

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

**2024-n°action-Rétro-Saône/Rhône** : Analyse rétrospective du régime de crue et des impacts hydroclimatiques du passé sur les corridors fluviaux de la Saône et du Rhône moyen : recherche d'analogues au réchauffement climatique actuel

---

**219390**

### **INTITULE DU PROJET** : Rétro-Saône/Rhône

#### **Responsable scientifique du projet:**

- Nom : Berger
- Prénom : Jean-Francois
- Organisme du contact : CNRS, UMR 5600 EVS
- Fonction : Directeur de Recherches
- Courriel : Jean-Francois.berger@univ-lyon2.fr
- Téléphone : 0478773113

#### **Référent (s) administratif(s) :**

- Nom : Mohammed
- Prénom : Abdoulaye
- Organisme du contact : CNRS, UMR 5600 EVS, Université de Lyon
- Fonction : RAF
- Courriel : abdoulaye.mohamed@univ-lyon3.fr
- Téléphone : 04 78 78 75 44

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

(Équipe membre ou associée de la ZABR)

UMR EVS, Univ. Lyon (J.F. Berger, A.Barra, L.Rey, V.Gaertner)

UMR Imbe, Univ. Aix-Marseille (E.Gandouin)

INRAE-Riverly (A.Dabrin),

UMR LEHNA, ENTPE, Univ. Lyon1 (A.M. Dendievel)

### **AUTRES PARTENAIRES**

(Préciser leur degré d'implication et leur accord)

Recherche :

- I.Jouffroy-Bapicot (UMR 6249 Chronoenvironnement, Besançon)
- C.Schaal (UMR 6249 Chronoenvironnement/INRAP, Besançon)
- A.Beauger (UMR 6042-Geolab, Univ. Clermont-Auvergne)
- R.Amiot (UMR 5276, Laboratoire de Géologie de Lyon)
- P.G. Salvador (TVES-ULR 4477, Univ. Lille)
- H.Delile (UMR 5133, Archeorient)
- M.Debret (Laboratoire M2C, Univ. Rouen)
- Q.Wackenheim (UMR 8591 LGP)

Institutionnel : Franck Weingertner, Cedric Borget (EPTB Saône-Doubs)

### **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 : 3000 caractères espaces inclus**

Le changement climatique en cours impacte fortement le fonctionnement des hydro-systèmes, et nécessite une politique de gestion des risques (pour les excès comme les crues, et les pénuries comme les sécheresses et les étiages prolongés) et de comprendre et documenter les processus de rétroaction sur les éco-hydro-systèmes fluviaux. Il est ainsi vital d'identifier les seuils d'irréversibilité sur les fonctions hydrauliques et biologiques des hydro-systèmes : les analogues et références du passé représentent une richesse d'informations paléohydrologiques et paléoécologiques encore sous-exploitée que nous proposons d'investiguer.

Le projet Retro-Saône/Rhône s'attèlera à répondre à plusieurs questionnements autour de la variabilité hydrologique du passé, en contextes d'anthropisation variés, et de ses impacts sur le régime des crues, et la dynamique des corridors et des biocénoses fluviaux. L'étude de la trajectoire temporelle des flux hydro-sédimentaires et physico-chimiques dans les plaines alluviales de la Saône et du Rhône et de l'adaptation hydrogéomorphologique des lits fluviaux est envisagée pour évaluer la vulnérabilité fonctionnelle du socio-écosystème face aux variations des flux sédimentaires, de l'aquifère fluvial et de la connectivité avec les méandres proximaux, tout en mesurant son impact sur les associations rivulaires et les prairies humides, du régime de crues et des variations des masses atmosphériques (par traitements du signal). L'origine de la pluviométrie est envisagée par un développement exploratoire des isotopes ( $\delta O^{18}$ ) sur les CaCO<sub>3</sub> secondaires (et/ou des ostracodes) et la périodicité des crues. La temporalité de cette trajectoire fluviale est envisagée dans la longue durée (4 à 5 derniers millénaires) pour identifier une période de référence à faible anthropisation, durant laquelle les éco-hydro-systèmes avaient une capacité de résilience élevée (respectivement vers 4.2 et 3.2 ka, soit avant l'âge du Fer et l'Antiquité romaine associés aux premières phases de développement hydraulique et de court-circuitages partiels des hydro-systèmes). Deux fenêtres d'étude sont envisagées sur la Saône (amont et aval de Châlon/Saône) et trois sur le Rhône (Basses Terres dauphinoises, Ombilic de Moirans, et plaine du Tricastin) qui feront l'objet d'études régressives du paysage, de prospections géophysiques et de carottages mécaniques chemisés. Elles sont caractérisées par une mobilité des lits fluviaux aux échelles pluri-séculaires à millénaires, avant l'artificialisation récente (19<sup>e</sup>/20<sup>e</sup> s.), associée à de nombreux court-circuitages ayant rectilinéarisé, fixé les lits et accéléré leur incision, avec des impacts collatéraux importants sur la flore. Dans 2 de ces fenêtres (Basses Terres et Tricastin), un travail déjà réalisé en amont apporte des informations sur la mobilité latérale du Rhône pré-industriel, permettant de discuter de la dynamique du méandrage dans le passé. On insistera dans ce sous-thème sur l'impact des changements hydroclimatiques et des forçages anthropogéniques, à l'échelle des bassins-versants, sur l'évolution des flux hydro-sédimentaires et des styles fluviaux (en relation avec un autre projet en cours sur le bassin Saône-Rhône au paléo-anthropocène).

## **ENCART 2024-UMR 5600 EVS-EQUIPE 1** (Responsable : Berger Jean-François)

Tache de l'équipe dans le projet : EVS assurera l'ensemble des carottages tubés dans les 5 fenêtres d'étude à l'aide du carottier thermique à percussion (Cobra) et son extracteur hydraulique (Plateforme OMEAA). EVS aura en charge la documentation géographique/géomatique des 5 fenêtres d'étude (SIG, analyse régressive des paysages fluviaux, photo-interprétation satellitaire et Lidar, topographie de terrain par dGPS). Il aura aussi la mission d'ouverture, de description, de photographie et de découpage des carottes pour analyses multi-proxies (en concertation avec les autres équipes), à l'aide du CDD-IE recruté pour 6 mois. EVS traitera ainsi l'ensemble des analyses sédimentologiques et géochimiques selon un protocole d'analyse rôdé (granulométrie laser, perte au feu, susceptibilité magnétique, fluorescence X, micro-tamisages) et répartira les refus de tamis (pour les Chironomes, macro-restes végétaux, malacofaunes, rhizolithes/tubes CaCO<sub>3</sub>, etc.) et des échantillons bruts de sédiment (pour les pollens, diatomées) aux différent.e.s spécialistes du consortium. Il distribuera aussi les échantillons préalablement déterminés dans les laboratoires de radiocarbone (Poznan-Artémis) pour assurer les constructions chronostratigraphiques et des modèles âge-profondeur de chaque carotte. Il assurera les analyses de diatomées, pollen, spores autres microfossiles non-polliniques (spores fongiques, restes d'algues...) et isotopiques sur les biomarqueurs carbonatés à l'aide des équipes externes (Geolab-Clermont, Chronoenvironnement-Besançon et LGL-TPE Lyon1/ENS), et sous-traitera les analyses élémentaires par core scanner avec un pas d'analyse de 5mm (à 10 et 30 KW) à l'UMR-Edytem (Le Bourget-du-Lac).

