



HAL
open science

Dynamique des changements contemporains de la rivière d'Ain, de ses affluents et du Rhône aux portes de Lyon, en réponse aux pressions anthropiques multiples, anciennes et à venir

Norbert Landon, Fanny Arnaud, Jérôme Lejot, Baptiste Marteau, Oldrich Navratil, Alexandre Peeters, Hervé Piégay, Théo Martinez, Franck Perret, Léna Leduc

► To cite this version:

Norbert Landon, Fanny Arnaud, Jérôme Lejot, Baptiste Marteau, Oldrich Navratil, et al.. Dynamique des changements contemporains de la rivière d'Ain, de ses affluents et du Rhône aux portes de Lyon, en réponse aux pressions anthropiques multiples, anciennes et à venir. Journées de la commission Hydrosystèmes Continentaux du CNFG, Université Lyon 2, Jul 2024, Blyes (Ain), France. hal-04648141

HAL Id: hal-04648141

<https://hal.science/hal-04648141v1>

Submitted on 17 Dec 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

**Dynamique des changements contemporains de la rivière d’Ain, de ses
affluents, et du Rhône aux portes de Lyon, en réponse aux pressions
anthropiques multiples, anciennes et à venir...**

10, 11 et 12 juillet 2024

N. LANDON, F. ARNAUD, J. LEJOT, B. MARTEAU, O. NAVRATIL, A. PEETERS, H. PIEGAY, A. PEETERS, T.
MARTINEZ, M. PRED’HOMME, A. GEFREY, F. PERRET, L. LEDUC



Rappel du contexte

Depuis le Jura jusqu'aux portes de Lyon, la dynamique économique, depuis les prémices de la révolution industrielle, en passant par les trente glorieuses, pour arriver à l'heure de l'énergie bas carbone, a conduit à une « métamorphose fluviale » sans équivalent sur la basse vallée de l'Ain passant en très peu de temps d'un style fluvial en tresses au style linéaire, après avoir connu quelques décennies le méandrage. Malgré cela, depuis le début des années 1980, les équipes de recherche ne cessent d'accompagner les décideurs locaux très motivés, pour certains, par l'idée de préserver, voire restaurer ce qui peut l'être... Pour autant, dans une perspective de développement de stratégies d'adaptation aux changements climatiques, certaines politiques publiques pourraient remettre en cause cette quête de conservation-restauration des milieux aquatiques à fort enjeux patrimoniaux. Que ce soit en tête de bassin versant de l'Ain où le PNR du Haut Jura, gestionnaire gemapien, ne cesse de promouvoir des opérations de restauration dans un contexte de pénurie sédimentaire et flux hydrologique affectés, à la confluence de l'Ain (un des derniers deltas intra-continentaux européens) soumis une nouvelle fois à un projet de barrage CNR, ou encore aux portes de Lyon où les travaux d'aménagement et les extractions de granulats ont profondément modifiés les dynamiques des flux liquides et solides, chercheurs et gestionnaires ne cessent leur collaboration en quête d'un équilibre souvent fragile, soumis aux injonctions de certaines politiques publiques et aléas socio-économiques, le tout dans un contexte de réchauffement climatique parfois encore mal compris...

Les thématiques abordées :

- Enjeux de gestion et de restauration des rivières fortement impactés.
- Métrologie pour la caractérisation et le suivi des hydrosystèmes.
- Production hydro-électrique et impacts sur les flux solides.
- Restauration des milieux aquatiques sous tension.

Il s'agit de proposer un état des connaissances sur un espace fortement impacté par les activités humaines mais conservant une certaine dynamique naturelle fragile et sans cesse remise en cause par de nouvelles volonté d'aménagement. Malgré tout de belles réalisations ont pu être menées, permettant de mettre en exergue tout l'intérêt d'une recherche fondamentale, inscrite dans la durée, et couplée à la fois aux questions d'actualité mais également aux questionnements sociétaux sans cesse renouvelés par des territoires de gestion en recomposition.

Programme

Mercredi 10 juillet

Départ 10h30 pour le 1^{er} site : canal de Miribel – Pont de Jons

Enjeux liés au transport sédimentaire dans le Canal de Miribel (inondation, eau potable, continuité sédimentaire et restauration écologique) : suivis RFID, géophones et autres équipements lowcost, bilans sédimentaires, colmatage).

12h15-12h30 : départ pour le site du pique-nique, port d'Anthon face à la confluence Ain–Rhône

Le projet de barrage CNR en amont de la confluence du Ain-Rhône : renaissance d'un projet abandonné... Présentation du projet Rhonergia - Enjeux et problématique

14h30 – Départ pour l'Albarine (médiann et aval) via pont de Loyette puis Ambérieux-en-Bugey
L'Albarine, présentation de l'intérêt de l'imagerie haute résolution pour l'étude des habitats des rivières intermittentes. Apport de la télédétection par drone (LiDAR, photogrammétrie) pour caractériser les méso-formes fluviales et leurs impacts sur la répartition des habitats piscicoles dans le contexte de rivières intermittentes.

- Site 1 : Torcieu (gare)
- Site 2 : Saint-Maurice de-Rémens (pont)

Jedi 11 juillet : Haute vallée de l'Ain, bassin versant de la Bienne (principal affluent amont)

- *Restauration des gravières de la basse vallée de la Bienne*
- *Barrage et transit sédimentaire intra-muros sur le site de Saint-Claude*
- *Suivis scientifiques des restaurations et transit sédimentaire*
- *Cartographie thermique et description des conditions d'habitats thermiques sur la Bienne*

Vendredi 12 juillet : matinée (8h-13h)

Descente en canoé d'un tronçon de la basse vallée (Pont-d'Ain – Gévrieux) à la découverte des impacts, des enjeux et des opérations de restaurations, des suivis scientifiques.

Fin de la navigation vers 13 h avec pique-nique avant retour sur Lyon à partir de 14 h 30 (ne pas prévoir de train avant 16h30).

Mercredi 10 juillet

Matinée :

Enjeux liés au transport sédimentaire dans le Canal de Miribel (inondation, eau potable, continuité sédimentaire et restauration écologique) : suivis RFID, géophones et autres équipements lowcost, bilans sédimentaires, colmatage).

Alexandre PEETERS, Oldrich NAVRATIL, Théo MARTINEZ, Salomé-BERTHIER-LAUMOND, Margaux PRED'HOMME, Anna GEFFRAY, Hervé PIÉGAY

Localisé en amont immédiat de la ville de Lyon, le canal de Miribel est un secteur court-circuité du Rhône de 18 km de long, qui présente aujourd'hui un transport solide toujours actif ; ceci grâce aux apports de la rivière d'Ain (30 000 à 40 000 m³/an ; Rollet, 2007) dont la confluence se trouve 8 km en amont. Pourtant, le canal de Miribel a été profondément modifiée dès le milieu du XIX^{ème} siècle par plusieurs phases d'aménagement : concentration des écoulements dans le canal de Miribel (entre 1848 et 1897), construction de la dérivation de Jonage (1894-1899) et du barrage de Jons (mis en service en 1937), et exploitation des sédiments du lit mineur (depuis les années 1960 jusqu'au début des années 1990 ; Petit *et al.*, 1996). Ces aménagements ont concouru à modifier la dynamique du tronçon et la morphologie du chenal ; ce dernier ne s'ajustant plus que dans la dimension verticale.

Aujourd'hui, le canal de Miribel et le barrage de Jons sont au centre de nombreux enjeux en raison du transport sédimentaire qui s'y opère. En premier lieu, l'augmentation du flux de sédiments charriés dans le Vieux-Rhône de Neyron peut affecter le bon fonctionnement des aménagements de prélèvement d'eau potable du champ captant de Crépieux Charmy (obstruction des prises d'eau). De plus, le charriage est susceptible de provoquer un rehaussement de la ligne d'eau dans l'agglomération lyonnaise, ce qui aurait pour effet d'y accroître le risque d'inondation. Enfin, pour atteindre les objectifs du bon état écologique exigé par la DCE, il est nécessaire de maintenir la continuité sédimentaire par la gestion du barrage de Jons afin de favoriser une bonne diversité des habitats aquatiques dans le canal de Miribel.

Pour ces raisons, le transport sédimentaire dans le canal de Miribel fait l'objet de nombreuses études depuis les années 1990. Ainsi, l'analyse approfondie de plusieurs relevés topo-bathymétriques a permis d'identifier et de quantifier les changements morphologiques du chenal dans le temps. En outre, le suivi du charriage par traçage sédimentaire RFID et par géophones a apporté de nouveaux éléments de connaissances sur le transport solide (*i.e.*, compétence, débit critique de mise en mouvement, distance et de vitesse de transport) et sur les conditions de transfert de la charge de fond au niveau du barrage de Jons. Enfin, pour évaluer la qualité des habitats aquatiques, une analyse du remplissage du compartiment interstitiel du fond caillouteux dans le Vieux-Rhône de Neyron a été menée. Ces différentes analyses fournissent des éléments quantifiés sur lesquels les gestionnaires peuvent se baser

pour définir les choix stratégiques de gestion et d'aménagement permettant de concilier les différents enjeux liés au transport sédimentaire.

Références :

Petit F., Poinart D., Bravard J.P., 1996. Channel incision, gravel mining and bedload transport in the Rhône river upstream of Lyon, France ("canal de Miribel"). *Catena*, 26, 209-226.

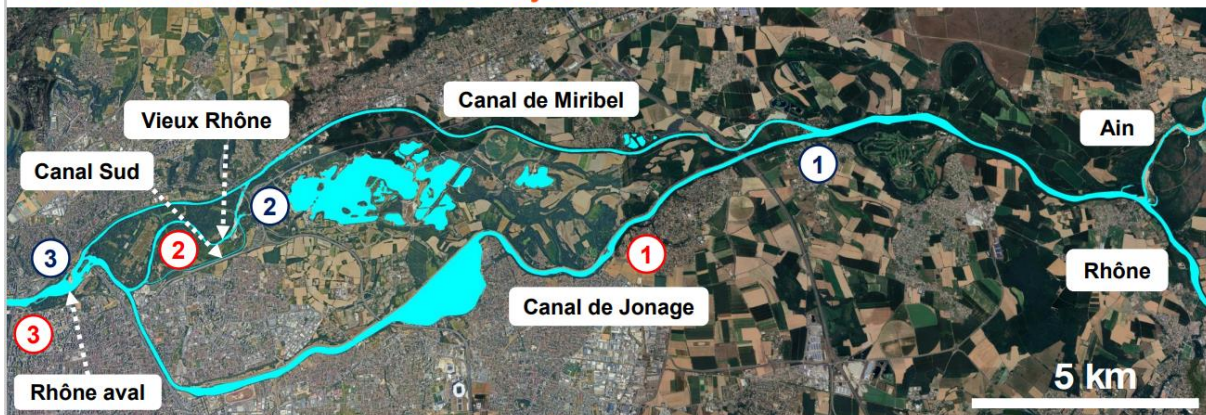
Rollet A.J., 2007. Etude et gestion de la dynamique sédimentaire d'un tronçon fluvial à l'aval d'un barrage : le cas de la basse vallée de l'Ain, PhD Thesis, University Jean Moulin Lyon 3; 305 pp.

Canal de Miribel : quelques références pour en savoir plus :

- Cassel M., Depret T., Piégay H., 2017. Assessment of a new solution for tracking pebbles in rivers based on active RFID. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42 (13), pp.1938 - 1951. (10.1002/esp.4152). (hal-01618580)
- Cassel M., Navratil O., Liébault F., Recking A., Vázquez-Tarrió D., et al., 2023. Assessment of pebble virtual velocities by combining active RFID fixed stations with geophones. *Earth Surface Processes and Landforms*, 48 (13), pp.2570-2583. ff10.1002/esp.5646ff. fhal-04293682
- Cherif I., Navratil O., Cherqui F., Namour P., Bertrand-Krajewski J.-L., et al., 2024. La métrologie bas-coûts, ouverte, sobre et connectée : un changement de paradigme pour l'observation des hydrosystèmes ?. *TSM. Techniques Sciences Méthodes – Génie urbain, génie rural*, 119 (3), pp.31-42. (hal-04515209)
- Misset C., Recking A., Legout C., Bakker M., Bodereau N., et al., 2020. Combining multi-physical measurements to quantify bedload transport and morphodynamics interactions in an Alpine braiding river reach. *Geomorphology*, 351, pp.106877. (10.1016/j.geomorph.2019.106877). (hal-02399196)
- Navratil O., Cassel M., Piégay H., Peeters A., 2023. Transparence sédimentaire de la retenue de Jons. Université Lumière Lyon 2; ENS de Lyon; CNRS. (hal-04546449)
- Nedelec R., Peeters A., Sirven D., Tissot N., Parmentier H., et al., 2023. Évaluation de l'état des habitats benthiques du Rhône. Campagnes de terrain sur 10 stations réparties sur le Rhône. OSR6 | Axe C - Action C1 | Rapport scientifique intermédiaire : Axe C – Développer des méthodes pour restaurer la qualité physique et chimique et évaluer les effets des actions C1 – Évaluation de l'état des habitats benthiques du Rhône dans les secteurs restaurés et non restaurés. [Rapport de recherche] CNRS; INRAE. 2023. (hal-03750527v2)
- Peeters A., Cassel M., Navratil O., Vazquez-tarrio D., Perret F., et al., 2023. Suivi des enregistrements géophone et RFID. Synthèse des campagnes de terrain. OSR6 | Axe C - Action C3 | Rapport scientifique intermédiaire : Axe C – Développer des méthodes pour restaurer la qualité physique et chimique et évaluer les effets des actions Action C3 – Evaluation de la durabilité et de la continuité sédimentaire à la suite d'opérations de recharge sédimentaire. [Rapport de recherche] CNRS; CNR; Réserve Naturelle Nationale de l'île de la Platière. (hal-03750532v2)
- Peeters A., Vázquez-Tarrió D., Cassel M., Mora C., Piégay H., 2023. Multi-site comparison of gravel travel distance by RFID tracking in large rivers: methodological and practical feedback. *International Conference on Fluvial Sedimentology 2023*, Jul 2023, Riva del Garda, France. (hal-04183223)
- Petit F., Poinart D., Bravard J.-P. (1996). Channel incision, gravel mining and bedload transport in the Rhône river upstream of Lyon, France ("canal de Miribel"). *Catena*, 26, 209-226. (10.1016/0341-8162(95)00047-X)
- Piégay H., Radakovitch R., Morandi B., Chateauminos A., Clémens A. (Dir.) et al., 2022. L'Observatoire des Sédiments du Rhône. 12 années de recherche pour la connaissance et la gestion hydro-sédimentaire du fleuve. Bilans et perspectives scientifiques. pp.1-72. (10.58165/osr-g471). (hal-03869998)

