

**Fiche projet Accord Cadre  
ZABR – Agence de l'eau**

**2022-n°action-POM-Proxy-S - UMR5023 - Particulate organic matter as proxy for climate change impacts on water quality in the Saône River**

---

**INTITULE DU PROJET : POM-Proxy-S: Étude de la matière organique particulaire (MOP) comme proxy des impacts du changement climatique sur la qualité de l'eau de la Saône**

**Responsable scientifique du projet:**

- **Nom** WISSEL
- **Prénom** Björn
- **Organisme du contact** UCBL/LEHNA
- **Fonction** PU
- **Courriel** bjoern.wissel@univ-lyon1.fr

**EQUIPES DE RECHERCHES ZABR CONCERNEES et CONTACT SCIENTIFIQUE DE L'EQUIPE**

*(Équipe membre ou associée de la ZABR)*

LEHNA: Björn WISSEL

INRAE RiverLy: Florentina MOATAR

**AUTRES PARTENAIRES**

*(Préciser leur degré d'implication et leur accord)*

- Recherche:
- Institutionnel:

**THEMATIQUE NATURE ET OPERATION** *(ne rien compléter)*

- Thématique : Etude recherche et réseau de suivi
- Nature du projet : Etude générale et recherche
- Type d'opération : Recherche et innovation
- **Intitulé de l'opération :**

**LOCALISATION DU PROJET:** *(se remplit automatiquement -Ne rien remplir)*

- **Commune principale et numéro INSEE** : à compléter
- **Sous bassin versant**
- **Nom du cours d'eau**
- Contrat (si intégré dans un contrat de rivière, un SAGE ou un autre contrat avec l'agence de l'eau)

**RESUME DU PROJET GLOBAL**

• **Résumé**

Au sein des bassins versants, les activités humaines (urbanisation, agriculture, élevage, industrie, déforestation...) et les altérations des débits (dûs, par exemple, à la chenalisation, aux barrages, à l'imperméabilisation des sols) ont détérioré la qualité de l'eau et l'intégrité biologique de la Saône. Cette tendance sera probablement encore exacerbée par des crues, des sécheresses et des vagues de chaleur plus sévères associées aux futurs changements climatiques. Les crues peuvent provoquer des inondations, des exportations de contaminants, l'affouillement des habitats et le déplacement du biote. Inversement, les faibles débits, en particulier en association avec des températures élevées, entraîne souvent une concentration de polluants, un appauvrissement en oxygène, des blooms de cyanobactéries et la dessiccation de l'habitat près des rives (en plus du stress thermique direct).

Le développement de bonnes pratiques de gestion adaptative de la Saône nécessitera une bonne compréhension des relations de cause à effet entre les impacts du changement climatique (CC), et la

qualité de l'eau / l'intégrité biologique (WC/BI). Par conséquent, nous proposons de caractériser une suite de paramètres clés pour décrire au mieux les associations CC - WC/BI, qui seront utilisées pour des analyses empiriques et une modélisation prédictive. Plus précisément, nous mesurerons des paramètres qui décrivent les conditions physiques (débit, température, oxygène, pH, conductivité, TSS), chimiques (C, N et P) et biologiques (Chlorophylle a, matière organique particulaire (MOP)). Pour identifier l'origine et la composition de la matière organique (par exemple, des cyanobactéries, des sédiments, des engrais, de lisier), nous utiliserons des analyses des isotopes stables du C et N de la MOP. Pour permettre une analyse plus détaillée de l'activité métabolique (production primaire et respiration), des capteurs pour enregistrer en continu l'oxygène dissous et la température seront déployés.

La grande variabilité temporelle et spatiale du système sera caractérisée par un échantillonnage bihebdomadaire sur une période de deux ans (janv. 2023 à déc. 2024) à trois sites (Lyon, Mâcon, Chalon s. S.). Cet échantillonnage permettra de déterminer non seulement la variabilité saisonnière et interannuelle, mais intégrera également les associations CC-WC/BI pour les sous-bassins qui subissent l'influence de différents bassins versants. Parce que deux années d'échantillonnage peuvent ne pas décrire suffisamment la plage de variabilité temporelle du système, nous tirerons parti des échantillons de pièges à sédiments existants (échantillonnages mensuels pendant 10 ans, <https://bdoh.irstea.fr/OBSERVATOIRE-DES-SEDIMENTS-DU-RHONE/>), dont les concentrations et les compositions isotopiques du C et N seront analysés.