#### **ENCART 2024-UMR Imbe, Univ. Aix-Marseille-**EQUIPE 2** (Responsable Emmanuel Gandouin)**

- Tache de l'équipe dans le projet : Imbe participera aux actions de terrain/carottage afin de déterminer au mieux les séquences sédimentaires les plus susceptibles de fournir du matériel riche en macrorestes d'insectes. En laboratoire, à l'aide d'un étudiant en master deuxième année, il s'agira de pratiquer à l'extraction chimique et mécanique (KOH 10% à 70°C, tamisage 100µm et flottation sur pétrole, tri sous loupe binoculaire des capsules céphaliques de larve de chironomes (Diptères) en vue de leur identification taxinomique au stéréo-microscope optique (Brooks et al 2007).

#### **ENCART 2024-INRAE-Riverly-**EQUIPE 3** (Responsable Aymeric Dabrin)**

- Tache de l'équipe dans le projet : Elle sera focalisée sur le **tracage des sources sédimentaires** (par couplage XRF-SMIR) à partir d'une BD géochimique en cours de construction sur le haut Rhône et la Saône à l'INRAE-Riverly (Bégorre et al. 2021, projet ZABR ContaSaône) pour identifier les principaux sous-bassins versants contributeurs et les connectivités selon les périodes.

#### **ENCART 2024-UMR LEHNA, ENTPE, Univ. Lyon1-**EQUIPE 4** (Responsable André-Marie Dendievel) (7.05€)**

- Tache de l'équipe dans le projet : L'équipe du LEHNA-IAPHY (ENTPE) participera aux actions de terrain et de carottage, notamment en contexte aquatique où le matériel de carottage de l'ENTPE (carottier UWITEC) pourra être employé et couplé à la géophysique, afin de comprendre le mode d'accumulation des sédiments sur les sites d'étude. En laboratoire, à l'aide d'un étudiant en M2, on réalisera l'extraction, l'identification et la quantification des macro-restes botaniques (graines, tiges, racines, bois) à l'aide d'un stéréo microscope. Des analyses géochimiques ciblées sur certains éléments traces métalliques (Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn) par spectrométrie d'absorption atomique (AAS) pourront également être réalisées sur des échantillons clés en vue de valider ou corriger les mesures de Fluorescence X réalisées tout au long des carottes (comme décrit dans les activités de l'équipe 1).

### **CONTEXTE SCIENTIFIQUE**

**(3 000 caractères espaces compris)**

**Contexte général :** Les variations du débit fluvial dues au changement climatique sont déterminées (hors prélèvements anthropiques) avant tout par les modifications du volume des précipitations, de leur répartition dans le temps, par leur nature (neige ou pluie) et par les changements de l'évaporation. Le ruissellement a considérablement diminué en Europe méridionale et les projections du GIEC pour la fin du 21<sup>e</sup> s. prédisent une accentuation de ce phénomène à l'échelle de l'ensemble du bassin du Rhône (dans le scénario A1B du SRES). Le Rhône en particulier a déjà enregistré une baisse de 9% de son débit annuel au cours des 60 dernières années, et les projections climatiques estiment une baisse de l'ordre de 20 % supplémentaires des débits moyens d'été à Beaucaire (sources Agence de l'eau, BRLi, 2022). Jusqu'à présent, l'étude du temps court a prévalu dans le bassin du Rhône (cf. ZABR, OSR, OHM, OTHU), mais les travaux sur la longue durée des archives environnementales (glaciers et calottes, fonds des océans, lacs, fleuves, etc.) sont aussi essentiels pour restituer les trajectoires longues pour identifier les principaux cycles qui gouvernent la variabilité climatique des échelles pluri-décennales à millénaires (Bond et al. 2001, Lambeck et al. 2002, Magny 2004, Wanner et al. 2011). Les inondations déclenchées par des précipitations extrêmes, accentuées en configuration atmosphérique NAO négative (Oscillation Nord Atlantique), et les baisses cycliques de régimes hydrologiques en période d'aridification constituent un risque naturel majeur pour les sociétés et les écosystèmes aquatiques (étiages prolongés, incision/drainage des plaines alluviales). Les analogues et références du passé représentent une richesse d'informations paléohydrologiques et paléoécologiques, associée à des expériences vécues par les sociétés anciennes, encore sous-exploitées que nous proposons d'investiguer.

#### **Contexte ZABR :**

- **Thématique ZABR :** Nous nous inscrivons dans le Thème **Changement Climatique et Ressources** et nous positionnons sur les 2 premières questions : **1-« Comment les séries de données de différentes profondeurs temporelles permettent-elles de comprendre et anticiper les réponses des hydrossystèmes au changement climatique ? »**, en mettant l'accent sur le temps long (plurimillénaire à pluriséculaire) que nous nous proposons d'explorer avec notre connaissance du bassin Saône-Rhône et des archives fluviales holocènes. L'objectif sera de pouvoir étendre et compléter les enregistrements instrumentaux et les reconstructions à partir d'archives sédimentaires pour pouvoir appréhender la variabilité climatique et ses effets à différentes échelles spatiales et temporelles.
- **Site Atelier ou Observatoire ZABR :** Zone Saône, Arc Isère (aval), haut Rhône

**Besoin de connaissance Agence de l'eau :** Nous nous rattachons à l'axe thématique I : « *Les risques environnementaux et la vulnérabilité des milieux* » ; par une approche rétrospective avec proposition de scénarios paléoécologiques, alimentant les réflexions sur les thèmes suivants de l'Agence de l'eau : 1) Identifier l'impact des changements globaux et notamment le réchauffement climatique sur le fonctionnement des milieux, et 2) Caractériser les trajectoires évolutives des systèmes (dans la longue durée et en essayant notamment de se projeter en fonctionnement pré-anthropisé, c'est-à-dire avant la bifurcation des hydro systèmes de la période « gauloise-romaine » à l'échelle du bassin rhodanien, et secondairement de la Révolution industrielle au 19<sup>e</sup> s.).