+ Support ci-dessous téléchargeable

Canal de Miribel : Contexte et enjeux



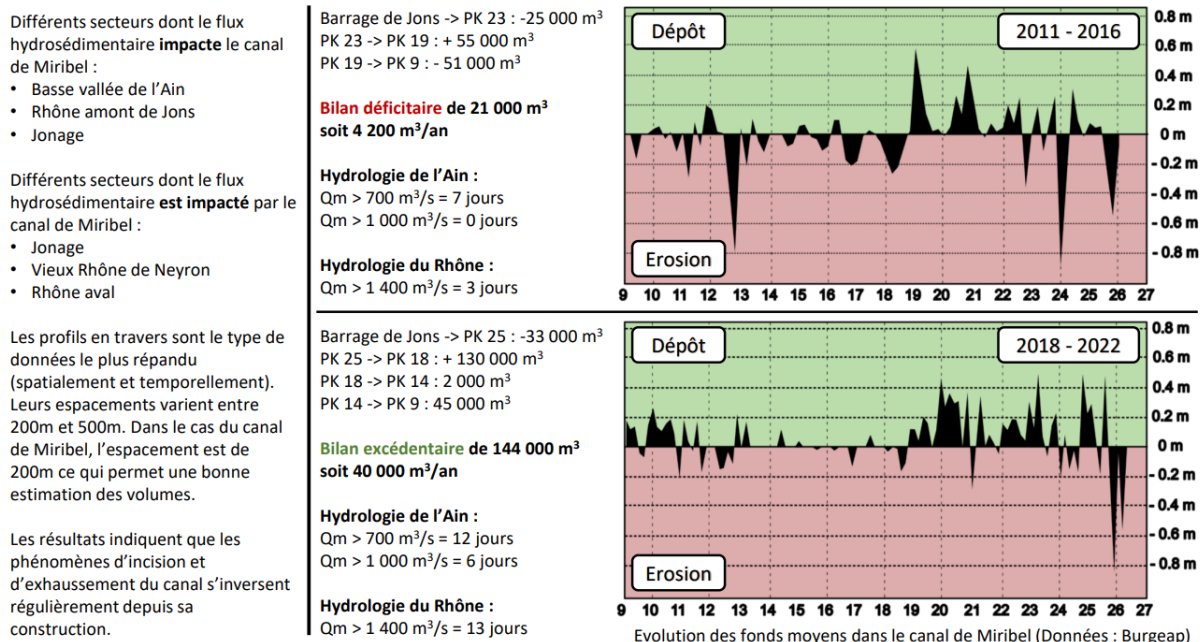
Secteur à forts enjeux :

- **Hydraulique** : Barrage de Jons = Régule les flux entre Miribel & Jonage
 - Centrale hydroélectrique de Jonage-Cusset (EDF)
 - Champ captant de Crépieux-Charmy (Eau Publique du Grand Lyon)
 - Métropole de Lyon
- **Sédimentaire** : Ain = Principale source de sédiment (30 à 40 000 m³/an)
 - Répartition des dépôts :
 - ¼ = Amont du canal de Jonage
 - ½ = Delta de Neyron + Vieux Rhône
 - ¼ = Fosse de la Feysine



Canal de Miribel : analyse topo-bathymétrique

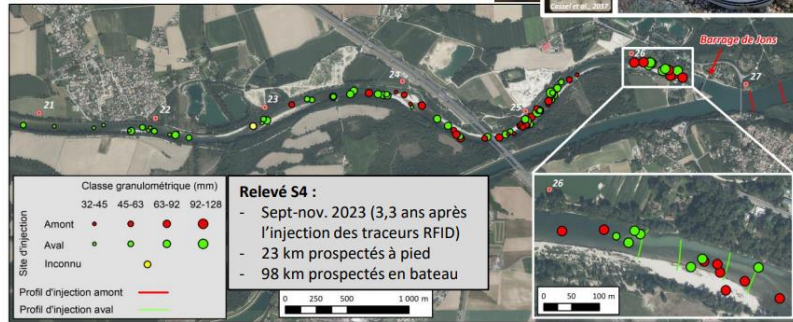
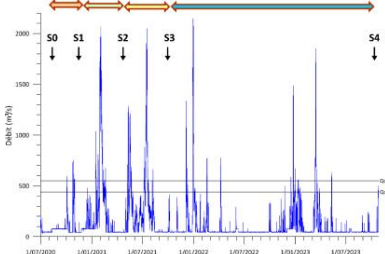
- Objectifs :
 - Etudier l'évolution latérale et verticale du chenal
 - Quantifier les volumes déposés ou exportés entre chaque campagne
- Profils en travers, en long / Plan de masse / LiDAR
- Répartition spatiale variable entre les secteurs



Canal de Miribel : Suivi par traçage sédimentaire RFID

- Objectifs :
- Quantifier le charriage dans le canal de Miribel
 - Evaluer la transparence sédimentaire du barrage

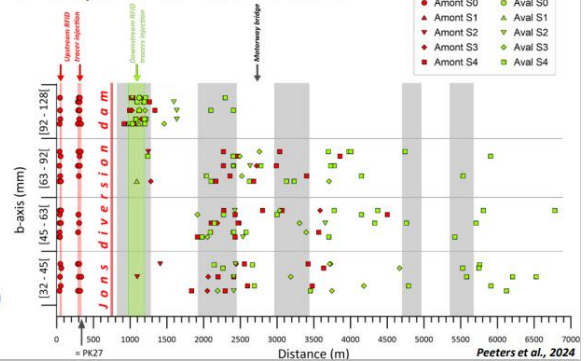
4 relevés des traceurs RFID :



n°	n total traceurs	% de retour	% de mobilisation (n traceurs mobilisés / n traceurs communs S _i - S _{i-1})	Dist. moy. (m)	Dist. max. (m)
S1 vs. S0	42	21	14 (6/42)	23	104
S2 vs. S1	108	54	80 (24/30)	735	2566
S3 vs. S2	106	53	74 (62/84)	644	2435
S4 vs. S3	98	49	67 (51/76)	487	2613

- Injection aval**
- Dispersion sur ~5800 m
 - Effet de la taille des particules sur les distances de transport (axe b >92 mm piégées sur radier)
- Injection amont**
- Dispersion sur ~4500 m
 - Barrage transparent pour toutes classes granulométriques
 - Effet de la taille des particules sur les distances de transport
 - 47 traceurs non retrouvés (dans le réservoir ? dans le canal de Jonage ?)
- Distances de transport similaires de part et d'autre du barrage

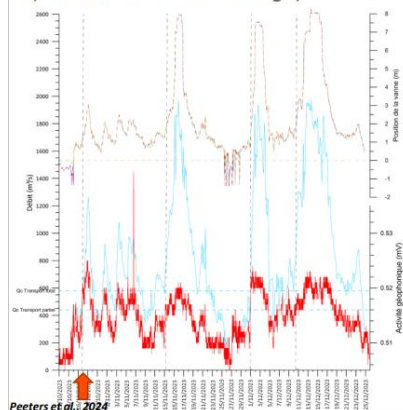
Dernière position connue des traceurs :



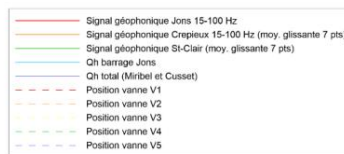
Canal de Miribel : Suivi de l'activité sismique (géophone)



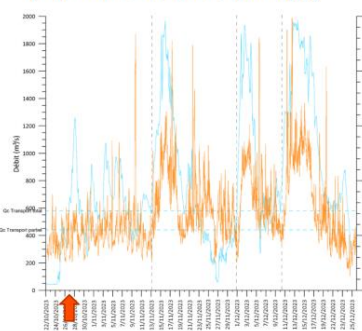
Canal de Miribel : Jons
(460 m en aval du barrage)



- Jons et Crépieux :
 - augmentation du signal sismique concomitante à $Q > Q_c$
 - effet d'hystérésis entre le débit et le signal sismique
- Jons :
 - activité sismique liée aux crues et aux manœuvres des vannes du barrage (pic du 27/10/2023 ↑)

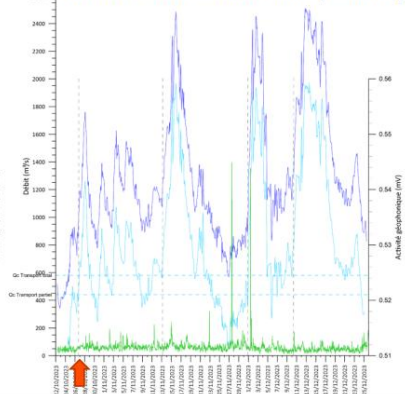


Canal de Miribel : Crépieux
(16,2 km en aval du barrage)



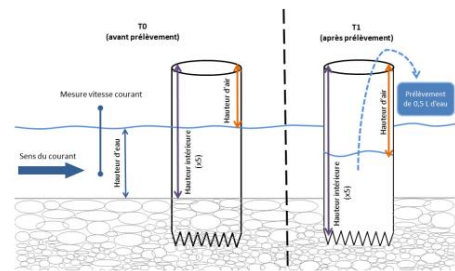
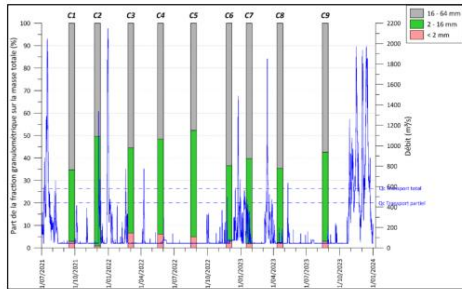
- St-Clair :
 - Pas de pics d'activité sismique (aval fosses Feysine)

Rhône Total : Saint-Clair (Caluire)

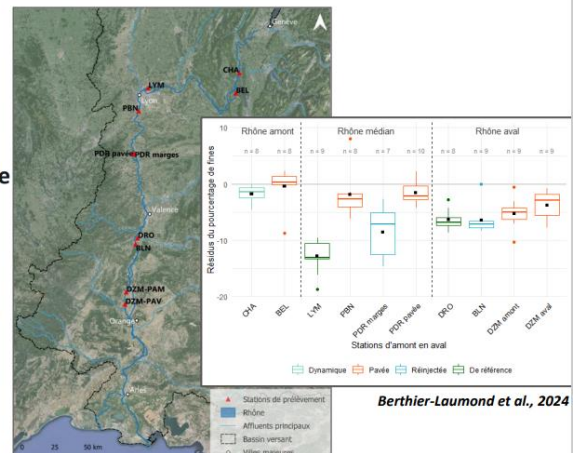


Canal de Miribel : Évaluation de l'état des habitats benthiques

- Evaluation du remplissage du compartiment interstitiel du fond caillouteux des radiers (proxy : % de fines dans les échantillons prélevés à l'aide d'un cylindre de type McNeil et Ahnell, 1964)
- Résultats sur le Vieux-Rhône de Neyron (canal de Miribel)



- Résultats sur les 10 stations échantillonnées sur le Rhône
 - variabilité intra-site plus faible que la variabilité inter-site :
 - sites de référence : 0,9 à 7,2 % de fines ;
 - Sites avec réinjection sédi. : 4 à 20 % de fines ;
 - Sites pavés : 0,4 à 27 % de fines ;
 - effet stationnel significatif (part de galets et vitesse des écoulements) sur le remplissage interstitiel
 - gradient amont-aval du comblement interstitiel



Mercredi 10 juillet

Après-midi :

Le projet de barrage CNR en amont de la confluence du Ain-Rhône : renaissance d'un projet abandonné... Présentation du projet Rhonergia - Enjeux et problématique

Carte du projet ou plan de situation



Schéma de localisation du projet (DMO, CNR)

Page du site de la CNR

[Rhônergia, un projet d'aménagement hydroélectrique entre l'Isère et l'Ain | CNR](#)

Page du site pour la concertation (CNDP)

[Barrage hydroélectrique sur le Rhône \(RHÔNERGIA\) | CNDP \(debatpublic.fr\)](#)

Article tribune de Lyon

[Projet Rhônergia, pourquoi Lyon fait barrage \(tribunedelyon.fr\)](#)

Quelques éléments de contexte

Un projet soumis à consultation, sans études préalables poussées...

Le projet de construction d'un barrage hydroélectrique CNR sur le Haut-Rhône, entre Saint-Romain-de-Jalionas (38) et Loyettes (01) aux environs du PK 40 a été abandonné dans les années 1980, après de longues luttes... Alors que la CNDP lance la consultation pour une période s'étirant entre novembre 2023 et février 2024 sans que les études soient réellement avancées, notamment en termes de faisabilité technique mais aussi d'impacts environnementaux (l'autorité environnementale ayant pourtant donnée des indications précises dans son avis du 22 juin 2023), de nombreuses interrogations animent, voire inquiètent, la communauté scientifique mais également les riverains, les associations environnementalistes et autres acteurs...