Tout d'abord, ce projet explorera l'impact des conditions météorologiques saisonnières et interannuelles actuelles sur la qualité de l'eau de la Saône (et les effets sur l'intégrité biologique), identifiera les paramètres clés pour les différentes échelles temporelles et spatiales, et permettra de déduire la contribution des différents bassins versants. Deuxièmement, les données d'oxygène dissous, de température, de débit et de rayonnement solaire nous permettront de modéliser la production primaire et la respiration et de les relier aux processus biogéochimiques qui se déroulent au sein du cours d'eau. Malgré la durée relativement courte du projet, cette approche couplant acquisition de données et modélisation fournira des informations essentielles sur le fonctionnement écologique du système et fournira des conseils sur la manière d'adapter la gestion pour atténuer les impacts du changement climatique. Les informations nécessaires sur les impacts du changement climatique sur la température et l'hydrologie seront obtenues grâce à des modèles existants (J-2000 et T-NET) qui sont actuellement en développement dans un autre projet (PhD Léo Rouchy (LR), INRAE RiverLy). À terme, les données sur la qualité de l'eau recueillies au cours de ce projet pourraient également être utilisées dans les futurs travaux par le modèle Qual-Net pour prévoir les impacts futurs sur la qualité de l'eau / biogéochimie du système Saône (Minaudo et al. 2018).

#### **ENCART 2022-XX- POM-Proxy-S - UMR5023** (WISSEL Bjoern) (500 caractères espaces inclus)

- Tache de l'équipe dans le projet : BW organisera et conduira la collecte des données de terrain et des échantillons d'eau avec l'ingénieur de recherche recruté. L'ingénieur de recherche recruté préparera et analysera les échantillons en collaboration avec F. Mermillod-Blondin (carbone), F. Vallier (nutriments, Chl a) et F. Fourel (isotopes stables). L'ingénieur de recherche recruté, BW, F. Moatar et J.Diamond collaboreront sur des modèles métaboliques basés sur des données d'oxygène. L'ingénieur de recherche sera en charge de la gestion des données. Tous les participants collaboreront à l'analyse des données, à la génération des rapports et à la rédaction des publications.

#### **ENCART 2022-XX- POM-Proxy-S - RiverLy** (MOATAR Florentina) (500 caractères espaces inclus)

- Tache de l'équipe dans le projet : The recruited research engineer, FM, BW and JD (Jacob Diamond; post-doc at INRAE RiverLy) will collaborate on metabolic models based on oxygen data. FM, JD and LR will work with water quality data to explore the adaptation of the Qual-Net model for the Saône River. All participants will collaborate in analyzing data, generating reports and writing publications.

## **CONTEXTE SCIENTIFIQUE** **(3 000 caractères espaces compris)**

- **Contexte général**

Les rivières en France, en Europe et dans le monde ont été altérées par les activités humaines pendant des siècles. Le besoin de contrôle des crues, de navigation et d'hydroélectricité a entraîné la construction de barrages, de digues et la chenalisation des rivières. Aujourd'hui, la dégradation de la connectivité fluviale dans la zone méditerranéenne (y compris le bassin du Rhône) dépasse les 90 % (Duarte et al. 2021). En conséquence, la migration des espèces est limitée, la diversité des habitats est réduite et la capacité naturelle d'élimination des nutriments dans la plaine inondable fait défaut. De plus, les polluants provenant de sources urbaines, industrielles et agricoles entraînent une eutrophisation (fertilisation excessive due aux activités humaines), appauvrissant la qualité de l'eau et réduisant l'intégrité biologique. De tels aménagements ont également eu un impact sur le bassin versant de la Saône et, sans surprise, de récentes évaluations écologiques ont documenté de mauvaises conditions pour les poissons, les paramètres biologiques et physico-chimiques pour de larges secteurs de la rivière ([www.saoneetloire71.fr](http://www.saoneetloire71.fr)). Le long de la partie aval de la Saône (Grande Saône), la qualité de l'eau diminue progressivement vers l'aval, avec l'urbanisation, l'impact croissant de l'agriculture (de Chalon s. S. à Mâcon) et également de la pisciculture intensive (provenant des affluents de la Dombes).