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

### **• Objectifs scientifiques**

Ce projet nous permettra de répondre aux besoins des thématiques prioritaires de connaissances en termes d'incidences et d'adaptations au changement climatique :

- Identifier les impacts de réchauffements climatiques du passé sur l'hydrologie du Rhône et de la Saône ainsi que la connectivité des annexes fluviales par des restitutions paléoécologiques croisées (biomarqueurs, géochimie élémentaire, granulométrie, analyses d'images de carottes)
- Evaluer l'impact de changements hydro(anthro)climatiques anciens sur la variation des styles et de la mobilité des systèmes fluviaux (par l'adaptation de la morphologie de la taille et de la sinuosité des chenaux aux variations des flux liquide et solide, de la cohésion des berges et de la densité et de la structure des ripisylves)
- Identifier les espèces de mollusques aquatiques et hygrophiles patrimoniales (espèces déterminantes ZNIEFF, espèces protégées à la directive Habitat) et de caractériser l'évolution de leur population depuis l'Holocène moyen (5/6000 ans),
- Evaluer l'impact de changements hydro(anthro)climatiques anciens sur la biodiversité des annexes fluviales (par des restitutions paléoécologiques croisées (biomarqueurs : pollens/Npps, macro-restes, chironomes, diatomées, malacofaunes)).
- Reconstituer les cycles paléohydrologiques dans 4 fenêtres de sous-bassins versants du Rhône (Saône en amont de Châlon/Saône, Basses Terres dauphinoises, basse vallée de l'Isère à Moirans, plaine du Tricastin) par la recherche du signal de la NAO à partir de l'exploitation et du traitement du signal d'archives fluviales à séries micro-laminées.
- Identifier l'origine atmosphérique des paléo-précipitations (type NAO+ ou -) par l'analyse combinée des signatures isotopiques de biomarqueurs carbonatés et des sources sédimentaires (analyse élémentaire et des terres rares).
- Evaluer la vulnérabilité des zones humides et de leur fonctionnement face aux modifications hydroclimatiques du passé (par l'étude de la connectivité des annexes fluviales avec le chenal principal). Une attention particulière sera portée aux réponses adaptatives de la ripisylve.

### **• Attendus opérationnels**

Des leviers d'action sont en discussion pour communiquer auprès des acteurs du territoire (EPTB Saône-Doubs notamment), particulièrement intéressés par des informations sur la mobilité pré-canalisation du lit de la Saône et l'évolution des risques de crues dans la longue durée. On propose ainsi plusieurs attendus :

- Connaître le suivi sur un temps long de la connectivité des milieux annexes, et des impacts sur les écosystèmes ripicoles et des prairies de la plaine d'inondation, en se focalisant sur les périodes d'incision et de réduction des débits d'étiage.
- Etablir des liens entre la mobilité passée des chenaux (et la connectivité des annexes en eau) et les conditions climatiques plus régionales/globales (T°, régime NAO+/-, sécheresse).
- Produire des scénarios d'évolution d'habitats dans les annexes fluviales en phase de réchauffement et d'assèchement.
- Etablir si la Saône est corrélée avec le Rhône au niveau des cycles hydroclimatiques du passé (entre pôles océaniques atlantiques ou méditerranéens dominants), où plus spécifiquement sous contrôle unique des flux atmosphériques océaniques atlantiques.
- Restituer l'espace de mobilité ou de bon fonctionnement (de méandrage) de la Saône et du Rhône dans le passé, en absence de digues et de barrages, pour augmenter les rares données sur leurs trajectoires géomorphologiques (études à l'échelle de 3 fenêtres/sections de corridors fluviaux).
- Restituer la composition floristique de paléo-ripiques peu anthropisées, pour aider aux enjeux de restauration actuels.

- Documenter le lien entre fréquences des crues, exhaussement des lits fluviaux dans le passé et engrissement des plaines alluviales.

## **DESCRIPTIF DETAILLE**

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

Le bassin rhodanien (97500 km<sup>2</sup>), fleuve de 810 km de long, le plus puissant fleuve d'Europe (en termes de débit hydrologique moyen), draine 3 massifs montagnards (Alpes, Jura, Massif Central) et se divise en 8 sous-bassins versants aux contextes topographiques, lithologiques, écologiques et hydrologiques variés. Le projet pluri-disciplinaire rétro-Saône/Rhône se propose d'étudier la trajectoire des socio-écosystèmes fluviaux en comparant temps courts/temps longs dans 4 de ses sous-bassins et en se concentrant sur l'échelle du bras-mort à celle de la plaine ou au corridor alluvial.

Nous proposons une approche rétrospective dans l'axe Saône-Rhône (recherche d'analogues hydroclimatiques anciens et caractérisation des paléo-impacts), fondée sur une approche multi-sites et pluri-disciplinaire de bras-morts, en ciblant des carottages dans différents sous-bassins aux régimes hydrologiques variés (*versus* océanique, alpin-pluvio-nival, méditerranéen) pour identifier (fig.1) :

- (1) la variabilité passée des régimes de crues, de sécheresses et des flux hydrosédimentaires (et leurs liens avec la NAO, l'oscillation atlantique multidécennale (en lien avec la température de la mer en surface dans l'Atlantique Nord et la circulation thermohaline) et les périodes à faible irradiation solaire favorisant des blocages atmosphériques fréquents et persistants (Moffa-Sánchez et al., 2014, Wirth et al. 2013, Scholz et al. 2012, Knights et al. 2005, Sutton et Hodson, 2005) ;
- (2) leurs impacts sur les biocénoses végétales/animales du passé dans les annexes fluviales (notamment lors des réchauffements climatiques associés à des encassemens fluviaux et à des baisses marquées des aquifères fluviales) (Pont et al. 2003, Sabater 2008, Beauger et al. 2015, Schaale et al. 2019) et ;
- (3) les changements de stabilité du méandrage en fonction de l'évolution du régime et des débits hydrologiques, des apports sédimentaires, de la cohésion des berges et de la densité et de la structure des ripisylves (Nanson and Croke, 1992, Candel et al. 2018, Salvador et Berger 2014, Toonen et al. 2017).