Figure 6 – Contexte territorial et zone d'implantation proposée (un rectangle rouge a été inséré par les rapporteurs pour permettre le repérage de la centrale nucléaire du Bugey) – Source : dossier

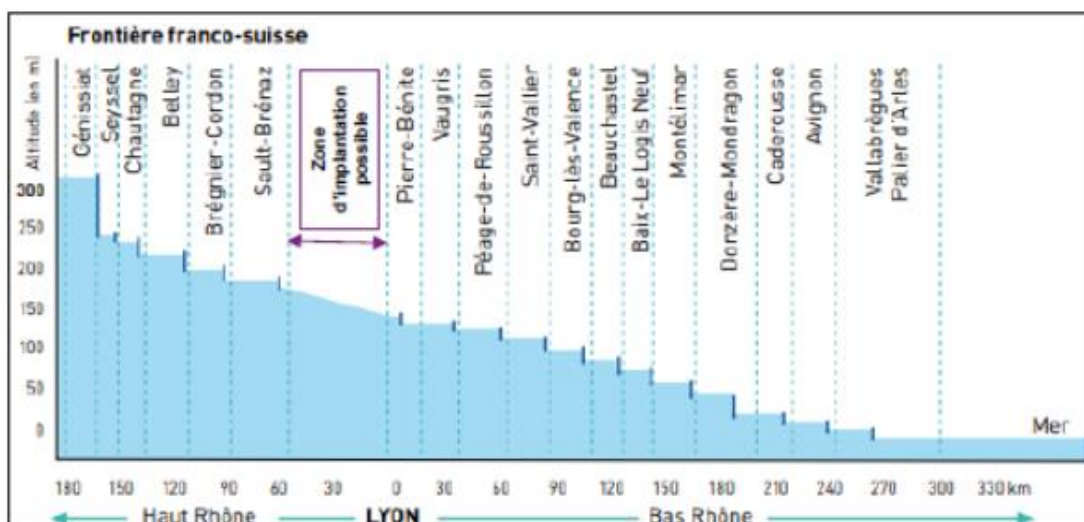


Figure 4 – Positionnement possible d'un nouvel aménagement – Source : dossier

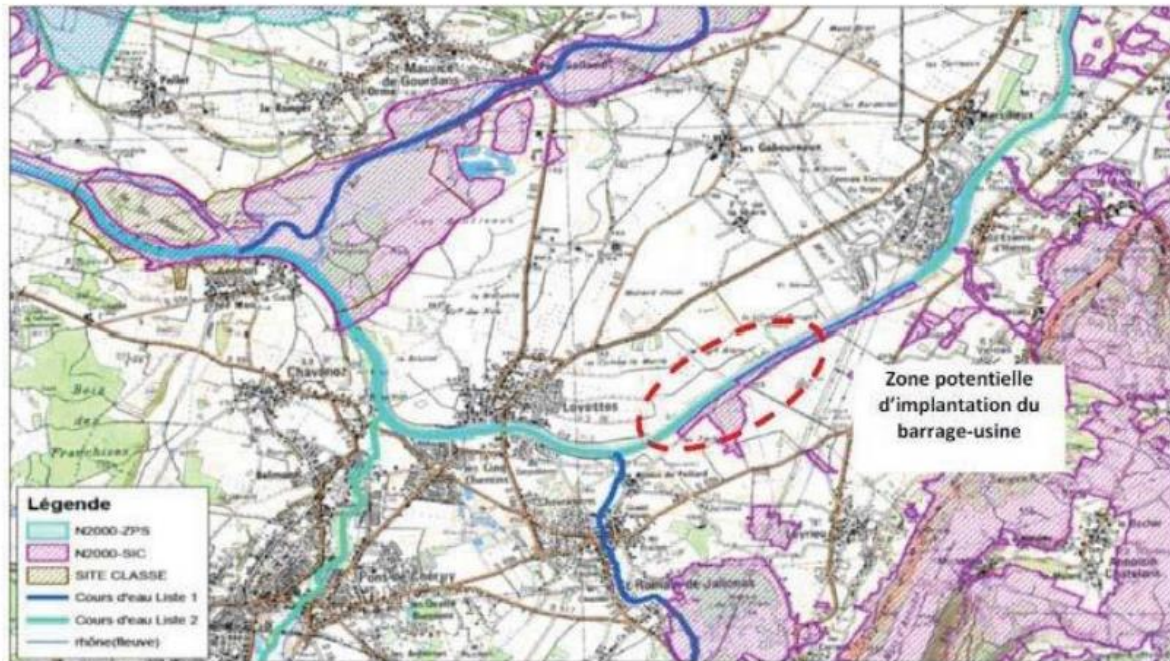


Figure 5 – Sites Natura 2000 à proximité du secteur d'implantation potentielle et classement des tronçons de cours d'eau – Source : dossier de prolongation de la concession

A considérer, à partir des éléments connus, présentés par la CNR :

- 1 – ce barrage serait implanté à 5 km¹ à l'aval de la centrale nucléaire de St. Vulbas (futur site EPR...) dont les rejets d'eaux chaudes se feraient dans des eaux calmes de la retenue et non plus dans des eaux courantes, alors même que les prélèvements se feraient dans le même réservoir de près de 20 M de m³ (dans un contexte de projections climatiques peu favorables en termes de température et quantité d'eau) ;
- 2 – ce barrage serait implanté à 4 km à l'amont de la confluence Ain-Rhône, l'un des derniers deltas naturels intracontinentaux d'Europe encore actifs (site classé) ;
- 3 – en raison de la faible hauteur de chute dans l'usine hydroélectrique (6 m), il est prévu de surcreuser le lit du Rhône à l'aval du barrage (environ 1,5 m) ce qui provoquera une incision du fleuve et par conséquent un abaissement des nappes phréatiques d'accompagnement. Le non renouvellement de la charge de fond, par effet du barrage, pourrait même aggraver l'incision (progressive à partir du pied de l'ouvrage). En effet, alors qu'il est indiqué qu'une passe à poissons serait installée, rien n'est précisé quant à la continuité hydro-sédimentaire ;
- 4 – cette incision affectera le secteur de la confluence ainsi que le tronçon du Rhône à l'aval de la confluence et, par érosion régressive, la basse vallée de l'Ain, deux secteurs de plaines alluviales riches en îlots relictuelles qui seront menacés d'assèchement (ces deux plaines qui sont identifiées en ZNIEFF et classées en Natura 2000², abritent plusieurs espèces

¹ Les données chiffrées concernant l'implantation sont incertaines étant donné l'absence de précisions du dossier pour lequel la consultation est pourtant lancée...

² FR8201653 - Basse vallée de l'Ain, confluence Ain-Rhône

FR8201638 - Milieux alluviaux et aquatiques du fleuve Rhône, de Jons à Anthon

floristiques et faunistiques protégées, et jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement de l'hydrosystème fluvial rhodanien amont) ;

5 – cet aménagement impacterait les derniers 26 km de Rhône en fonctionnement quasi-naturel et en Bon Etat Ecologique (au sens Directive Cadre Européenne sur l'Eau), soit moins de 5 % des 545 km français du fleuve (donnée SANDRE), et n'augmenterait que de 0.09 % la production de l'ensemble des aménagements hydroélectriques déjà existants sur ce fleuve (4 058 MW installés contre 37 pour le dit projet...

Note de position ZABR sur le projet Rhôneergia - 18 septembre 2023

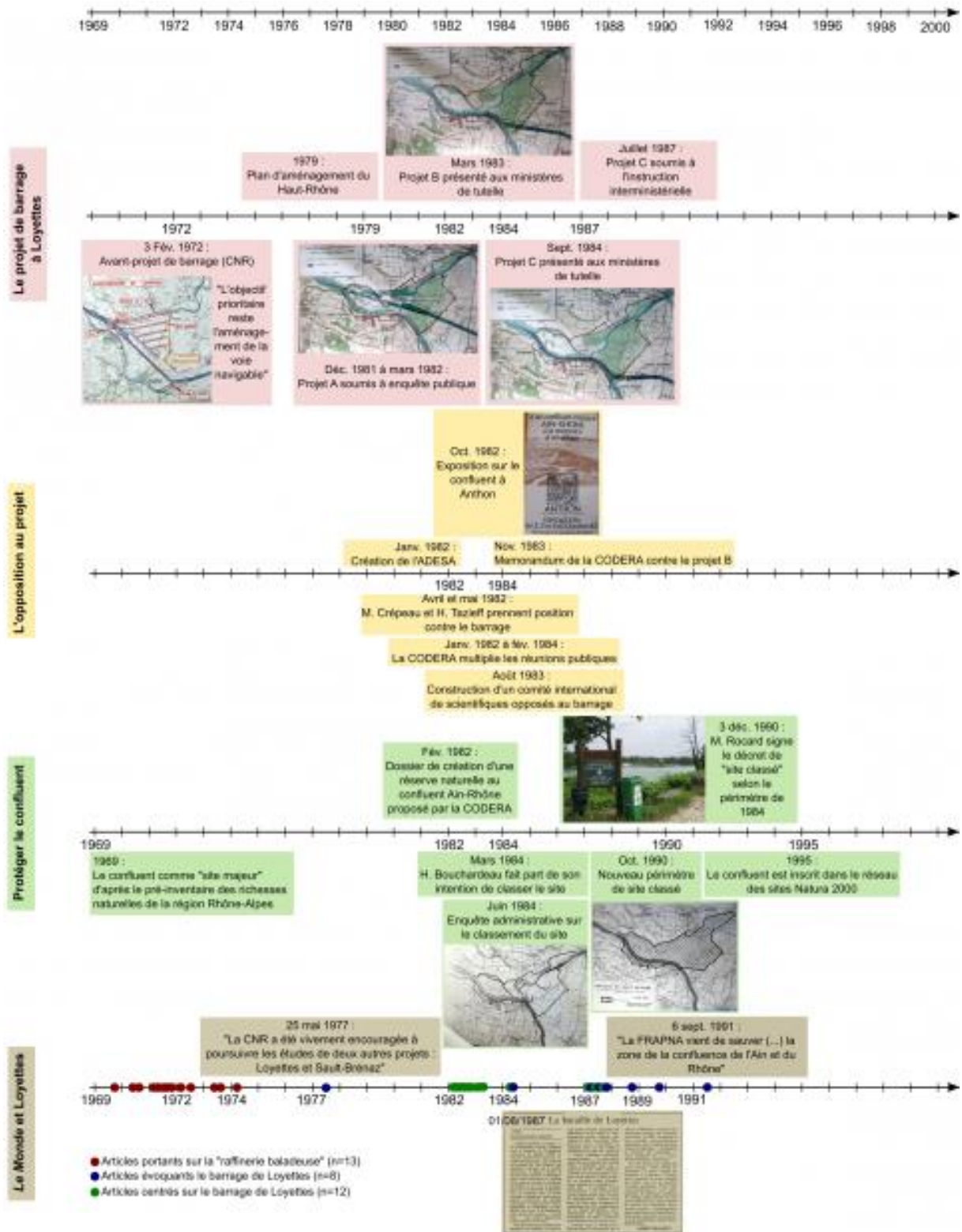
- (1) Le projet Rhôneergia et la politique de restauration du Rhône ne sont pas indépendants et sont antagonistes
...
- (2) Les impacts socio-écologiques de Rhôneergia ne seront pas anodins
...
- (3) L'objectif d'un bilan de la concertation préalable en 2024 empêche une meilleure information du public
...
- (4) L'information technique à destination des scientifiques n'est pas fluide

Fin août 2023, les scientifiques n'ont toujours pas été consultés par la CNR sur les études de faisabilité et leurs contenus. Cette situation rend leur mobilisation difficile pour contribuer efficacement à la concertation publique de 2023. Les scientifiques expriment le souhait d'avoir davantage de partage d'informations techniques et une meilleure anticipation, afin d'informer le public sur les enjeux du projet, et construire les interfaces nécessaires entre le projet Rhôneergia et les programmes scientifiques liés au Rhône, quelles que soient les décisions qui seront prises

... le projet Rhôneergia présente de forts enjeux socio-écologiques dont certains effets prévisibles sont antagonistes avec les objectifs de la directive-cadre Européenne sur l'eau et les efforts collectifs de restauration du fleuve mis en œuvre depuis plus de 25 ans. Dans cette optique, la ZABR recommande de prendre le temps nécessaire pour mieux évaluer les impacts environnementaux et sociétaux potentiels de ce barrage, afin de prendre des décisions plus éclairées et concertées

La controverse de Loyettes au fil du temps (Silvia Flaminio et Yves-François Le Lay, 2017)

<https://doi.org/10.4000/developpementdurable.11882>



Sources : *Le Monde*, Archives nationales, Archives départementales du Rhône, Archives de la FRAPNA, Archives de la commune d'Anthon.



Les fiches de synthèse de la CNDP

SYNTHÈSE POUR LES DÉCIDEURS ET LE PUBLIC CONCERTATION SUR LE PROJET RHÔNERGIA

La Compagnie nationale du Rhône (CNR) a soumis à concertation publique le **projet d'un d'aménagement hydroélectrique sur le Rhône dénommé Rhônergia**. L'État a en effet demandé à CNR d'étudier ce projet en application de la loi de février 2022 portant sur la prolongation de la concession du Rhône à l'entreprise. CNR, l'État et RTE ont fait le choix d'organiser cette concertation tôt dans le calendrier réglementaire, sur la base d'une étude de pré-faisabilité du projet, laissant ainsi ouvertes toutes les options à débattre avec le public.

La concertation publique, dont les modalités ont été validées par la CNDP le 8 novembre 2023, s'est déroulée du 29 novembre 2023 jusqu'au 29 février 2024, sur la durée maximale de 3 mois prévue par les textes.