Contrairement aux lacs où le lien entre nutriments et biomasse algale (et qualité de l'eau) est assez prévisible, les rivières sont des systèmes plus dynamiques. Bien qu'une teneur élevée en nutriments soit une condition préalable au développement des blooms algaux, dans les rivières les conditions de lumière (turbulence élevée et charge sédimentaire) et le temps de séjour court peuvent ne pas être favorables à la croissance des algues. Les conditions estivales avec un débit faible, une luminosité et une température élevées sont donc les plus favorables au développement de la prolifération d'algues. Pourtant, la grande variabilité des conditions météorologiques rend ces développements alguaux moins prévisible, une tendance qui s'accroîtra encore avec le changement climatique.

Outre l'établissement et la modélisation des liens entre conditions météorologiques – qualité des eaux, il sera essentiel d'identifier les sources de nutriments à l'origine des blooms algaux, ainsi que leur variabilité temporelle et spatiale. La matière organique particulaire (MOP) est une matrice constituée de phytoplancton et de sédiments, et son rapport C/N révèle leurs contributions relatives aux MOP (faible C:N = algues, élevé C:N = sédiment). De plus, les valeurs des isotopes stables du C et N de la MOP aident à identifier ses sources et sa composition (Fry 2006). Les compositions isotopiques élevées du C (rapport  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  élevés) indiquent un contenu important en C inorganique, et inversement des compositions isotopiques basses indiquent un contenu important en C organique. Pour les isotopes de l'azote, des valeurs élevées du rapport  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  sont associées à des apports de lisier (ou d'eaux usées), tandis que des valeurs basses sont indicatrices de cyanobactéries fixatrices d'azote. Au sein de la fraction organique, des valeurs élevées des isotopes stables du C sont associées à une production primaire intense, et des valeurs encore plus élevées peuvent indiquer l'importance du maïs (plante C4). Cette technique a été appliquée avec succès aux principaux systèmes fluviaux d'Europe, d'Asie, d'Amérique du Sud et du Nord (par exemple, Kendall et al. 2001, Wissel et al. 2005). Les associations étroites de la MOP et de ses sources et compositions, ainsi que la forte résolution temporelle et spatiale, permettront de développer les analyses de la MOP comme outil d'indicateur prédictif pour la Grande Saône. Sur la base de l'usage du sol dominant en amont et en aval de Mâcon, on s'attend à des concentrations élevées en MOP, mais avec des valeurs des isotopes stables contrastées : le plateau de la Bresse draine les étangs piscicoles et l'agriculture de la région de la Dombes où le maïs est non seulement une culture importante mais aussi utilisé comme aliment pour poissons dans l'agriculture (valeurs élevées des isotopes stables du C) (Vanacker et al. 2016). Et l'ajout de lisier pour fertiliser les étangs piscicoles devrait entraîner des valeurs élevées des isotopes stables du N.

- **Contexte ZABR :**

- **Thématique ZABR :**  
Changement climatique et Ressources  
Flux Polluants Ecotoxicologie, Ecosystèmes

- **Site Atelier ou Observatoire ZABR :**  
Vallée de Saône
- **Besoin de connaissance Agence de l'eau :**  
Incidences et adaptations au changement climatique

**FINALITE ET ATTENDUS OPERATIONNELS**  
**(3 000 caractères espaces compris)**

- **Objectifs scientifiques**

**Axe 1 :** Identifier les patrons spatiaux et temporels des paramètres physiques, chimiques et biologiques de la Grande Saône.

Nous nous attendons à ce que les conditions physiques (par exemple, débit, température, conductivité, TSS) dans la Saône soient contrôlées par une combinaison des conditions météorologiques et de gestion hydrologique. Les conditions physiques auront un impact important sur les paramètres chimiques (par exemple, les nutriments), mais les apports en nutriments dépendront également du moment, de l'emplacement et de la quantité des sources agricoles et urbaines. Par exemple, le ruissellement issu de l'agriculture est en grande partie entraîné par les précipitations, tandis que le ruissellement lié à de l'aquaculture se produit principalement en automne et en hiver pendant la collecte. Les paramètres biologiques (par exemple, la qualité de l'eau, le métabolisme) dépendront de la disponibilité temporelle et spatiale des nutriments, de la lumière et du temps de séjour. Bien que cela soit plus courant en été, cela peut également se produire pendant les autres saisons.

**Axe 2 :** Caractériser les contrôles environnementaux de la qualité de l'eau.

L'interaction des paramètres physiques, chimiques et biologiques (Axe 1) dans le contrôle de la qualité de l'eau est très complexe et dynamique. Des conditions récurrentes plus prévisibles, telles qu'un faible débit en été, pourraient être plus faciles à prévoir. Pourtant, des événements tels que les vagues de chaleur, les tempêtes (évacuant les nutriments des affluents dans le cours d'eau principal) et le moment, l'intensité et le type d'utilisation des terres peuvent également entraîner une mauvaise qualité de l'eau.