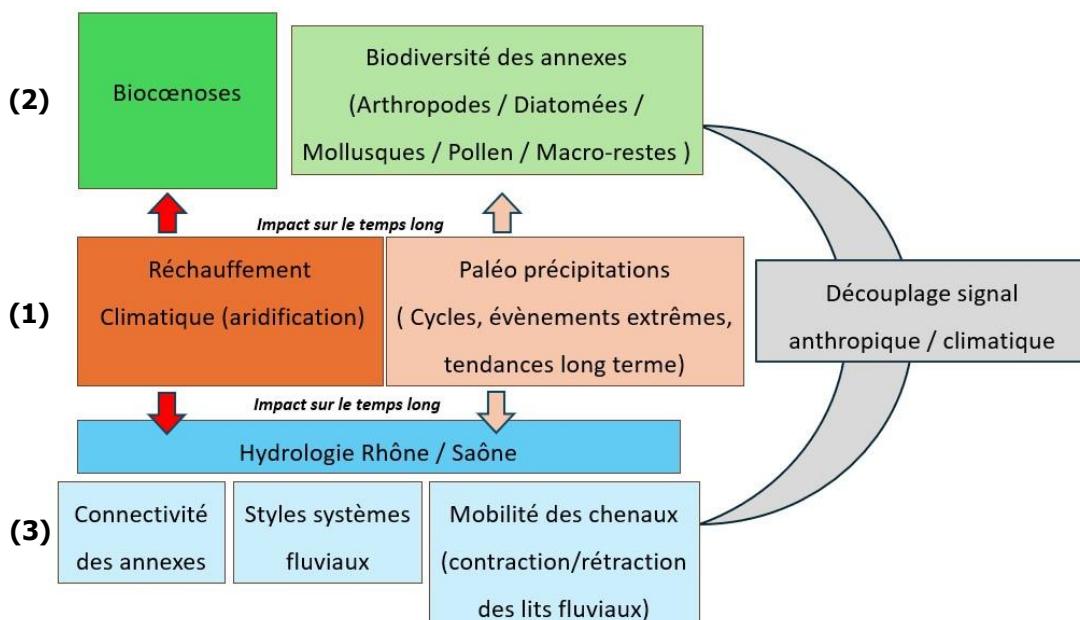


Fig.1. schéma interdisciplinaire, diachronique et systémique du projet

L'ajustement du chenal à l'augmentation des flux hydriques (variation de sa largeur, de sa longueur d'onde, de sa courbure) peut être en particulier identifié par la combinaison d'études morphologiques de surface (images Lidar, photos IGN), combinées à des reconnaissances en transects transversaux des paléochenaux à l'aide d'images géoradar et de carottages en séries (Notebaert et al. 2009, Salvador et Berger 2014, Berger et al. 2016, Van der Meulen et al. 2020).

Nous proposons ainsi à partir d'une analyse multi-proxies (sédimentologie, géochimie, biomarqueurs), menée sur de larges plaines alluviales à fort potentiel paléohydrologique, de cibler plusieurs périodes « analogues »

avec des réchauffements rapides durant l'Holocène. A ce titre, nous ciblerons nos analyses sur le « petit optimum médiéval » et la « période romaine chaude » en contexte de forçage anthropique déjà avéré (par la maîtrise hydraulique, des impacts sur les sols et la végétation) à l'échelle du bassin rhodanien (Berger et Brochier 2006). Des évènements plus anciens correspondant à des changement climatiques abrupts mondiaux il y a 3200 et) 4200 ans (« 3.2 et 4.2 events »), en contexte d'anthropisation modérée, seront également étudiés (Berger et al. sous presse). Le projet ciblera 5 sites pour les 2 années (Avec livrable en année 3), en favorisant le corridor de la Saône (2 sites) particulièrement sous-documenté, voir oublié par les études paléohydrologiques publiées (Astrade 1998, Bravard 1990, Argant et al. 2009). Un analogue actuel de sédiments et de quelques biomarqueurs sélectionnés sera mis en place dans 2 ou 3 annexes fluviales pour étalonner nos indicateurs à des variables connues et quantifiées.

Ce projet s'appuiera notamment sur les premiers résultats du projet ZABR « *Contasaône* » (coord. par A. Dabrin, INRAE) pour connaître les contributions des principaux affluents de la Saône aux flux de matières en suspension et du PCR « *Le corridor Saône-Rhône au paléo-anthropocène* » financé par le Ministère de la culture (DRAC ARA et BFC) pour les aspects plus archéologiques et paléo-hydrauliques.

Le projet Retro-Saône/Rhône cherchera ainsi à répondre à plusieurs questions autour de la variabilité hydrologique du passé, en contextes d'anthropisation variés : Les modes de la variabilité climato-atmosphérique naturelle, tels que l'oscillation australe El Niño (ENSO) et l'oscillation nord-atlantique (NAO), ont-ils eu un impact dans les changements hydroclimatiques des bassins du Rhône et de la Saône au cours de l'Holocène ? Les séquences micro-laminées que nous observons de façon régulière dans les archives fluviales des colmatages de bras-morts sont-elles de bonnes proxy paléohydrologiques, représentatives des drivers paléo-atmosphériques identifiés ? Sont-elles suffisamment régulières et donc fiables ? Les variations hydroclimatiques que nous pourrions identifier coïncideront-elles avec les variations connues des facteurs de forçage naturels, tels que les paramètres orbitaux, l'irradiation solaire, les éruptions volcaniques tropicales explosives et les gaz à effet de serre ? Les changements à l'échelle pluriséculaire impactant le fonctionnement des hydrossystèmes, entre des périodes plus humides et sèches, sont-ils cycliques, avec une période quasi-régulière, ou non ?

#### • Méthodologie

La démarche proposée s'inscrit dans un va-et-vient entre photo-interprétation, terrain et laboratoire. A la suite d'une analyse régressive de plusieurs sections de plaines alluviales (par photographies IGN, cartographies anciennes, images Lidar), plusieurs trains de méandres fossiles seront choisis pour une approche géophysique par **Géoradar (GPR)**, par sections transversales, afin de cibler les séquences fluviales les plus favorables dans les sous bassins de la Saône, du haut Rhône, du Rhône moyen et de la basse vallée de l'Isère. Des **carottages tubés** seront ensuite effectués dans les 5 fenêtres d'étude à l'aide du carottier thermique à percussion Cobra (section de 50mm) et son extracteur hydraulique (Plateforme OMEAA), en favorisant le doublage des carottes pour l'analyses des biomarqueurs. Les carottes seront stockées en chambre froide (à 5°C) puis ouvertes et découpées en sections longitudinales, pour être décrites, photographiées et échantillonnées pour les analyses multi-proxies, dont les protocoles et apports sont décrits ci-dessous. Des analyses **sédimentologiques et géochimiques** seront d'abord réalisées, selon un protocole d'analyse et une maille d'échantillonnage ou de mesures déjà rôdés et adaptés à la structure sédimentaire (granulométrie laser, perte au feu, susceptibilité magnétique, fluorescence X, micro-tamisages) pour décrire les principales dynamiques et/ou de formation des dépôts (allogènes *versus* authigènes) et l'origine des sources sédimentaires.

A partir de comptages sur des demi-sections de carottes réalisés par analyse d'image, l'analyse de la **périodicité des crues** sera effectuée à l'aide de traitements par ondelettes (Barriendos et al. 2006, Debret et al. 2010, Gómez-Martínez et al. 2018, Adolph et al. 2023), grâce au chronomètre représenté par les archives fluviales micro-laminées des bras-morts, associé à des modèles âge-profondeur en séries stratifiées (obtenus sous le logiciel Clam). **Le traçage des sources sédimentaires** sera effectué au moyen des empreintes géochimiques obtenues après minéralisation acide et analyse par ICP-TQ-MS. Ces empreintes sont d'ores et déjà identifiées sur le Haut Rhône (Bégorre et al. 2021) et sont en cours de construction sur la Saône (projet AE/ZABR ContaSaône). Ces approches seront ainsi appliquées sur les carottes sédimentaires pour identifier les principaux sous-bassins versants contributeurs en MES/sédiments et l'historique des connectivités selon les périodes. On comparera à titre exploratoire avec les signatures élémentaires obtenues par fluorescence X (XRF) et Spectroscopie Moyen InfraRouge (SMIR).