Le projet consiste en un **barrage-usine**, dit « de basse chute » ou « au fil de l'eau », **situé à 40 km en amont de Lyon sur le Rhône, à la hauteur des communes de Loyettes (Ain) et de St Romain de Jalionas (Isère)**. Le linéaire du fleuve impacté serait de 26 km (22 à l'amont et 4 à l'aval du barrage). D'une **puissance de 40 MW**, l'ouvrage produirait l'équivalent de la consommation électrique (hors chauffage) d'une ville de 60 000 habitants. Il s'intégrerait dans la chaîne des 19 ouvrages hydroélectriques existant déjà sur le fleuve, entre le Léman et la Méditerranée. Son **coût est évalué à 330 M€** aux conditions économiques 2023.

Le projet, dont le principe et une localisation approximative ont été définis dès 1935, a été conçu pour répondre aux critiques qui avaient accompagné un projet des années 1980 situé dans un secteur proche et abandonné suite à la forte contestation de ses impacts sur l'environnement.

1. LES ENSEIGNEMENTS CLEFS DE LA CONCERTATION

Les modalités de la concertation (documents diffusés, interfaces numériques et rencontres) ont été préparées par CNR et son AMO, dans un dialogue nourri et de qualité avec les garant.e.s afin de répondre aux attentes du territoire identifiées. Ces modalités ont été validées par la CNDP. La participation a été satisfaisante, eu égard à la période de l'année (froid, neige, pluies et crue du fleuve) et a rencontré un public relativement nombreux.

Les opposants au projet se sont fortement mobilisés, notamment avec la constitution d'un collectif d'habitants de St Romain et l'implication de multiples associations (FNE, LPO, Lo Parvi, pêcheurs, kayakistes...) et ont activement participé aux différentes manifestations. Le public explicitement favorable a essentiellement été rencontré dans des contextes d'échange bilatéral, notamment sur les marchés mais s'est exprimé par ses avis sur le site. Les scientifiques et les représentants d'établissements publics qui se sont exprimés ont porté des interrogations ou des oppositions.

La plupart des élus locaux qui ont transmis une contribution sont apparus partagés en début de période et se sont ensuite montrés réservés ou interrogatifs, voire hostiles au projet.

Les parlementaires contributeurs et quelques acteurs économiques du territoire ont clairement soutenu le projet. Le site internet a permis une expression plus libre et donc relativement variée, soit en termes d'avis, soit de questions auxquelles CNR a systématiquement répondu. Enfin, il faut noter le nombre très élevé de **53 cahiers d'acteurs ou contributions collectives**, bien documentés.

Une **contestation sur le calendrier de la concertation** a subsisté jusqu'à la fin des manifestations. Le choix des maîtres d'ouvrage de soumettre le projet au public en amont de sa définition détaillée -dès 2023, alors que la loi permettait de le faire jusqu'en 2026- a contraint CNR à renvoyer ses contradicteurs aux résultats d'études futures pour obtenir des réponses à leurs questions.



Ceux-ci ont en conséquence considéré que cette anticipation les empêchait de formuler un avis sur le fond et invalidait tout le processus. Mais ils ont ensuite activement participé aux modalités de concertation proposées.

Les débats ont porté sur le compromis acceptable ou non entre **3 éléments** : les nécessités liées à **l'urgence électrique nationale**, la production d'énergie du projet rapportée à **son coût** et finalement **son impact net sur l'environnement** : « *tous les kilowatts sont-ils bons à prendre ?* ».

Si personne n'a manifesté d'a priori contre la production d'énergie renouvelable, tous considèrent que la vallée du Rhône est déjà suffisamment exploitée.

Le coût du projet, rapporté au KWH produit a été interrogé de multiples fois sans que l'on aboutisse à un diagnostic indiscutable et consensuel. La comparaison avec d'autres modes de production ou avec des équipements de même nature s'avère difficile et le débat a souvent tourné à un débat d'experts. Le public s'est intéressé à **la rentabilité financière de l'ouvrage** et la discussion a progressé, prenant en compte l'équilibre économique global de la concession. Il s'est majoritairement exprimé pour que les fonds prévus par la CNR pour le projet soient utilisés autrement, et ceci a nourri les **travaux sur les alternatives**.

Enfin, et peut-être surtout, c'est le poids des **impacts sur l'environnement** du projet qui a été mis en avant par les participants. La caractéristique particulière de cette section du fleuve, avec un Rhône qui y est « naturel, courant et à écoulement libre » emporte les avis exprimés. « *Comment peut-on imaginer de supprimer les derniers kilomètres de Rhône libre entre le Léman et la Méditerranée ?* ».

La renaturation ou la compensation sont alors considérés comme illusoire sinon impossibles. Le sujet se subdivise ensuite selon les cas en détaillant la destruction des berges et de la ripisylve, celle des îlots et des frayères, leurs conséquences sur la flore et la faune, tant terrestre qu'aquacole.

Sont également mises en exergue les conséquences des variations des niveaux des nappes phréatiques, le risque spécifique sur la zone Natura 2000 de la confluence Ain-Rhône et des zones de captage d'eau pour les besoins de la métropole lyonnaise, en même temps que le blocage du transit sédimentaire et les risques sur l'irrigation des terres agricoles, et, bien sûr, la relation du projet avec le futur de la centrale nucléaire du Bugey... Autant d'échanges qu'il conviendrait d'objectiver par des études détaillées.

Le public a rajouté au débat la nécessité, assumée par presque tous les acteurs entendus, de **construire un nouveau pont** sur la même portion du fleuve et a questionné la perspective qui s'offre aux habitants de Loyettes et de Saint Romain de Jalionas : **trois chantiers gigantesques (les EPR, le barrage et le pont) et quasi simultanés**, environ 10 000 salariés qui vont circuler, se loger, demander des services publics nouveaux, et un environnement au pire irrémédiablement détruit, au mieux qui demandera 20 ou 30 ans pour retrouver un hypothétique état naturel. De là, le public a interpellé de plus en plus fortement l'État, partie prenante de deux projets (le barrage et les EPR), et ainsi en situation de les arbitrer ou de les coordonner. La décision que doit prendre l'État au regard de ce bilan porte sur la continuation ou non des études du barrage, pour permettre à CNR de respecter le calendrier fixé par la loi de 2022 d'une mise en exploitation potentielle en 2033.



2. LES PRINCIPALES DEMANDES DE PRÉCISIONS ET RECOMMANDATIONS DES GARANT.E.S

Le tableau ci-dessous présente les principales demandes de précisions et recommandations que les garant.e.s formulent à la fin de la concertation préalable. Le responsable du projet, lorsqu'il va publier sa réponse à ce bilan avec les enseignements de la concertation, est invité à répondre à ces différents points.

Tableau des demandes de précisions et/ou recommandations

Suite(s) à donner à des interrogations ayant émergé mais n'ayant pas trouvé de réponse
<p>Les maîtres d'ouvrage ont choisi de soumettre le projet à la concertation très en amont de son étude détaillée et sans disposer d'un état initial permettant d'apprécier suffisamment ses impacts potentiels. Ce choix a été expliqué par les maîtres d'ouvrage, à savoir que toutes les options soient encore ouvertes au démarrage de la concertation. Mais il a eu la conséquence fâcheuse de ne pas amener CNR à répondre à nombre de questions précises et légitimes du public. Faute d'études détaillées, qui auraient pu être rendues publiques, CNR a trop souvent renvoyé ses interlocuteurs aux résultats de travaux à venir.</p>
<p>Pour le cas où l'État déciderait de ne pas poursuivre les études, les recommandations des garants sont les suivantes :</p> <p>Recommandation unique : Réunir, sous l'égide de madame la Préfète de Région, une conférence territoriale chargée de mettre en débat un programme d'alternatives et de gestion concertée du segment du Rhône concerné par l'actuel projet Rhôneergia.</p>
<p>Pour le cas où l'État déciderait de poursuivre les études, les recommandations des garants auprès des trois maîtres d'ouvrage (État, CNR et RTE) sont les suivantes :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Établir une liste exhaustive des études en cours ou à venir, faire connaître le calendrier précis de leur réalisation, les rendre publiques et le cas échéant prévoir des rapports intermédiaires. 2. L'étude dite de faisabilité du projet rendue par la CNR à l'État en mars ou avril 2024 doit être intégralement rendue publique. 3. Outre celles que pourraient prévoir les porteurs d'alternatives, les services de l'État ou les établissements placés sous sa tutelle, en cofinancement avec les collectivités territoriales volontaires, devraient diligenter une étude de développement de la faisabilité d'implantation d'ENR(Éolien, photovoltaïque et petite électricité hydraulique) sur les territoires des communautés de communes et des départements concernés par l'actuel projet Rhôneergia, ou tout autre périmètre qui pourrait être jugé pertinent. Cette étude doit associer l'ensemble des personnalités morales qui se sont mobilisées pour la production d'alternatives à l'occasion de la concertation. 4. La communauté scientifique et les organisations de protection de l'environnement dont l'expertise sur ces sujets est reconnue, les organisations de professionnels de l'énergie, doivent être associées à la conduite des études évoquées et suggérées ci-dessus dans le cadre d'un comité scientifique élargi ad hoc. 5. Au regard des études et compléments d'information évoqués ci-dessus, l'État est invité à fixer une date butoir intermédiaire de sa décision en opportunité de poursuivre ou non le projet jusqu'aux autorisations réglementaires. 6. Le site de la concertation préalable doit être redéployé en site de la concertation continue. 7. L'État doit prendre l'initiative d'une instance régulière de gouvernance et de coordination transdépartementale à propos des différents projets envisagés sur le territoire (barrage, EPR, pont,...) ayant des impacts forts aux plans socio-économiques (par exemple emplois, santé, mobilités) ou environnementaux (par exemple eau, sols, consommation de terres, biodiversité).

L'Albarine, présentation de l'intérêt de l'imagerie haute résolution pour l'étude des habitats des rivières intermittentes. Apport de la télédétection par drone (LiDAR, photogrammétrie) pour caractériser les méso-formes fluviales et leurs impacts sur la répartition des habitats piscicoles dans le contexte de rivières intermittentes.

- Site 1 : Torcieu (gare)
- Site 2 : Saint-Maurice de-Rémens (pont)

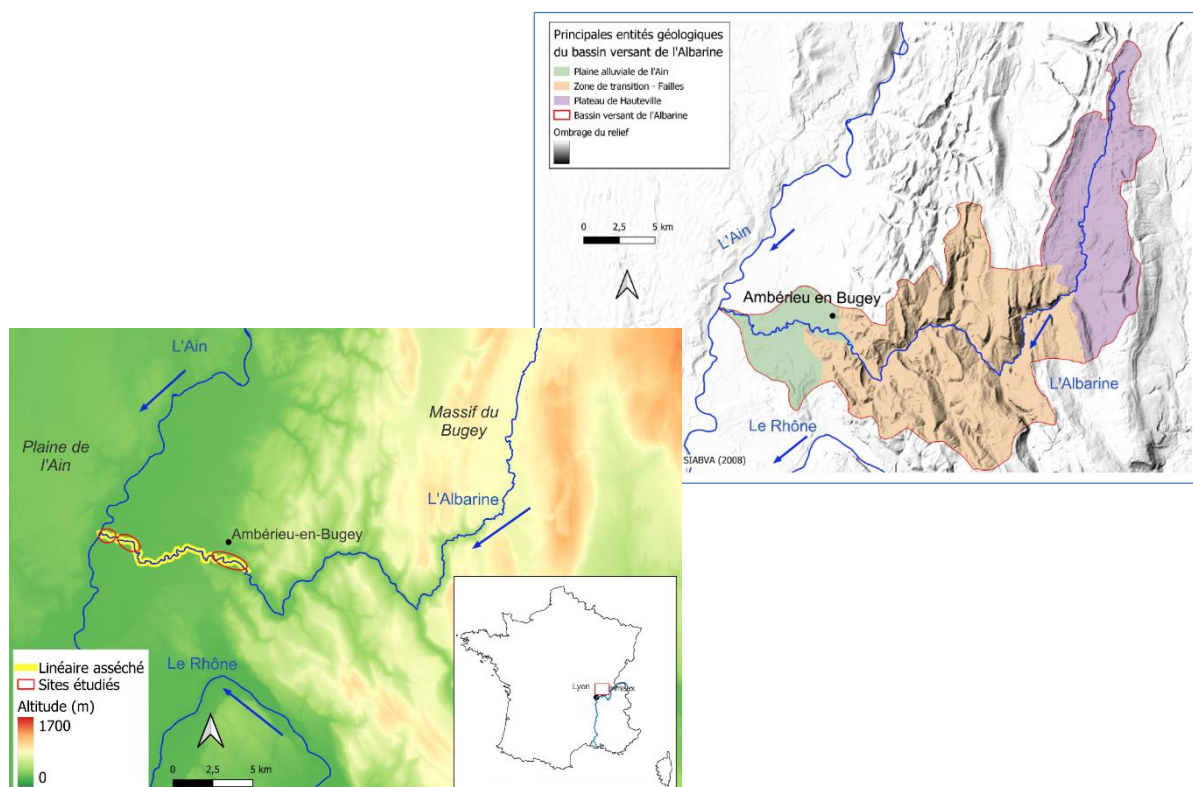
Restitution du fractionnement des méso-habitats des rivières intERmittentes par Imagerie Drone : le cas de l'Albarine (RIVERSIDE)

La structuration morpho-écologique des cours d'eau est un des facteurs clefs de la **répartition des habitats** et implicitement de la qualité des milieux aquatiques fluviaux. Dans un contexte de réchauffement climatique global, ces milieux complexes et sensibles vont être de plus en plus concernés par des phénomènes **d'assèchement partiel ou intégral** de leur lit impactant les continuums écologiques piscicoles.