**Axe 3 :** Anticiper les impacts futurs sur la qualité de l'eau à partir de scénarios de changement climatique.

Avec l'augmentation attendue de la fréquence et de l'intensité des événements climatiques extrêmes, les modèles de qualité de l'eau dans la Grande Saône pourraient passer de contrôles saisonniers plus prévisibles à des événements imprévisibles et rares (inondations, sécheresses, tempêtes, etc.). Sur la base des résultats des axes 1 et 2 et des scénarios de changement climatique, nous pourrions anticiper l'occurrence, l'ampleur et les causes de tels changements dans les contrôles de la qualité de l'eau de la Saône.

- **Attendus opérationnels**

Les informations fournies par cette étude seront importantes pour développer des stratégies de gestion adaptative de la Saône afin d'atténuer les impacts potentiellement néfastes du changement climatique. La caractérisation des relations de cause à effet pour la qualité de l'eau sera un élément crucial de cet exercice. De plus, la surveillance proposée, ainsi que l'analyse des données existantes sur les pièges à sédiments, fourniront de nouvelles informations sur 12 ans de variabilité temporelle de la MOP (un paramètre clé pour la qualité de l'eau). La caractérisation de la variabilité actuelle à long terme du système et la capture d'événements rares/extrêmes faciliteront le développement de modèles de changement climatique pour la Saône. En plus des analyses quantitatives proposées, nous développerons un nouvel outil utilisant la MOP comme indicateur prédictif de la qualité de l'eau de la Saône.

Enfin, l'étude proposée pourrait être élargie à l'avenir non seulement en poursuivant l'échantillonnage, mais également en ajoutant de nouveaux paramètres au programme d'échantillonnage (par exemple, les microplastiques, les pesticides, le plancton).

## **DESCRIPTIF DETAILLE**

### **(4000 caractères espace compris) :**

- **Méthodologie**

De janvier 2023 à décembre 2024, l'échantillonnage à Lyon, Mâcon et Chalon s. S. sera menée toutes les deux semaines à proximité immédiate des stations hydrométriques existantes pour faciliter la compatibilité des données (Pont de Feuillée U472002001, Lyon ; Pont François Mitterrand U430001001, Mâcon ; Pont de Bourgogne U312001110, Chalon s.S.). Les stations météorologiques pour les données météorologiques en continu seront situées à moins d'un kilomètre pour les trois emplacements (Météo-France et Réseau StatIC).

Sur chaque site, nous déploierons un capteur O<sub>2</sub>/température pour des mesures en continu de la concentration et de la saturation en oxygène afin de quantifier l'activité métabolique (production primaire et respiration). L'entretien des capteurs et la récupération des données auront lieu lors des échantillonnages bihebdomadaires.

Pour l'échantillonnage bihebdomadaire, les trois stations seront échantillonnées le même jour, l'échantillonnage ayant lieu vers le midi apparent, à partir de Chalon s.S. environ 2 h avant le midi apparent. Lors de chaque échantillonnage, nous mesurerons d'abord la température de l'eau (°C), l'oxygène dissous (%), le pH et la conductivité ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) à l'aide d'une sonde multiparamètres YSI EXO3 calibrée.

Les échantillons de MOP, de Chlorophylle a, de nutriments et de carbone dissous seront prélevés avec un seau en métal, et 10L d'eau seront collectés dans un récipient hermétique. De retour au laboratoire à Lyon (LEHNA), les échantillons seront filtrés sur filtres GF/F pour la MOP et la Chl a. Les filtres seront emballés dans du papier d'aluminium et stockés dans un congélateur jusqu'aux analyses. Un litre de filtrat sera stocké au réfrigérateur pour les analyses de nutriments et de carbone. Un demi-litre de filtrat sera archivé au congélateur. Des analyses de MOP, de Chl a, de carbone, de nutriments et de échantillons des pièges à sédiments seront effectuées au LEHNA à l'aide de plates-formes existantes et des protocoles établis.