**L'analyse isotopique ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ )** des calcites inorganiques et des carbonates biogéniques extraites des séries laminées permettront de documenter l'évolution temporelle des conditions paléo-hydroclimatiques en termes de température de l'eau, d'hydrodynamisme et de productivité des environnements fluviaux, à la suite d'études préliminaires réalisées à la confluence Saône/Rhône ou dans les alluvions de la moyenne vallée du Rhône (Bonté 2006, Berger et al. 2016, Gaillot et al. 2019).

Concernant l'étude des **biomarqueurs**, Franquet (1996), Garcia et laville (2001) ont montré que les larves de **chironomes** se répartissent dans le transect transversal des plaines alluviales spécifiquement depuis les annexes les plus connectées à celles les moins connectées au chenal principal. Gandouin et al (2006) a établi une typologie directement applicable aux assemblages fossiles et aux capsules céphaliques extraites des sédiments du passé. Cette typologie a été appliquée dernièrement avec succès par Giame et al (2019) à Halmyris, dans la plaine alluviale du Danube (Roumanie), permettant de suivre sur plusieurs millénaires l'état de connectivité du site d'étude avec le bras de Saint-Georges. Les phases de connectivités maximales ont pu être ainsi corrélées à des phases de précipitations maximales à l'échelle de l'Europe (Rimbu et al 2002), ou encore à des épisodes d'activité fluviale accrues sur la Loire (Castanet 2008). La même méthodologie sera appliquée sur les plaines du Rhône et de la Saône afin de préciser les phases de connectivité des annexes fluviales. Les **diatomées**, algues microscopiques, compléteront l'analyse des chironomes. Elles permettent de mettre en évidence des différences entre les bras morts en eau et ceux en phase d'atterrissement au regard des communautés les peuplant (Beauger 2011 ; Beauger et al. 2020) mais également de suivre l'évolution de la vie d'un bras mort depuis sa déconnexion jusqu'à son comblement complet (Ejarque et al. 2014). De par leur conservation à l'état fossile, les diatomées sont de précieux bio-indicateurs actuels et passés **des conditions hydrologiques**. Les contextes alluviaux fournissent de bonnes conditions de sédimentation pour la conservation des **coquilles de mollusques continentaux** (Limondin-Lozouet & Moine 2014). Les assemblages malacologiques représentent un bio-indicateur paléoenvironnemental couramment utilisé pour restituer la structure de la végétation à l'échelle locale ainsi que les dynamiques des milieux aquatiques (White et al. 2017). Leur analyse permettra de documenter spatialement la configuration des annexes fluviales et leur évolution durant Holocène moyen face aux changements hydrologiques et/ou morphosédimentaires induits par des forçages climatiques et/ou anthropiques. Dans ce contexte particulier des annexes fluviales, les données paléomalacologiques fourniront une remarquable fenêtre rétrospective de l'histoire biologique des mollusques. Confronter l'analyse des faunes contemporaines avec les données paléomalacologiques fournira des arguments robustes pour identifier les espèces les plus vulnérables, et ainsi formuler des lignes directrices adaptées à la gestion de ces écosystèmes aquatiques fragiles et de leur faune associée.

Concernant l'étude des **macro-restes botaniques** (graines, tiges, racines, feuilles) récupérés après tamisage, les contextes privilégiés pour l'étude des macro-restes botaniques sont en général les lacs et les tourbières où ces bio-indicateurs s'accumulent au cours du temps de façon calme et se préservent facilement (Birks, 2017 ; Schoch et al., 1988). Les milieux de dépôt comme les annexes fluviales sont traditionnellement assez peu documentés, car il s'agit de lieux de dépôts temporaires et parfois soumis à des fortes contraintes hydrologiques (crues) entraînant le déplacement ou l'endommagement des macro-restes. Néanmoins, plusieurs études récentes ont démontrés qu'à l'aide d'analyses multi-proxies, de datations et d'une étude fine des macro-restes, les bras morts et les paléo-chenaux peuvent constituer des milieux particulièrement propices pour récolter des données locales sur l'évolution des écosystèmes fluviaux au cours de fenêtres temporelles limitées, récentes (19<sup>e</sup> s. et 20 s.) comme anciennes telles que la période romaine, le Moyen Âge ou encore le Tardiglaciaire (Defive et al., 2018 ; Schaal et al., 2019 ; Schaal et Dendievel, 2021 ; Schaal et Naton, 2021). Au même titre que les capsules de chironomes et les macro-restes botaniques, les **grains de pollen** et les **spores de fougères et de bryophytes** sont conservés au cours du temps dans les remplissages organiques et gorgés d'eau accumulés dans les annexes fluviales déconnectées. Leur analyse permet de reconstituer l'histoire de la végétation à différentes échelles, notamment celles de la plaine alluviale et de la ripisylve. Depuis une vingtaine d'années, d'autres **microfossiles non-polliniques** (MNP) tels que les restes fongiques et algaires sont également analysés par les palynologues, apportant des indications complémentaires sur l'environnement local (e.g. van Geel et Aptroot, 2006), et son degré d'anthropisation (e.g. Gauthier et Jouffroy-Bapicot 2021). Dans la basse vallée de la Saône, les données acquises au cours du projet viendront enrichir et compléter un corpus déjà existant, mais isolé (Argant et al. 2011).

## **LIVRABLES :**

1. **Carte de la mobilité des lits fluviaux** en contextes pré-anthropisés à anthropisés  
→ 2 sur la Saône, Basses Terres dauphinoises, Tricastin, Ombilic de Moirans
2. **Evaluation des types de forçages** climatiques (*versus* anthropiques) **et des effets** sur les communautés
3. Canevas d'évolution possible des ripisylves (fonction des conditions de climat et de style fluvial)
4. **Etalonnage** des flux hydrosédimentaires et des assemblages de biomarqueurs sur annexes actuelles
5. **Liste des périodes de retour** des phases d'hydrologie abondante du passé (par traitements du signal : transformés de fourrier, ondelettes)
6. Degré de **complémentarité** des **biomarqueurs et des marqueurs sédimentologiques/géochimiques**