Le besoin d'**outils opérationnels** est donc primordial pour étudier les variations physiques des tronçons de rivière et fournir des **indicateurs caractérisant les méso-formes** (seuils, mouilles, radiers, végétation rivulaire), leur répartition et leur suivi afin d'évaluer leur qualité.

Le projet de recherche RIVERSIDE ambitionne d'apporter de nouveaux éléments de compréhension sur le fractionnement morphologique d'une rivière intermittente (l'Albarine) en éprouvant i) **la capacité des données LiDAR et des images traitées par photogrammétrie** à restituer les méso-formes des habitats, ii) d'en extraire les **caractéristiques physiques**, iii) de **croiser ces métriques avec des relevés piscicoles** (inventaires localisés).

3 sites expérimentaux sur l'Albarine (affluent de l'Ain)



Jeudi 11 juillet : Bassin versant de la Bienne (principal affluent amont de l'Ain)

- *Présentation générale du bassin de la Bienne*
- *Cartographie thermique et description des conditions d'habitats thermiques sur la Bienne*
- *Barrage et transit sédimentaire intra-muros sur le site de Saint-Claude*
- *Restauration des gravières de la basse vallée de la Bienne + Suivis scientifiques des restaurations et transit sédimentaire*

Présentation générale du bassin de la Bienne

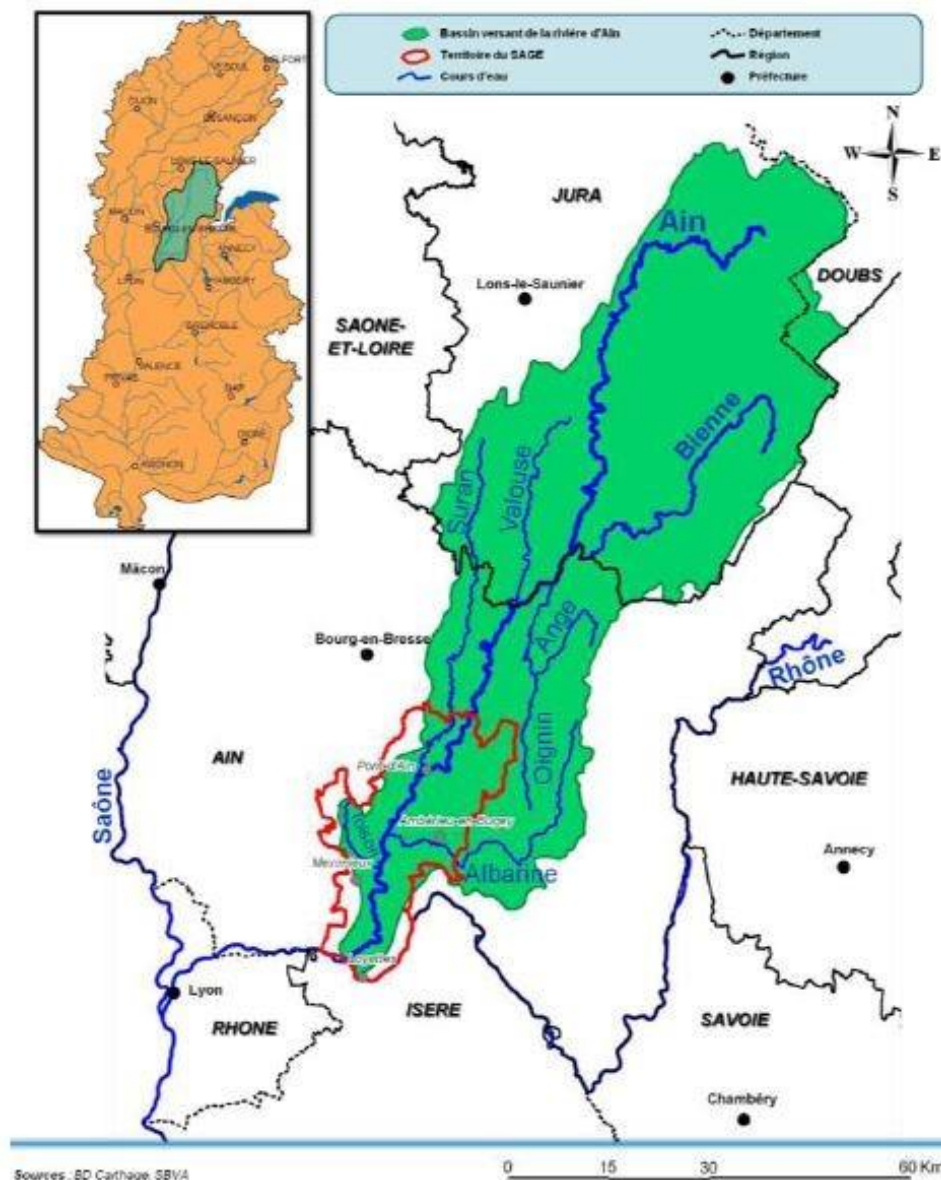


Figure A : Localisation du bassin versant de la rivière d'Ain et du territoire du SAGE

➔ Un affluent de l'Ain amont – totalement aménagé...



Extrait plaquette, Aménagements hydroélectriques vallée de l'Ain, EDF, 2009

6 aménagements hydroélectriques au cœur de la vallée de l'Ain

La rivière d'Ain naît au cœur du Jura, près de Nozeroy. Elle traverse le plateau de Champagnolle, s'encaisse ensuite dans des gorges de 90 km de long, rencontre ses deux principaux affluents la Bienne et l'Oignin, avant de se jeter dans le Rhône à 20 km de Lyon.

Si les apports en eau de l'Ain sont abondants ils restent néanmoins irréguliers : des crues courtes et soudaines succèdent à de profonds étiages (période de basses eaux). La création du réservoir d'accumulation de Vouglans pour la production d'électricité a permis une certaine régulation de la rivière.

Avec une longueur de plus de 30 km, une largeur de 300 à 800 m et une capacité de 600 millions de m³, le barrage de Vouglans est la 3^e plus grande retenue d'eau de France.

Associé aux ouvrages hydroélectriques en aval, il permet de mettre à la disposition du réseau électrique national plus de 400 000 kW en moins de 5 minutes, soit 1,5 fois la puissance nécessaire à l'alimentation électrique domestique du département du Jura en hiver.

Chiffres clés

- 6 centrales hydroélectriques
- 5 000 démarrages par an
- 400 000 kW disponibles en moins de 5 minutes
- Vouglans :
 - + plus de 100 m de haut
 - 600 millions de m³
 - 3^e plus grande retenue d'eau de France



Des ouvrages exploités en toute sûreté

Les barrages ne sont pas des blocs rigides : ils «vivent» en s'adaptant aux variations de la température ou de la hauteur d'eau présente dans la retenue. C'est pourquoi ils font l'objet d'une surveillance de tous les instants. A Vouglans, plus d'un millier de capteurs mesurent en temps réel les déplacements, les débits et les pressions subis par le barrage.

Parallèlement, les équipes en charge de la maintenance effectuent un entretien régulier des installations, garantissant ainsi leur bon fonctionnement.

Les barrages sont équipés de vannes qui permettent d'évacuer les crues. A Vouglans, l'eau qui s'écoule depuis la crête du barrage déverse 100 m plus bas dans un bassin d'amortissement en aval, conçu pour dissiper l'énergie correspondante grâce à un fond en béton armé ancré dans le rocher.

La Bienne, principal affluent de l'Ain amont

Vouglans

- Mise en service en 1968
- 3 turbines «Francis»
- 1 groupe turbo-pompe
- Puissance maximum : 285 MW
- Débit maximal : 323 m³/s
- Volume utile de la retenue : 420 millions de m³



Saut Mortier

- Mise en service en 1968
- 2 turbines «Kaplan»
- Puissance maximum : 44 MW
- Débit maximal : 220 m³/s
- Volume utile de la retenue : 1,3 million de m³

Cize-Bolozon

- Mise en service en 1931
- 2 turbines «hélices» et 1 turbine «Kaplan»
- Puissance maximum : 23 MW
- Débit maximal : 190 m³/s
- Volume utile de la retenue : 3,3 millions de m³



Coiselet

- Mise en service en 1970
- 2 turbines «Kaplan»
- Puissance maximum : 41 MW
- Débit maximal : 240 m³/s
- Volume utile de la retenue : 3,7 millions de m³

Allement

- Mise en service en 1960
- 2 turbines «Kaplan»
- 1 groupe de restitution «Kaplan» (pour délivrer le débit réservé)
- Puissance maximum : 32 MW
- Débit maximal : 220 m³/s
- Volume utile de la retenue : 2 millions de m³



Moux-Charmines

- Mise en service en 1950
- 2 turbines «Francis»
- Puissance maximum : 26 MW
- Débit maximal : 34 m³/s
- Volume utile de la retenue : 4,4 millions de m³

Figure 1 – Localisation et présentation du secteur d'étude

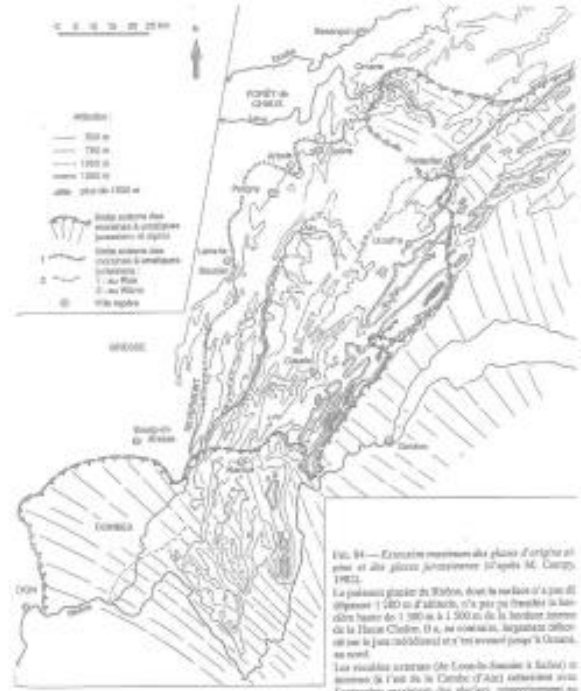


Fig. 84 — Extension maximale des glaciers d'origine alpine et des glaciers d'origine alpine (M. Comby, 1982).
 La plaine glaciaire de Bienne, avec le relief d'a pied de glacier (1 500 m d'altitude), n'a pas pu franchir la barrière haute de 1 300 m à 1 500 m de la bordure interne de la Haute Cluse. Il a, au contraire, agencé un relief qui se prolonge jusqu'à l'aval de la Cluse, au nord.
 Les vallées actuelles (de Lavey-la-Buisse à Sallaz) se trouvent à l'est de la Cluse (d'Alc) séparées avec l'extension maximale des glaciers, respectivement de 100 m et 150 m.

- Caractères géographiques :**
- surf. hv tops – 730 km² et réseau hydro. – 250 km
 - L = 62 km
 - Lithologie : calcaires + formations morainiques, fluvio-glaciaires et alluvionnaires.
 - Module ~ 31 m³ s⁻¹
 - Qmax = 822 m³ s⁻¹
 - Style fluvial : linéaire à sinueux encaissé (canyons) / méandres encaissés / méandres contraints
- Anthropisation :**
- Flottage (déroctages, resserrément...)
 - Industrialisation (lignes, seuils, moulins, dérivations...)
 - Le rail (correction terrestre, talus d'éboulissement...)
 - L'hydroélectricité.
 - Les extractions.



Amont de Moresz



Aménagements dans le secteur de Moresz (affluent de la Bienne)





Les gorges à l'aval de Morez...



Roche Blanche

Saint-Claude



Seuil de Molinges



Vaux les Saint Claude (A gauche, le Gour aux Moines – En haut)



Lavans les Saint Claude



Pont de Chassal



L'Héria (Erosion de terrasse en haut – Confluent à droite)



La Bienne (Erosion de terrasse à gauche – secteur aval de l'Héria à droite)



Confluence (en haut à droite à Dortan + lors de la vidange en 2007)



