complétée avec une approche qualitative basée sur le suivi pendant 1 année hydrologique des signatures isotopiques de l'eau (¹⁸O, ²H) pour l'origine et dynamique de l'eau et du C (¹³C du DOC et du DIC).
- (3) Sur la base des données et modèles précédents, des simulations futures hydrologiques et de flux de C et seront réalisés pour l'ensemble des sites documentés dans le Jura. Ces simulations seront basées sur les simulations climatiques du programme Climate Model Intercomparison Project (CMIP) qui alimentent les rapports du GIEC et ce, pour au moins 2 trajectoires socio-économiques (ssp245 et ssp585). Cela impliquera une phase de downscaling pour ajuster la représentativité des simulations de modèles globaux aux conditions locales. Pour les sites pilotes du SNO Karst et Tourbières, ces simulations seront combinées à la modélisation des flux de C

hydrologique et de C gazeux, rendant possible une extrapolation des flux aux systèmes similaires dans le Jura. L'ensemble des données générées sera rendu disponible sans restriction via une application web de type Earth Visualization Engine accessible sur le site de la Zone Atelier de l'Arc Jurassien ou de l'Observatoire du Changement climatique du Jura actuellement en construction.

Pour pouvoir mettre en œuvre ces approches, les données, qui sont pour la plupart déjà disponibles car produites par des services d'observation nationaux et internationaux, seront compilées le long d'un continuum d'échelles spatio-temporelles :

- Aux échelles du massif jurassien / des bassins versants, une analyse sera réalisée sur les données existants sur les flux d'eau (P, ET, contenu en eau du sol, débit) et du carbone (production primaire brute et nette) sera réalisée. Pour cela, des produits satellitaires de météorologie/réanalyse (ex. : ERA-5, CHIRPS, MERRA-2) d'occupation du sol, de flux de C et de stockage de l'eau sans le sol (ex. : MODIS / LandSat, GRACE, SMAP) seront utilisés combinés aux bases de données de suivi de terrain à long terme (ex : Météo France, Météo Suisse, HydroPortail, ADES, etc...). Le projet proposera aux acteurs régionaux (municipalités, syndicat des eaux, PNR, CEN, entreprises, etc...), disposant de données hydrologiques (débits, hauteurs d'eau dans les aquifères, les lacs, les tourbières) de les fournir pour alimenter la base de données en vue de produire des simulations hydrologiques et hydrogéologiques futures.
- Aux échelles des bassins versants / hydroécosystèmes, afin de caractériser les processus hydrodynamique et biogéochimiques liant entre les dynamiques de l'eau et du carbone. Pour ceci nous utiliserons les données des suivis à long terme (débits et du carbone inorganique / organique) du SNO Karst sur 4 sources suivant un gradient altitudinal entre Baume-les-Dames (source de Fourbanne à 270 m) et Mouthe (source du Doubs à 950 m) et du SNO Tourbières (tourbière de Frasne). Parallèlement à ces suivis, ces deux sites seront également caractérisés d'un point de vue isotopique sur 2 années hydrologiques, afin de caractériser l'origine de l'eau (^{18}O , ^2H). Ces données seront combinées avec la caractérisation de la végétation et des mesures ponctuelles de flux de GES carbonés au sol. Pour cette dernière, les échanges de C entre la surface et l'atmosphère seront évalués en continu via la tour à flux du SNO Tourbières. Dans le cadre de la thèse, ces approches seront complétées en implémentant une approche de télédétection suborbitale (drones à caméra visible et multispectrale de l'Open-Lab DREAM financé par le programme RITM-BFC) pour caractériser à haute résolution spatiale la morphologie de la surface, les indices de sol et de végétation sur deux systèmes représentatifs de karst et de tourbière. En outre, pour comprendre les mécanismes de mobilisation du carbone dans les deux types de systèmes, un suivi isotopique du carbone organique et inorganique (^{13}C du CID et du COD) sera organisé à une résolution mensuelle, mais avec une résolution plus élevée pour des événements spécifiques comme d'importantes fontes de neige ou des événements extrêmes (ex. : orages).
- Selon l'avancement du projet, le/la candidate pourra aussi contribuer à la mise en place d'une station de mesure à l'exutoire d'une tourbière de montagne en contexte tropical au Brésil pour mettre en œuvre des approches similaires (Etat de Rio, projet France-Brésil-Argentine PER TURBERA) et participera ainsi à l'internationalisation de nos programmes de recherche.