## Attendus opérationnels

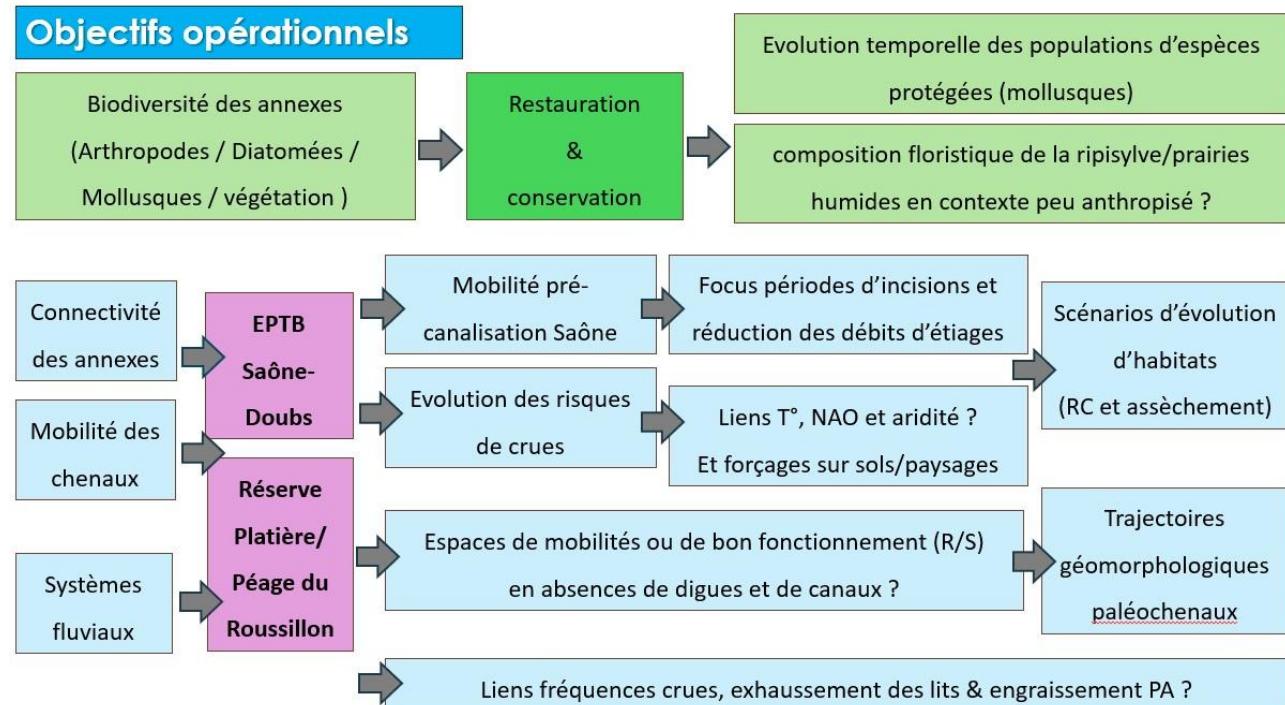
Compte tenu des impératifs de gestion des corridors fluviaux de la Saône et du Rhône, on s'attachera particulièrement aux livrables suivants en relation avec des acteurs des deux bassins (EPTB Saône/Doubs, Réserve Platière), utiles pour planifier des politiques de gestion de bassin, de protection de la ressource, de restauration/préservation des milieux aquatique et de prévention des inondations par la :

-Restitution de cycles hydroclimatiques et l'approfondissement de nos connaissances sur les origines atmosphériques responsables des périodes humides et de crues fréquentes. L'acquisition de données approfondie des cycles à l'origine des périodes plus humides ou plus sèches, des périodes associées à des crues de haute intensité particulièrement morphogènes, est une plus-value envisageable pour ce projet. En phase avec les configurations climatiques envisagées par le GIEC, elles peuvent servir à une réflexion prospective sur le suivi et la vulnérabilité des corridors fluviaux et des agglomérations traversées par la Saône et le Rhône.

-mesure des impacts des changements paléohydrologiques sur les communautés aquatiques et riveraines (annexes fluviales, ripisylves, prairies humides). Les périodes de bas étages et de baisse durable des aquifères fluviales du passé serviront d'expérience ou d'analogue, pour estimer leur impact direct sur des communautés animales ou végétales et identifier des adaptations localement, à l'échelle de l'annexe fluviale ou des berges proximales.

-mobilité des lits fluviaux pré-court-circuitages contemporains et restitution de leurs espaces de liberté "naturel". L'identification d'une mobilité dans les corridors fluviaux par le jeu des processus hydrosédimentaires et de la structure des berges et de la végétation riveraine, de l'adaptation des fleuves à la fluctuation des débits liquides et solides est attendue. Nous nous attacherons à présenter des hypothèses sur leur origine (forçages) et à des restitutions paléo-géographiques à l'échelle de plusieurs sections de corridors fluviaux de la Saône et du Rhône pouvant servir d'exemple concrets, en domaine peu à non contraint/artificialisé.

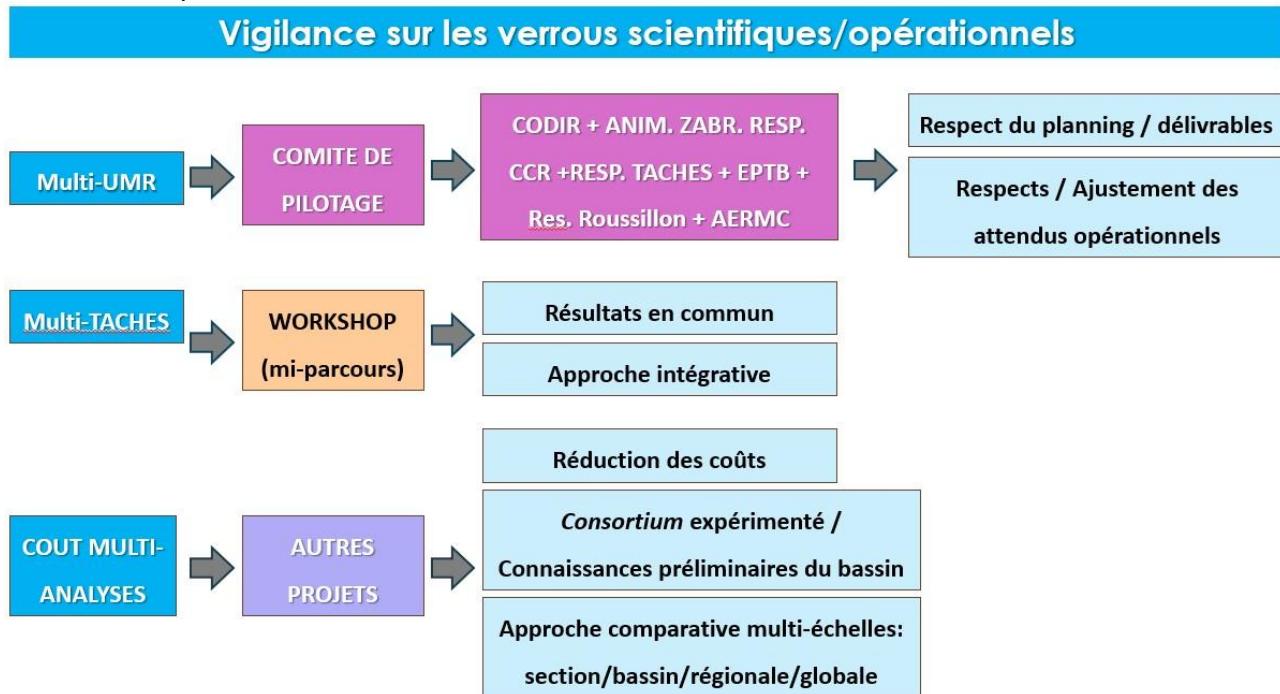
Le schéma systémique suivant résume l'intégration des acteurs scientifiques et opérationnels, des objets d'étude, des dimensions spatio-temporelles et des démarches pour alimenter les thématiques affichées.