Barrage de Coiselet lors de la vidange en 2007



Figure 25 - Potentialités de divagation latérale de la basse Bienne

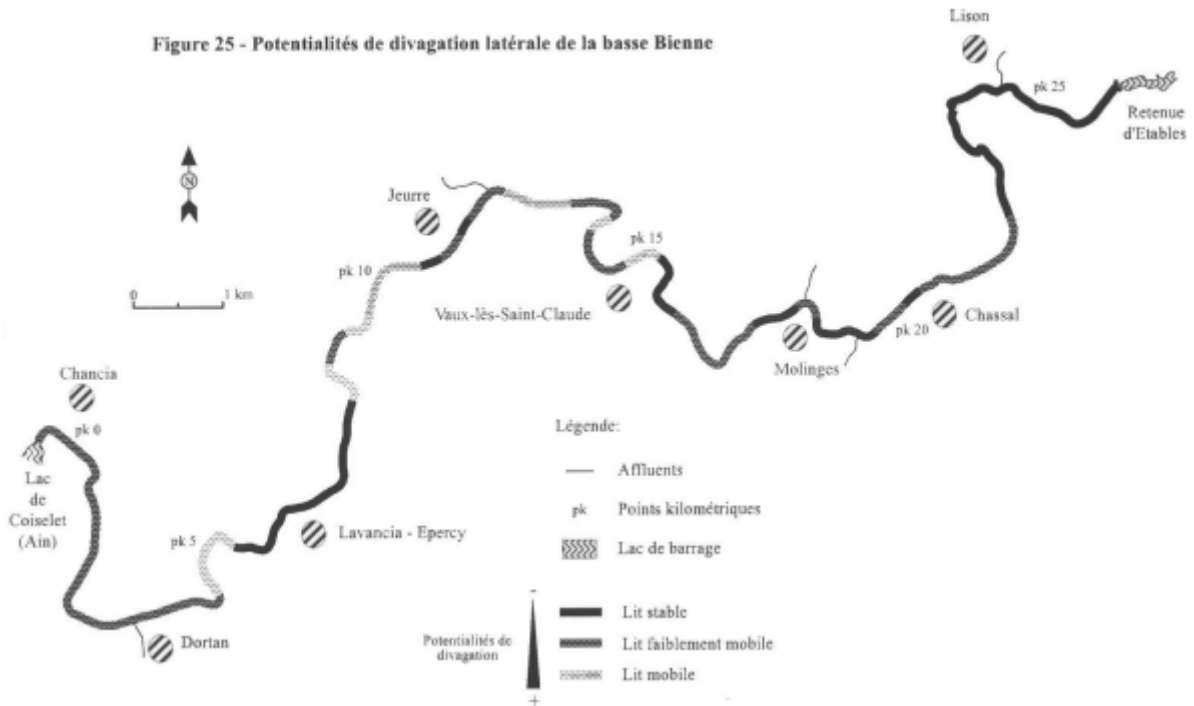
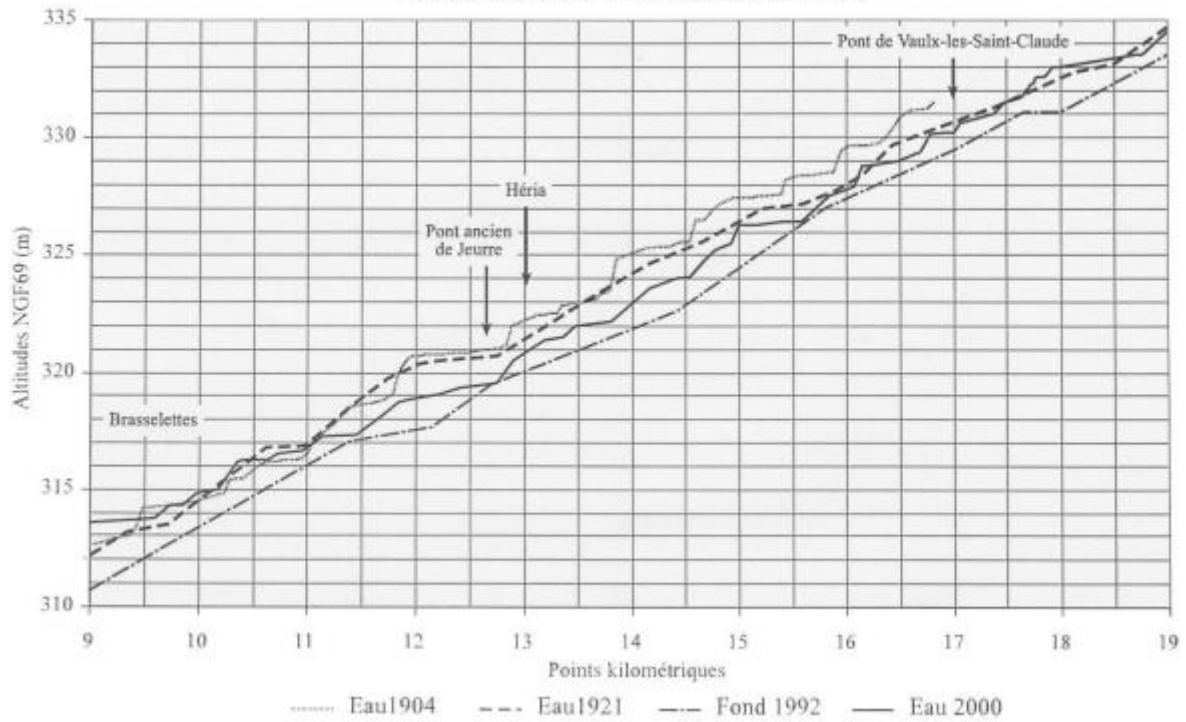


Figure 7b - Evolution du profil en long de la Bienne entre 1921 et 2000
Secteur Brasselettes -Vaux-les-Saint-Claude



Dynamique de production sédimentaire du bassin

- Nombre d'unités de recharge (% du nombre total)
- Surface cumulée (% du total des surfaces d'érosion)

Degré d'activité de la forme d'érosion

- Très importante
- Importante
- Faible

Degré de connection de la forme d'érosion au cours d'eau

- Connecté
- Partiellement connecté
- Non connecté

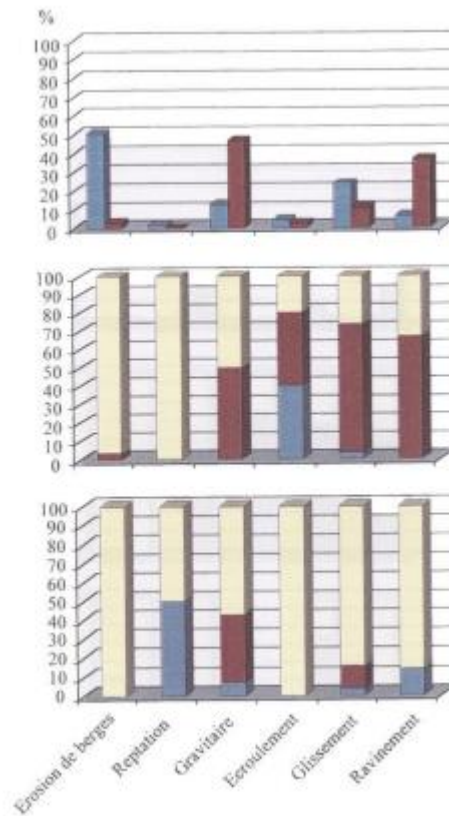
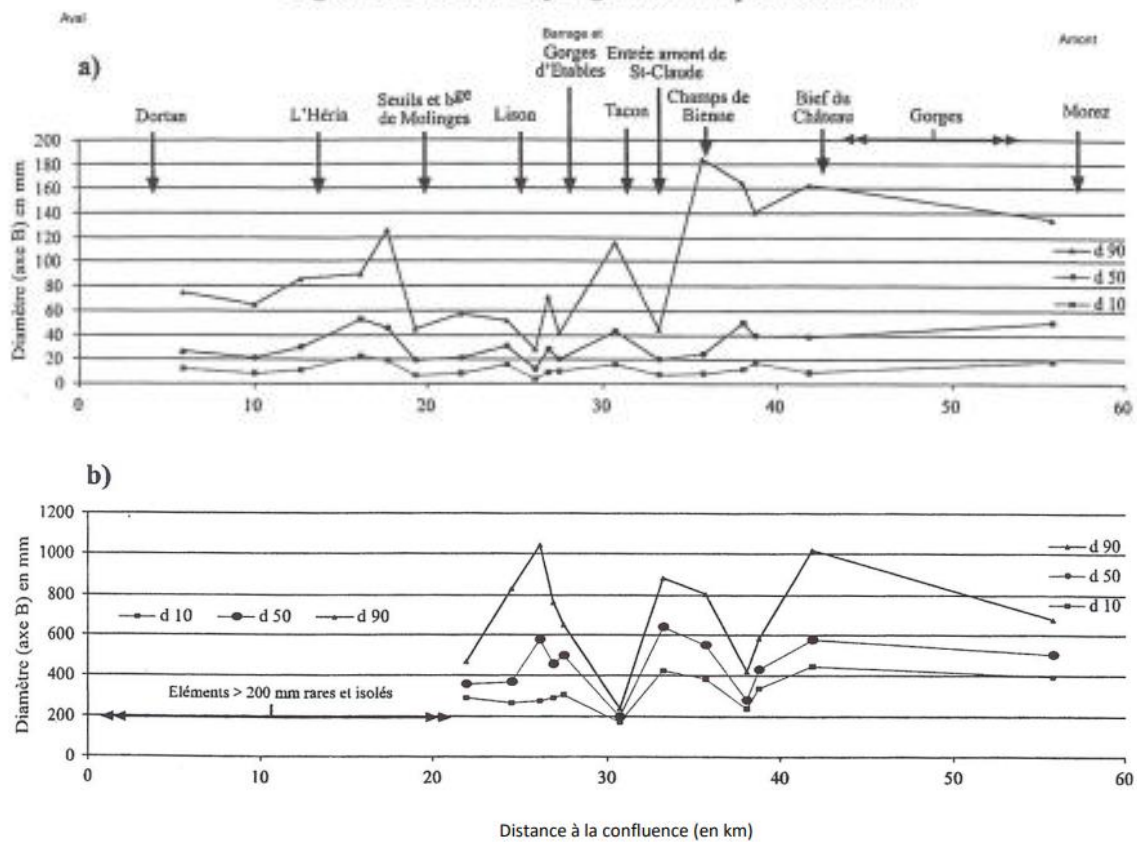


Figure 25 - Caractéristiques granulométriques de la Bienne



Température et échanges nappe-rivière : caractérisation hydromorphologique et interprétation biologique.

Baptiste Marteau, UMR6554 – LETG, Université Rennes 2

La température des cours d'eau est un paramètre qui intéresse et préoccupe un grand nombre d'acteurs de l'eau puisqu'il se situe à l'interface des deux grandes crises que nous traversons : il répond à l'échauffement globale de la planète et conditionne le maintien de la biodiversité aquatique. Cet échauffement, qui est visible depuis le début du XX^e siècle dans certains bassins, atteint 1°C/décennie pour certaines rivières du Massif Central ou du Limousin (Moatar & Gailhard, 2006). Les projections à l'échelle globale pour les décennies à venir font aussi état d'une augmentation qui pourrait se situer entre +1,5 et +5°C d'ici 2050 selon les modèles (ex. Seyedhashemi *et al.*, 2023). Une telle augmentation aurait des conséquences importantes, non seulement pour les communautés aquatiques et le fonctionnement des hydrosystèmes, mais également pour les activités humaines et économiques qui y sont liées.

Le lien entre la température des rivières et les organismes qui les peuplent est clairement établi dans la littérature et dans les connaissances vernaculaires. Par exemple, les notions de biotypologies (ex. Verneaux, 1976) qui décrivent les gradients des peuplements le long des continums fluviaux et qui sont le résultat des différentes sensibilités et tolérances thermiques développées par les espèces sont bien assimilés par les acteurs. Pourtant, à l'inverse de certaines pollutions ou perturbations particulières, il n'existe pas d'indice hydrobiologique traduisant les perturbations thermiques de nos rivières (Marteau *et al.*, 2022). De plus, l'existence de variations importantes des conditions thermiques à des échelles spatiales plus restreintes (niveau tronçon, méso ou micro-habitat, ex. Wawrzyniak *et al.*, 2016) est bien moins connue car encore peu documentée. Le rôle potentiellement primordial que jouent ces conditions thermiques variées est pourtant de plus en plus documenté dans la littérature, comme par exemple celui qualifié de « refuge thermique » qui permet aux espèces thermorégulatrices de s'isoler dans des conditions plus clémentes lors de pics de température (Dugdale *et al.*, 2016; Sullivan *et al.*, 2021). Cette hétérogénéité spatiale des conditions de température, qui sera amenée à augmenter avec les changements climatiques (Isaak *et al.*, 2012; Kanno *et al.*, 2014), est régulièrement citée comme l'une des clés pour préserver la biodiversité aquatique dans les années à venir (Kurylyk *et al.*, 2015; Mejia *et al.*, 2023).

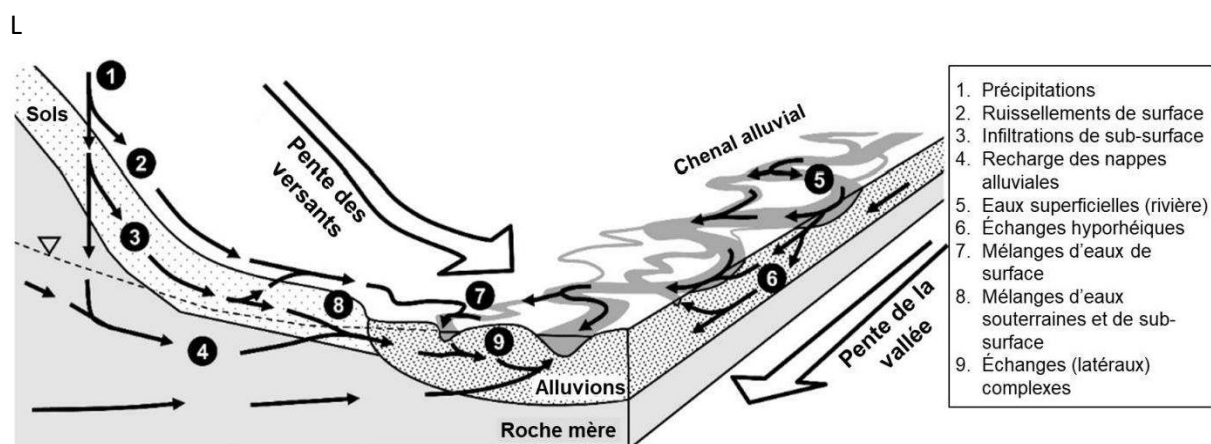


Figure : Illustration de l'hétérogénéité thermique spatiale des cours d'eau à l'échelle du corridor fluvial, issue des interactions entre eaux de surface, eaux de sub-surface et eaux souterraines (traduite et modifiée de Poole (2010)).