- Financement du projet – partie Recherche (montants acquis, type de contrat)

- Récurrents : SNO Tourbières (env 2000 € / an) ; OSU THETA (env 2000 € / an)
- Ponctuels : (IR OZCAR, Pays de Montbéliard Agglomération, LCE) (env. 1000 € /an)
- AAP région (projet PREDHYCKT soumis, en cours d'analyse)

NB : La très grande majorité des données étant des données libres d'accès, ainsi que les logiciels envisagés, et la thèse se déroulant dans le cadre de 2 observatoires ayant des financements récurrents pour assurer les suivis, l'essentiel des informations requises est en principe déjà assuré.

- connaissances et compétences requises

Hydrologie/Hydrogéologie/Géochimie
Outils de cartographie (QGIS)
Programmation (R/ Python/ javascript)
Anglais

Résumé en français et anglais (limité chacun à 1800 caractères)

Résumé

Les systèmes karstiques et les tourbières jouent un rôle clé dans la régulation du cycle de l'eau et du carbone. Ils peuvent stocker du CO₂ atmosphérique via la dissolution du calcaire (karst) et l'accumulation de matière organique (tourbières). Cependant, ces processus sont complexes, influencés par des rétroactions et des variations saisonnières, rendant leur

quantification délicate. Le changement climatique perturbe aujourd'hui leur équilibre hydrique et écologique, augmentant les risques de sécheresses et d'inondations.

Le massif du Jura, riche en karsts et tourbières, est un site stratégique pour l'étude des flux de carbone et des dynamiques hydroclimatiques. Ce projet vise trois objectifs : (1) quantifier les flux d'eau et de carbone à différentes échelles temporelles en fonction des facteurs environnementaux ; (2) identifier l'origine et les proportions du carbone transporté par l'eau ; (3) modéliser l'évolution future de ces flux à partir de données historiques et de projections climatiques jusqu'en 2100.

Pour atteindre ces objectifs, une base de données sera constituée à partir de mesures hydrologiques et biogéochimiques, avec l'usage de modèles hydrologiques open-source et d'approches de machine learning. Des analyses isotopiques permettront d'affiner la compréhension des dynamiques de l'eau et du carbone. Les simulations futures s'appuieront sur des scénarios climatiques du GIEC (CMIP, SSP245 et SSP585).

Les données produites seront librement accessibles via une plateforme web.

Abstract :

Karst systems and peatlands play a crucial role in regulating the water and carbon cycles. They can sequester atmospheric CO₂ through limestone dissolution (karst) and organic matter accumulation (peatlands). However, these processes are complex, influenced by feedback mechanisms and seasonal variations, making their quantification challenging. Climate change is disrupting their hydrological and ecological balance, increasing drought and flood risks.

The Jura Mountains, with their high density of karst and peatland ecosystems, are a key study area for carbon fluxes and hydroclimatic dynamics. This project aims to: (1) quantify water and carbon fluxes at various temporal scales based on environmental drivers; (2) identify the origin and proportion of transported carbon; (3) model the future evolution of these fluxes using historical data and climate projections up to 2100.

To achieve these goals, a comprehensive database will be built using hydrological and biogeochemical measurements, open-source hydrological models, and machine learning approaches. Isotopic analyses will refine the understanding of water and carbon dynamics. Future simulations will be based on IPCC climate scenarios (CMIP, SSP245, and SSP585).

The generated data will be freely accessible via a web platform.

Préciser le domaine de compétence dans la liste ci-dessous (2 choix possibles maximum – ne pas modifier les intitulés : ils sont imposés par certains sites web) :

Chimie

Ecologie, Environnement

Mots clés :

Carbone, Changement Climatique, Simulation, Bases de données, données satellitaires, Drones, Isotopes