## Proposition d'un comité de pilotage

Afin de mener à bien les nombreux objectifs du projet, dans le cadre d'une équipe élargie, dans les 5 fenêtres proposées, nous proposons d'associer un comité de suivi qui se réunira de façon périodique tous les 6 mois à partir de début 2025. Il pourrait associer un membre de **l'Agence de l'eau** (B.Terrier); un membre de la **direction scientifique de la ZABR** (N. Lamouroux /L. Simon); A.Clemens de la **cellule animation valorisation** de la ZABR; un responsable du **thème CCR** (E. Sauquet); 1 membre de **l'EPTB Saône et Doubs** (C.Borget), 1 membre ainsi que **1 responsable par secteur** de l'équipe du projet (E.Gandouin : Saône moyenne, AM Dendievel (Saône aval), PG Salvador (Isère à Moirans), JF Berger (plaine du Tricastin et Basses Terres dauphinoises). Ce comité veillera au calendrier des actions proposées, à l'avancée des analyses pluri-disciplinaires (via notamment le CDD recruté et les masters) et au respect des objectifs initiaux en termes de rendus de livrables et d'attendus opérationnels. Un workshop en plénière sera également organisé à mi-chemin du projet ZABR, pour une restitution collective des premiers résultats.

Le tableau suivant résume notre position de vigilance sur les verrous scientifiques et opérationnels et le respect du calendrier opérationnel.



#### **DUREE DU PROJET:**

- Date de début : 1/01/2025
- Date de fin : 31/06/2027

#### **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- Adolph, M. L., Czerwinski, S., Dreßler, M., Strobel, P., Bliedtner, M., Lorenz, S., ... & Haberzettl, T. (2023). North Atlantic Oscillation polarity during the past 3 ka derived from lacustrine sediments of large lowland lake Schweriner See, NE-Germany. *Climate of the Past Discussions*, 2023, 1-39
- Argant, J., Bravard, J. P., Bourguignon, J. P., & Béal, J. C. (2011). Nouvelles données sur les changements paléoenvironnementaux de la plaine alluviale de la Saône depuis le Tardiglaciaire: palynologie, géomorphologie. *Quaternaire. Revue de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, 22(3), 235-260.
- Arnaud, F., Révillon, S., Debret, M., Revel, M., Chapron, E., Jacob, J., ... & Magny, M. (2012). Lake Bourget regional erosion patterns reconstruction reveals Holocene NW European Alps soil evolution and paleohydrology. *Quaternary Science Reviews*, 51, 81-92.
- Beauger A. 2011. Fonctionnement et gestion des milieux aquatiques. Caractérisation hydroécologique des bras morts de l'Allier à partir des indicateurs biologiques (diatomées et macroinvertébrés benthiques): implications de gestion et restauration. Rapport de post-doctorat. 59 p.
- Beauger A., Delcoigne A., Voltaire O., Serieyssol K. K., Peiry J-L., 2015. Distribution of diatom, macrophyte and benthic macroinvertebrate communities related to spatial and environmental characteristics: the example of a cut-off meander of the River Allier (France). *Cryptogamie, Algologie*, 36(3): 323-355. (10.7872/crya/v36.iss3.2015.323)
- Berger, J. F., & Brochier, J. L. (2006). Paysages et climats en moyenne vallée du Rhône: apports de la géo-archéologie. Éditions de la Maison des sciences de l'homme, 164-208.
- Astrade, L. (1998). La Saône en crue: dynamique d'un hydrosystème anthropisé. *La Houille Blanche*, (1), 13-17.
- Berger et al. sous presse. L'histoire holocène du fleuve, une co-évolution sociétés-environnement. In : H.Piégay et C.Berthelemy eds, *The Rhône, a river of the Anthropocene*, Wiley.
- Berger, J. F., Delhon, C., Magnin, F., Bonte, S., Peyric, D., Thiebault, S., ... & Beeching, A. (2016). A fluvial record of the mid-Holocene rapid climatic changes in the middle Rhone valley (Espeluche-Lalo, France) and of their impact on Late Mesolithic and Early Neolithic societies. *Quaternary Science Reviews*, 136, 66-84.
- Lambeck, K., Esat, T. M., & Potter, E. K. (2002). Links between climate and sea levels for the past three million years. *Nature*, 419(6903), 199-206.
- Berger, J.-F., Salvador, P.-G., Franc, O., Verot-Bourrelly, A., Bravard, J.-P., (2008). La chronologie fluviale postglaciaire du haut bassin rhodanien. Coll. EDYTEM n°6, Cahiers de Paléoenvironnement, Chambéry, 117-144.