Les relations entre les paramètres environnementaux seront analysées à l'aide d'analyses multivariés (GAMs, PCA, RDA, partitionnement de la variance) et de modèles linéaires mixtes, dans le but d'identifier les variables clés contrôlant la qualité de l'eau aux différentes échelles temporelles et spatiales. Les analyses quantitatives s'appuieront sur celles utilisées dans nos précédentes études spatiales et temporelles à grande échelle (par exemple, Anas et al. 2019 a, b).

Des échantillons de pièges à sédiments archivés seront analysés pour les isotopes stables du C et N en collaboration avec des chercheurs de l'INRAE (M. COQUERY et A. DABRIN). La faible quantité disponible et la valeur élevée de ces échantillons archivés nécessitent une approche prudente dans la sélection des échantillons pour les analyses. Pour prioriser les analyses, nous explorerons les patrons temporels du carbone organique, des contaminants et de l'hydrologie pour identifier plusieurs périodes représentatives de débit élevé, faible et médian. En fonction des résultats et de la disponibilité des échantillons, nous déterminerons la nécessité d'analyses supplémentaires. De plus, nous continuerons d'analyser des échantillons mensuels de pièges à sédiments sur la durée de 2 ans du projet. Cet étalonnage croisé des analyses de MOP et des pièges à sédiments augmentera notre confiance dans l'interprétation des données historiques des pièges à sédiments.

Stream metabolism at each site will be calculated by a mass-balance representation of DO as a function of isolation-dependent inputs from GPP, constant ER and temperature-and concentration gas exchange between the water and air. GPP, ER and K600 will be calculated simultaneously using inverse fitting of DO dynamics with a state space approach (i.e. including process and observation error) and Bayesian inference with Markov chain Monte Carlo sampling.

Le métabolisme du cours d'eau à chaque site sera calculé par une représentation du bilan massique de l'oxygène dissous en fonction des apports par production primaire brute (GPP), de la respiration

de l'écosystème (ER), de la température, et des échanges gazeux entre l'eau et l'air (K600). GPP, ER et K600 seront calculés simultanément en utilisant l'ajustement inverse de la dynamique de l'oxygène dissous par une approche de représentation d'état (c'est-à-dire comprenant l'erreur de processus et d'observation) et l'inférence bayésienne (méthode de Monte Carlo par chaînes de Markov).

### **LIVRABLES :**

- Données continues d'oxygène dissous et de température de l'eau pour trois stations / deux ans le long de la grande Saône.
- Données haute résolution des conditions physiques (débit, pH, conductivité, MES), chimiques (C, N et P) et biologiques (Chl a, MOP) pour trois stations / deux ans le long de la grande Saône.
- Données à long terme (12 ans) sur la composition et les sources de matière organique particulaire provenant des pièges à sédiments.
- Modélisation de la production primaire brute journalière, de la respiration et des échanges gazeux pendant 2 ans.
- Analyses statistiques identifiant les paramètres et processus clés qui contrôlent la qualité de l'eau dans la Saône, avec un accent particulier sur les modèles saisonniers et spatiaux. Les PCA et RDA identifieront les associations (et leurs points forts) entre la qualité de l'eau et les paramètres environnementaux. La partition de la variance quantifiera l'importance relative des paramètres physiques, chimiques par rapport aux paramètres biologiques, les GAM identifieront les patrons temporels et leur cohérence entre les stations, et les modèles linéaires mixtes quantifieront l'importance des paramètres individuels contribuant à la qualité de l'eau.
- Rapport de synthèse à destination des acteurs/gestionnaires identifiant les paramètres et processus clés pour la qualité de l'eau de la Grande Saône. Ce rapport inclura également la faisabilité et l'application de l'utilisation de la MOP comme outil indicateur de la qualité de l'eau en Grande Saône.

### **DUREE DU PROJET:**

- Date de début : Janvier 2023
- Date de fin : Décembre 2024

### **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

Anas. et al. 2019 Ecol Ind doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.03.026  
Anas et al. 2019 Freshw Biol 2019 DOI: 10.1111/fwb.13389  
Duarte et al. 2021 STOTEN doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143293  
Fry 2006 Stable Isotope Ecology  
Kendall et al. 2001 Hydrol Process 15: 1301-1346  
Minaudo et al. 2018 oi.org/10.5194/bg-15-2251-2018  
Vanacker et al. 2016 Ecological Indicators, Vol. 64, 39-48  
Wissel et al. 2005 Ecology 86: 2751-2762  
www.saoneetloire71.fr OBSERVATOIRE DE L'EAU EN SAÔNE-ET-LOIRE, Édition 2019, Données sur l'eau