La répartition spatiale des températures (du paysage fluvial à la macro-forme) répond généralement à des paramètres hydromorphologiques et hydrogéologiques () qu'il est crucial de prendre en compte lorsque l'on s'intéresse aux habitats et à la biodiversité en rivière. La place des géomorphologues est donc légitime dans l'étude de la distribution spatiale des températures. Celle-ci peut être mesurée à différentes échelles, en fonction des systèmes et des questions ou enjeux d'intérêt (Marteau *et al.*, 2023), et mobilise un certain nombre d'outils, méthodes et compétences propres à la géographie. Parmi les outils à disposition, la cartographie thermique par télédétection est régulièrement utilisée pour caractériser cette hétérogénéité spatiale (Handcock *et al.*, 2012) avec des méthodes (ex. capteur, vecteur, conditions d'usage) modulables selon les systèmes étudiés (Dugdale, 2016). Elle permet de déterminer précisément la température de l'eau à un endroit donné et d'identifier les secteurs qui seraient plus chauds et/ou plus froids que la masse d'eau générale pour en déterminer les sources. Outre l'apport de connaissances sur le fonctionnement du système, en particulier sur les échanges nappe-rivière et avec la zone hyporhéique, ces données permettent une interprétation biologique et écologique sur les conditions d'habitat thermique pour les espèces cibles.

Les exemples qui seront présentés lors de cette journée illustrent ce lien entre apport de connaissances hydromorphologiques fonctionnelles et éléments d'interprétation biologique, ici en lien avec les conditions de préférence thermique de la truite commune (*salmo trutta*).

Caractérisation des conditions d'habitats thermiques pour les salmonidés sur la Bienne

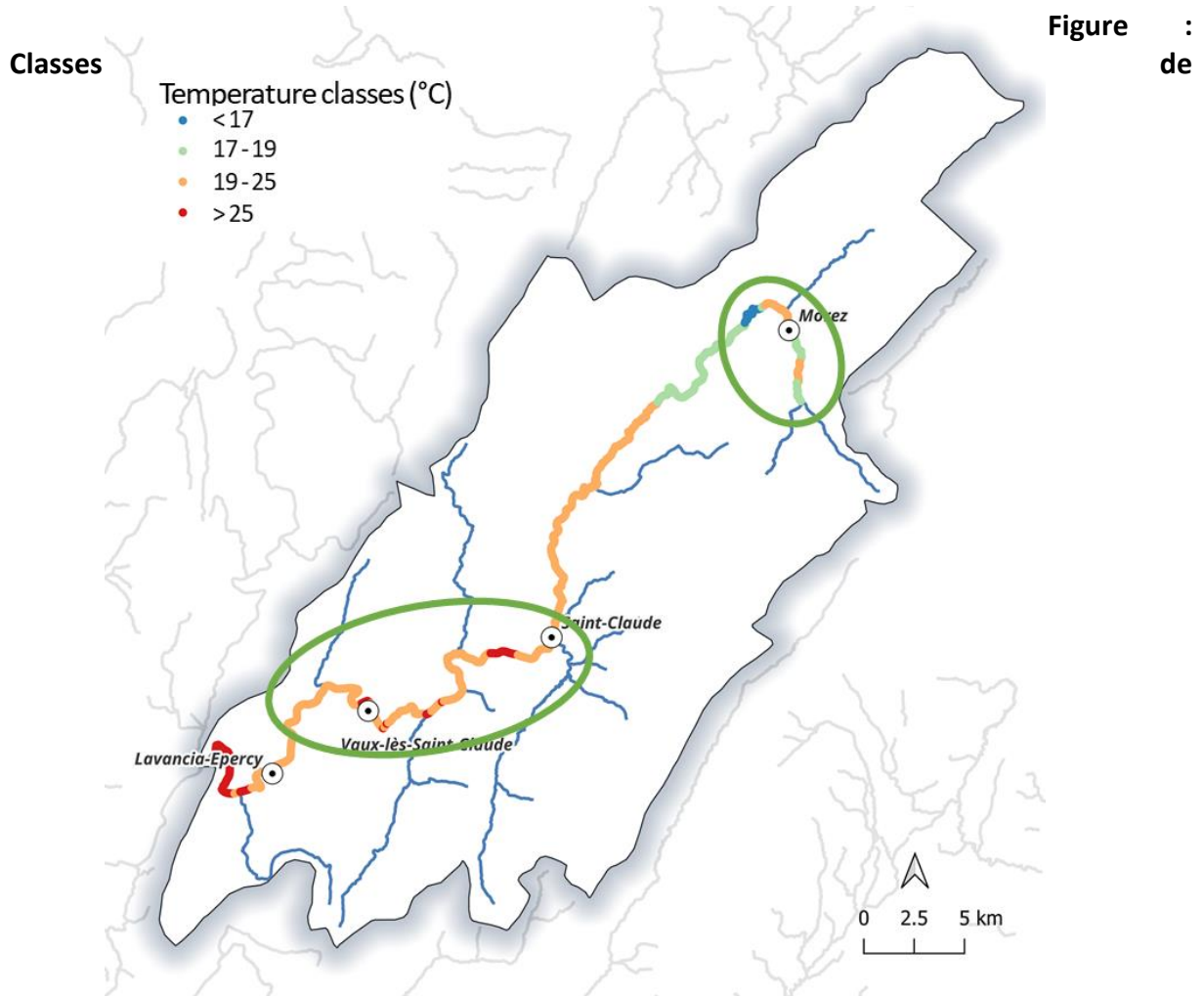
Cette campagne de cartographie thermique de la Bienne a été pilotée par le Parc Naturel Régional du Haut-Jura et faisait partie d'un projet plus large, visant à *Connaître et restaurer les rôles de diffusion des poches de biodiversité au sein de la trame turquoise sur la Bienne* et qui intégrait 3 autres volets sur la biodiversité ichtyologique, macrobenthique et avicole. Menée en partenariat avec SCIMABIO Interface, le laboratoire EVS (Lyon) et l'Université de Nottingham, cette campagne de mesure a été réalisée en ULM pendulaire () sur un linéaire de 62 km, depuis l'amont de Morez jusqu'à la retenue de Coiselet, où la Bienne conflue avec l'Ain. Le survol a eu lieu le 21 juillet 2023, dans des conditions d'étiage ($Q < 1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) et de température de l'eau (T° moyenne journalière $> 19^\circ\text{C}$, station aval) observées près de 50 % du temps entre le 1^{er} juillet et le 31 août 2023 (i.e. 26 jours).



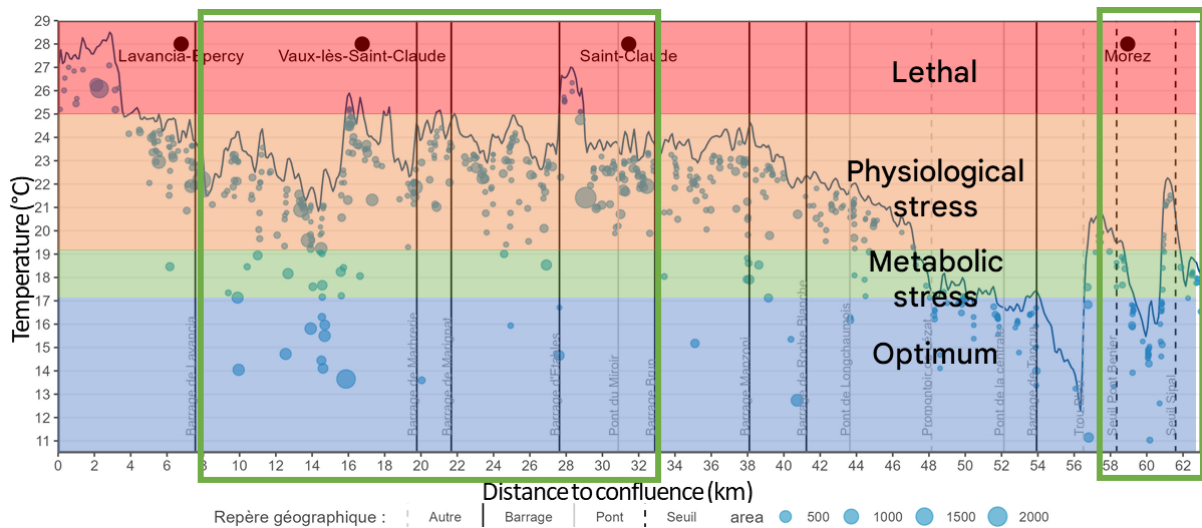
Figure : A) Installation du système d'acquisition sur le flanc de l'ULM pendulaire, avec B) une caméra thermique (gauche) et un appareil photo (droite).

Les résultats obtenus ont été analysés au prisme des préférences thermiques pour la truite commune (*Salmo trutta*), pour laquelle des données de densité (par pêche électrique) et de diversité génétique ont été collectées cette même année. La combinaison de ces données a permis de mettre en avant plusieurs éléments clés pour la conservation de l'espèce et la potentielle restauration des habitats de la rivière :

- les affluents jouent un rôle mineur sur la diversité génétique de l'espèce et ils sont peu nombreux à présenter un régime thermique plus favorable que le cours principal en période estivale ;
- des populations en forte densité et présentant une diversité génétique intéressante ont été retrouvées sur 2 grands secteurs principaux : autour de Morez (amont) et à l'aval de Saint-Claude (aval) ;
- les individus présents à l'aval de Saint-Claude doivent composer avec des températures supérieures au seuil de stress physiologique (19°C) sur de longues distances et pendant une bonne partie de l'été ;
- la présence de taches froides sur ces secteurs échauffés peut attester du rôle potentiel de refuge thermique que jouent ces zones fraîches lors des pics de température dans la Bienne. Leur taille et leur différentiel thermique peut théoriquement permettre d'accueillir un certain nombre d'individus et d'espèces lors d'épisodes critiques.



Température observées lors de la campagne IRTa et identification des secteurs à enjeux pour les peuplements de truite commune sur le bassin de la Bienne.



Profil longitudinal de température et distribution des taches froides observées sur la Bienne lors de la campagne IRTa de 2022. Les bandes de couleur font référence aux seuils de préférence thermique issus de la littérature. Les encadrés verts correspondent aux zones entourées en vert sur la Figure ci-dessus.

Cette étude a permis de lister un certain nombre de propositions aux gestionnaires du bassin la Bienne :

- des secteurs où l'habitat physique est pauvre (extraction de granulats historiques) mais la diversité génétique (notamment de souches natives) s'est maintenue devraient faire l'objet d'actions de restauration prioritaires ;
- les affluents sont peu à même de fournir des zones refuges, l'accent doit donc être mis sur la restauration de la connectivité longitudinale pour décloisonner les secteurs d'habitat des zones de refuges thermiques potentiels ;
- mieux caractériser le phénomène d'îlot de chaleur urbain qui a été observé à la traversée de Morez (amont) pour pouvoir remédier à ses conséquences potentielles sur la température de la rivière ;
- la présence d'individus sur des secteurs très échauffés à l'aval atteste de la nécessité de préserver et conserver les taches froides, illustration des échanges nappe/karst vers la rivière, pour le maintien de conditions thermiques viables pour la truite commune en période estivale. Cela passera par le maintien de niveaux de nappes suffisants en limitant les pompages, voire en restituant l'eau de certaines sources karstiques à la rivière ;
- enfin, certains tronçons très ouverts peuvent faire l'objet de restauration de la ripisylve par la plantation d'arbres afin de limiter les rayonnements solaires directs et ainsi atténuer (voire arrêter) l'échauffement estival sur ces secteurs à risque.

L'ensemble des résultats a été synthétisé dans un rapport (Caudron et al., 2024) et présenté à l'ensemble des personnes impliquées et intéressées par la gestion du bassin de la Bienne lors d'une journée de conférence le 6 juin 2024.

Liste des références :

- Caudron, A., Marteau, B., & Dugdale, S. J. (2024). *Connaître et restaurer les rôles de diffusion des poches de biodiversité au sein de la trame turquoise sur l'ensemble du bassin de la Bienne – Rapport final 4 Volet Cartographie thermique par IRT-a et régime thermique de la Bienne*. PNR du Haut-Jura, 74p.
- Dugdale, S. J. (2016). A practitioner's guide to thermal infrared remote sensing of rivers and streams : Recent advances, precautions and considerations. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 3(2), 251-268.
- Dugdale, S. J., Franssen, J., Corey, E., Bergeron, N. E., Lapointe, M., & Cunjak, R. A. (2016). Main stem movement of Atlantic salmon parr in response to high river temperature. *Ecology of Freshwater Fish*, 25(3), 429-445.
- Handcock, R. N., Torgersen, C. E., Cherkauer, K. A., Gillespie, A. R., Tockner, K., Faux, R. N., & Tan, J. (2012). *Thermal Infrared Remote Sensing of Water Temperature in Riverine Landscapes*. In P. E. Carbonneau & H. Piégay (Éds.), *Fluvial Remote Sensing for Science and Management*. John Wiley & Sons, Ltd., p. 85-113,

- Isaak, D. J., Wollrab, S., Horan, D., & Chandler, G. (2012). Climate change effects on stream and river temperatures across the northwest U.S. from 1980-2009 and implications for salmonid fishes. *Climatic Change*, 113(2), 499-524.
- Kanno, Y., Vokoun, J. C., & Letcher, B. H. (2014). Paired stream-air temperature measurements reveal fine-scale thermal heterogeneity within headwater brook trout stream networks : Paired stream-air temperature modelling. *River Research and Applications*, 30(6), 745-755.
- Kurylyk, B. L., Macquarrie, K. T. B., Linnansaari, T., Cunjak, R. A., & Curry, R. A. (2015). Preserving, augmenting, and creating cold-water thermal refugia in rivers : Concepts derived from research on the Miramichi River, New Brunswick (Canada). *Ecohydrology*, 8(6), 1095-1108.
- Marteau, B., Piégay, H., Chandesris, A., Michel, K., & Vaudor, L. (2022). Riparian shading mitigates warming but cannot revert thermal alteration caused by impoundments in lowland rivers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 47(9), 2209-2229.
- Marteau, B., Piégay, H., & Moatar, F. (2023). *L'infrarouge thermique aéroporté, un outil de connaissance des rivières face au changement climatique : Guide méthodologique et recommandations*. Agence de l'eau RMC, ZABR, 84p.
- Mejia, F. H., Ouellet, V., Briggs, M. A., Carlson, S. M., Casas-Mulet, R., Chapman, M., Collins, M. J., Dugdale, S. J., Ebersole, J. L., Frechette, D. M., Fullerton, A. H., Gillis, C.-A., Johnson, Z. C., Kelleher, C. A., Kurylyk, B. L., Lave, R., Letcher, B. H., Myrvold, K. M., Nadeau, T.-L., ... Torgersen, C. E. (2023). Closing the gap between science and management of cold-water refuges in rivers. *Global Change Biology*, 29, 5482-5508.
- Moatar, F., & Gailhard, J. (2006). Water temperature behaviour in the River Loire since 1976 and 1881. *Comptes Rendus - Geoscience*, 338(5), 319-328.
- Poole, G. C. (2010). Stream hydrogeomorphology as a physical science basis for advances in stream ecology. *Journal of the North American Benthological Society*, 29(1), 12-25.
- Syedhashemi, H., Moatar, F., Vidal, J.-P., & Thiéry, D. (2023). Past and future discharge and stream temperature at high spatial resolution in a large European basin (Loire basin, France). *Earth System Science Data*, 15(7), 2827-2839.
- Sullivan, C. J., Vokoun, J. C., Helton, A. M., Briggs, M. A., & Kurylyk, B. L. (2021). An ecohydrological typology for thermal refuges in streams and rivers. *Ecohydrology*, 14(5), 1-15.
- Verneaux, J. (1976). Biotypologie de l'écosystème eau courante. La structure biotypologique. *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série D. Sciences naturelles*, 283(15), 1663-1666.
- Wawrzyniak, V., Piégay, H., Allemand, P., Vaudor, L., Goma, R., & Grandjean, P. (2016). Effects of geomorphology and groundwater level on the spatio-temporal variability of riverine cold water patches assessed using thermal infrared (TIR) remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 175, 337-348.