- Berger, J.-F., Salvador, P.-G., Barra, A., Gauthier E., Rigaud A., et al. Enregistrement des forçages climatiques et sociétaux sur le fonctionnement et l'évolution de bras-morts, recherche d'un analogue au réchauffement actuel (Eau Morte et Sauget, Basses Terres dauphinoises). Université Lumière Lyon 2; CNRS; Université de Lille. 2016. [hal-04550296](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-04550296)
- Birks, H.H. (2017). Plant Macrofossil Introduction. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences* B978-0-12-409548-9.10499-3. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10499-3>
- Bond, G., Kromer, B., Beer, J., Muscheler, R., Evans, M. N., Showers, W., ... & Bonani, G. (2001). Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene. *Science*, 294(5549), 2130-2136.
- Bonté, S. (2006). Caractérisation des climats et des environnements rhodaniens postglaciaires par l'analyse des isotopes stables ( $\delta^{18}\text{O}$  et  $\delta^{13}\text{C}$ ) des carbonates pédologiques. Thèse de 3eme cycle, Université d'Avignon.
- Bravard, J. P. (1990). Observations nouvelles sur la dynamique fluviale et l'alluvionnement de la Saône à l'Holocène, entre Villefranche et Anse (Rhône). *Revue géographique de l'Est*, 30(1), 57-76.
- BRLI (2022). Etude de l'hydrologie du fleuve Rhône sous changement climatique – Mission 1 : Diagnostic actualisé de la situation hydrologique du fleuve
- Brooks, S.J., Langdon, P.G. & Heiri, O. (2007). The Identification and Use of Palaearctic Chironomidae Larvae in Paleoecology, Quaternary Research Association. London.
- Candel, J. H., Kleinhans, M. G., Makaske, B., Hoek, W. Z., Quik, C., & Wallinga, J. (2018). Late Holocene channel pattern change from laterally stable to meandering—a palaeohydrological reconstruction. *Earth Surface Dynamics*, 6(3), 723-741.
- Debret, M., Bout-Roumazeilles, V., Grousset, F., Desmet, M., McManus, J. F., Massei, N., ... & Trentesaux, A. (2007). The origin of the 1500-year climate cycles in Holocene North-Atlantic records. *Climate of the Past*, 3(4), 569-575.
- Defive, E., Dendievel, A.-M., Berger, J.-F., Barra, A., Bouvard-Mor, E., Cubizolle, H. & Raynal, J.-P. (2018). 1500 ans d'histoire fluviale dans la vallée du Gage (bassin supérieur de la Loire, sud-est du Massif central, France) : approche pluridisciplinaire, *Géomorphologie : Relief Processus, Environnement* 24 (4), p. 329-350.
- Ejarque A., Beauger A., Miras Y., Peiry J.-L., Voldoire O., Vautier F., Benbakkar M. & Steiger J. 2014. Historical fluvial palaeodynamics and multi-proxy palaeoenvironmental analyses of a palaeochannel, Allier River, France. *Geodinamica Acta* 27(1): 25-47.
- Franquet, E. (1996). Occupation D'un Espace Fluvial Par Les Diptères Chironomidés À L'aval Du Rhône : Répartition Des Espèces Selon La Nature Du Substrat et Les Conditions de Débit. Thèse, Claude Bernard - Lyon I.
- Gaillot, S., Belavoine, J., & Pons, F. (2019). Stable isotopic approach on mollusk shells to paleoenvironmental reconstitution: Study of an urban site: Lyon (France). *Archeosciences, revue d'Archéométrie*, (43), 7-26.
- Gauthier E. & Jouffroy-Bapicot I. (2021). Detecting human impacts: non-pollen palynomorphs as proxies for human impact on the environment. *Geological Society, London, Special Publications*, 511, (1), 233-244, [10.1144/SP511-2020-54](https://doi.org/10.1144/SP511-2020-54).
- Gandouin, E., Maasri, A., Van Vliet-Lanoë, B. & Franquet, E. (2006). Chironomid (Insecta: Diptera) assemblages from a gradient of lotic and lentic waterbodies in river floodplains of France: a methodological tool for paleoecological applications. *Journal of Paleolimnology*, 35, 149-166.
- Garcia, X.-F. & Laville, H. (2001). Importance of floodplain waters for the conservation of chironomid (Diptera) biodiversity in a 6th order section of the Garonne river (France). *Annales de Limnologie*, 37, 35-47.
- Knight, J. R., Folland, C. K., & Scaife, A. A. (2006). Climate impacts of the Atlantic multidecadal oscillation. *Geophysical Research Letters*, 33(17).
- Limondin-Lozouet N. & Moine O., 2014 - Taphonomie Des Malacofaunes Continentales. In C. Denys et M. Patou-Mathis (eds.), *Manuel de Taphonomie*. Errance, Paris, 165-184.
- Magny, M. (2004). Holocene climate variability as reflected by mid-European lake-level fluctuations and its probable impact on prehistoric human settlements. *Quaternary International*, 113(1), 65-79.
- Moffa-Sánchez, P., Born, A., Hall, I. R., Thornalley, D. J., & Barker, S. (2014). Solar forcing of North Atlantic surface temperature and salinity over the past millennium. *Nature geoscience*, 7(4), 275-278.
- Notebaert, B., Verstraeten, G., Govers, G., & Poesen, J. (2009). Qualitative and quantitative applications of LiDAR imagery in fluvial geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34(2), 217-231.
- Pont, D. (2003). Program GICC-AQUABIO. Possible consequences of the climatic change on the aquatic and river french biocenoses. Final report.
- Rîmbu, N., Boroneant, C., Buta, C. & Dima, M. (2002). Decadal variability of the Danube river flow in the Lower basin and its relation with the North Atlantic Oscillation. *International Journal of Climatology*, 22, 1169-1179.
- Sabater, S. (2008). Alterations of the global water cycle and their effects on river structure, function and services. *Freshwater reviews*, 1(1), 75-88.
- Schaal, C., Bégeot, C., Oudot-Canaff, J., Cuenot, Q., Valot, B., Gauthier, E., Gudrun, B. (2019). Reconstruction de la végétation actuelle et passée d'un méandre du Doubs à l'aide de marqueurs carpologiques, palynologiques et génétiques. *Revue Scientifique Bourgogne-Franche-Comté Nature HS* 16, 27-36.

- Schaal, C., Dendievel, A.-M. (2021). La place de la carpologie en contexte « naturel » pour appréhender les socio-écosystèmes. Histoire des relations entre climat, environnement et sociétés: pour une approche paléoécologique systémique, in: *14e Rencontres d'Archéobotanique, Pre-Actes, "Actualités - Méthodologies - Terroirs - Synergies"* (Bruxelles, 13-14/10/2021). Bruxelles, pp. 52–53.
- Schaal, C., Naton, H.-G. (2021). Contribution of archaeobotany to understand taphonomic phenomena. The case of a Preboreal palaeochannel of Autrecourt-et-Pourron (Ardennes, France). *BSGF* 192 (6). <https://doi.org/10.1051/bsgf/2021003>
- Scholz, D., Frisia, S., Borsato, A., Spötl, C., Fohlmeister, J., Mudelsee, M., ... & Mangini, A. (2012). Holocene climate variability in north-eastern Italy: potential influence of the NAO and solar activity recorded by speleothem data. *Climate of the Past*, 8(4), 1367-1383.
- Schoch, W.H., Pawlick, B., Schweingruber, F.H., 1988. *Macro-restes botaniques*. Paul Haupt, Berne & Stuttgart.
- Sutton, R. T., & Hodson, D. L. (2005). Atlantic Ocean forcing of North American and European summer climate. *science*, 309(5731), 115-118.
- van Geel, B., Aptroot, A., 2006. Fossil ascomycetes in Quaternary deposits. *Nova Hedwigia* 82, 313–329.
- Van der Meulen, B., Cohen, K. M., Pierik, H. J., Zinsmeister, J. J., & Middelkoop, H. (2020). LiDAR-derived high-resolution palaeo-DEM construction workflow and application to the early medieval Lower Rhine valley and upper delta. *Geomorphology*, 370, 107370.
- Wanner, H., Solomina, O., Grosjean, M., Ritz, S. P., & Jetel, M. (2011). Structure and origin of Holocene cold events. *Quaternary Science Reviews*, 30(21-22), 3109-3123.
- Wirth, S. B., Glur, L., Gilli, A., & Anselmetti, F. S. (2013). Holocene flood frequency across the Central Alps–solar forcing and evidence for variations in North Atlantic atmospheric circulation. *Quaternary Science Reviews*, 80, 112-128.
- White T.S., Bridgland D.R., Limondin-Lozouet N. & Schreve D.C., 2017 - Fossils From Quaternary fluvial archives: Sources of biostratigraphical, biogeographical and palaeoclimatic evidence. *Quaternary Science Reviews*, **166**, 150-176.