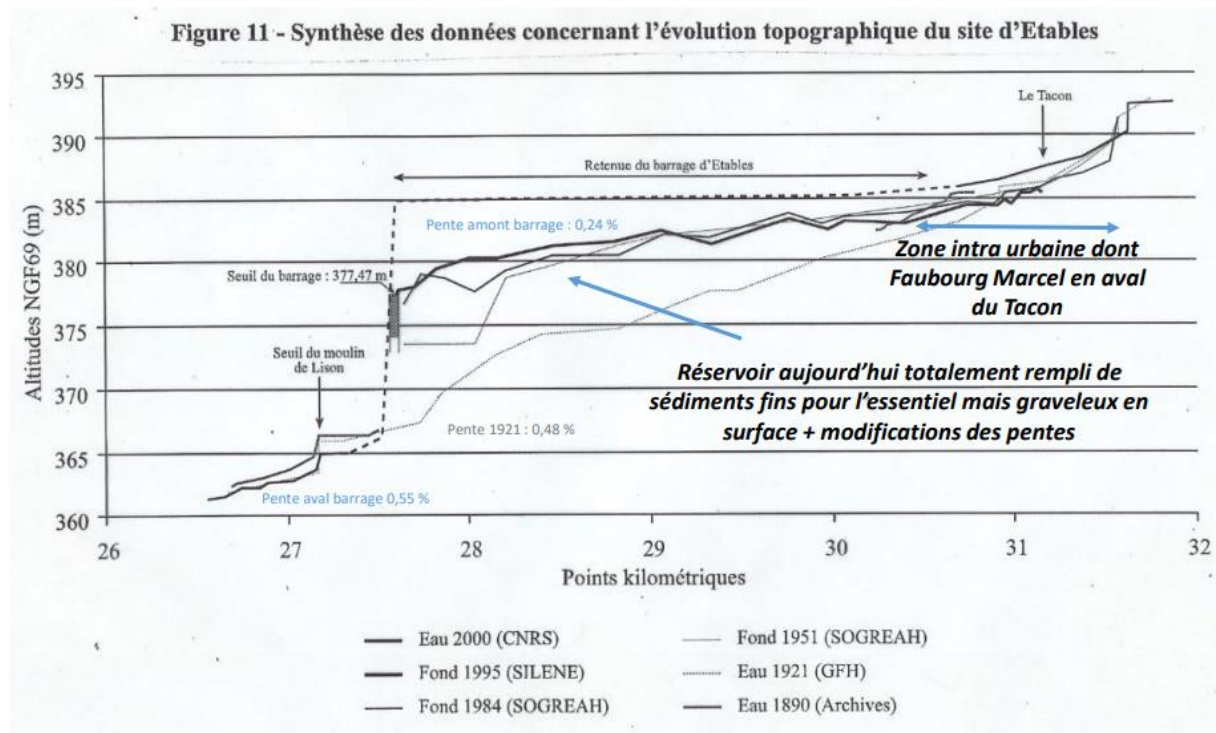
Barrage et transit sédimentaire intra-muros sur le site de Saint-Claude

Barrage d'Etalles (mis en service 1932)



Vidange (1995)

- Un réservoir qui se sédimente, jusq'en intra-muros...





Saint-Claude : crue de 1910



30 mars 2015



PNR Haut-Jura

UNIVERSITÉ
LUMIÈRE
LYON 2



Etude pour la restauration de la continuité hydro-sédimentaire dans la traversée de Saint-Claude (Master Sciences de l'eau)

Norbert LANDON

*Université de Lyon, CNRS,
Université Lumière – Lyon 2, UMR5600 EVS*

Chef de projet (EC Hydro-géomorphologie)

Jérôme Lejot (EC¹),

SIG, contrôle et aide technique pour la restitution graphique des informations.

Oldrich Navratil (EC),

Aide technique pour l'analyse en hydraulique et transport solide

Franck Perret (IE)

Aide technique, développement des capteurs et suivi instrumentation

Léna Leduc (IP), Adrien Barra (IE), Vincent Gaertner (AI)

Aide technique, accompagnement des suivis, encadrement des étudiants

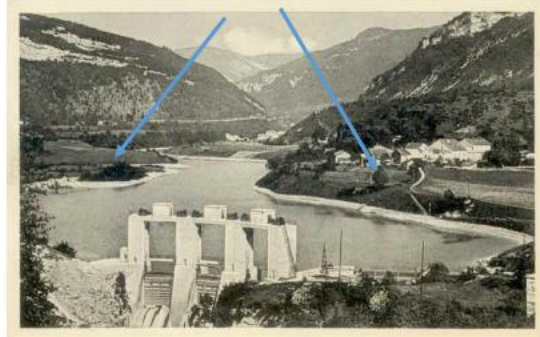
Réunion du 5/12/2023 – Visio

¹ EC = Enseignant-Chercheur, IE = Ingénieur d'étude, IP = Ingénieure pédagogique, AI = Assistant ingénieur

→ Problématique – Contexte – ce qui est connu...

- Un bassin versant marqué par une diminution de la production de charge (étude N. Landon *et al*, 1998 et 2000)

Marges du réservoir aujourd'hui totalement urbanisées



- Un bassin versant marqué par une rupture ancienne du transit, impliquant le barrage d'Etables...

- Un tronçon aval (Etables-Dortan), marqué par l'incision, une faiblesse des apports latéraux, des problématiques d'habitats piscicoles, dans un contexte de restauration des gravières et connexions latérales (Landon *et al*, 2016-17, + travaux effectués depuis)
- Un secteur intra-urbain de Saint-Claude impacté par l'aménagement aval d'Etables depuis sa mise en service (1932)

→ Etude menée depuis 2018 (phase 1 à 3)

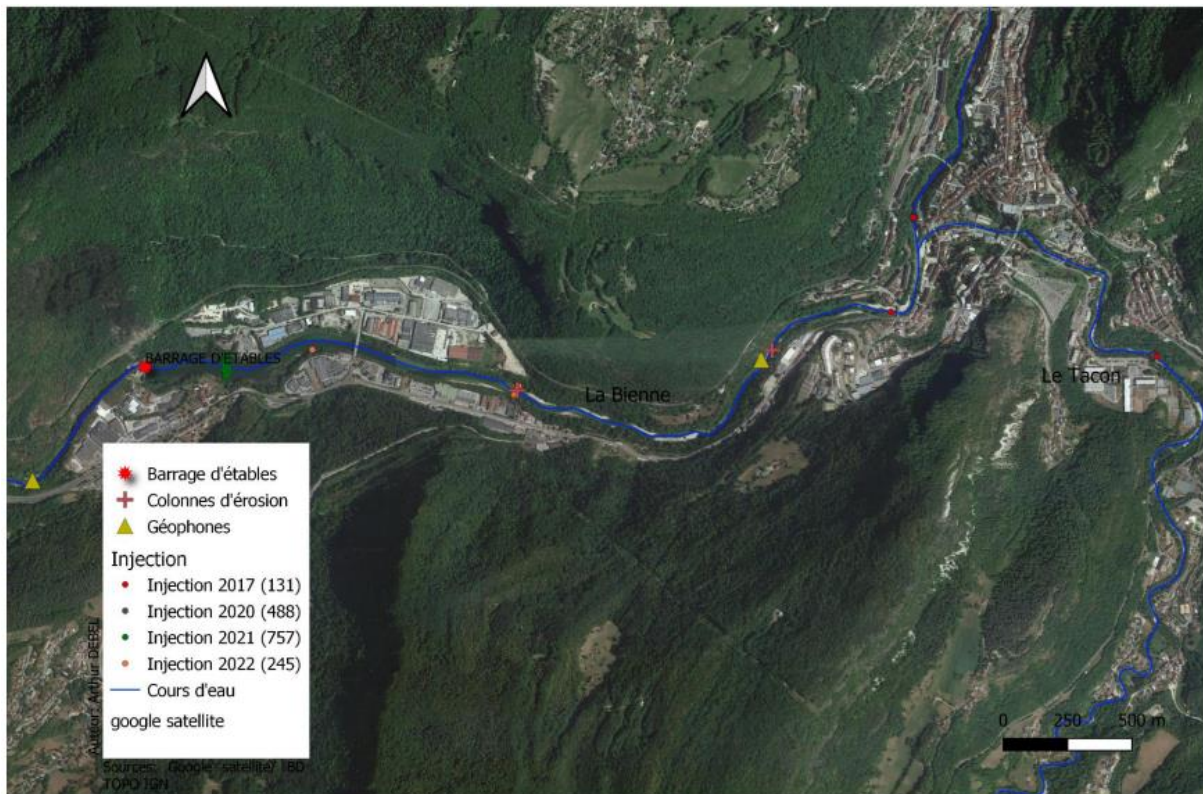
Objectif :

Mieux comprendre la dynamique actuelle des sédiments dans la traversée urbaine de Saint-Claude afin de vérifier les hypothèses de transfert dans le réservoir d'Etables

- **phase 1 (2017-19)** : tests expérimentaux et proposition d'un protocole de suivi pluri-annuel + conforter les connaissances du fonctionnement hydromorpho du secteur (analyse granulo, topo, morpho)
- **phase 2** : mise en place du protocole et suivi (2019-2022)
- **phase 3** : poursuite du protocole de suivi, analyse, rapport final (2023-24)

→ Le protocole (déployé en plusieurs étapes)

- Mise en place de 3 sites d'injection (bienne, Tacon, Réservoir d'étables) + 1 en 2022
- Choix de capteurs transpondeurs passifs et actifs (suivi distance et suivi volumétrique par chaîne d'érosion)
- 2 Géophones (en amont et en aval du barrage)
- Suivi annuel (en lien avec hydrologie = forte contrainte pour les opérateurs)

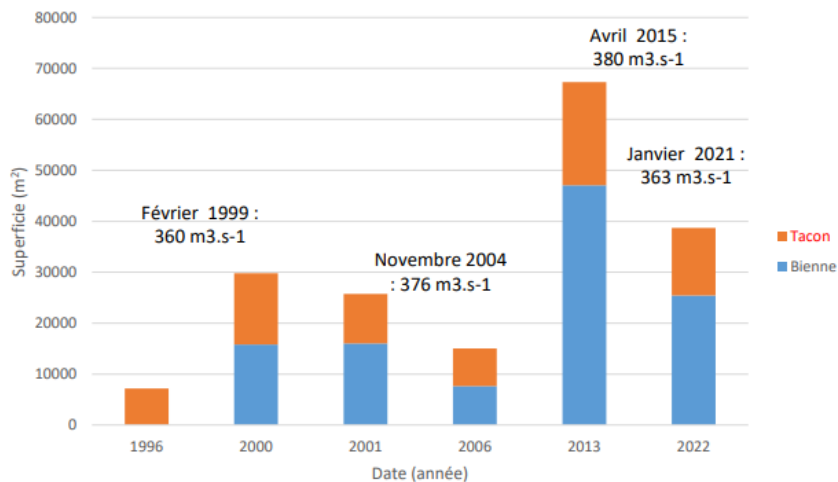


→ La tendance hydro-morphologique

▪ Analyses diachronique de la surface des bancs alluvionnaires

→ En 2022 :

- + 61 % d'augmentation pour la Bienne par rapport à 2000
- + 85 % d'augmentation pour le Tacon par rapport à 1996



→ Lien avec crues les plus importantes ?

- Un réservoir qui évolue vers un style fluvial...
- Style sinueux avec accumulations de convexité et mouilles dans les concavités...



Google earth 18 mai 2022

→ Mieux comprendre la dynamique de transferts des alluvions...

→ Transpondeurs passifs et actifs



Passifs
Test = 132 particules équipées



+ Actifs (artificiel) = 50

→ Transpondeurs passifs (transmetteurs RFID - radio frequency identification)



Prélèvement – perçage en labo et équipement



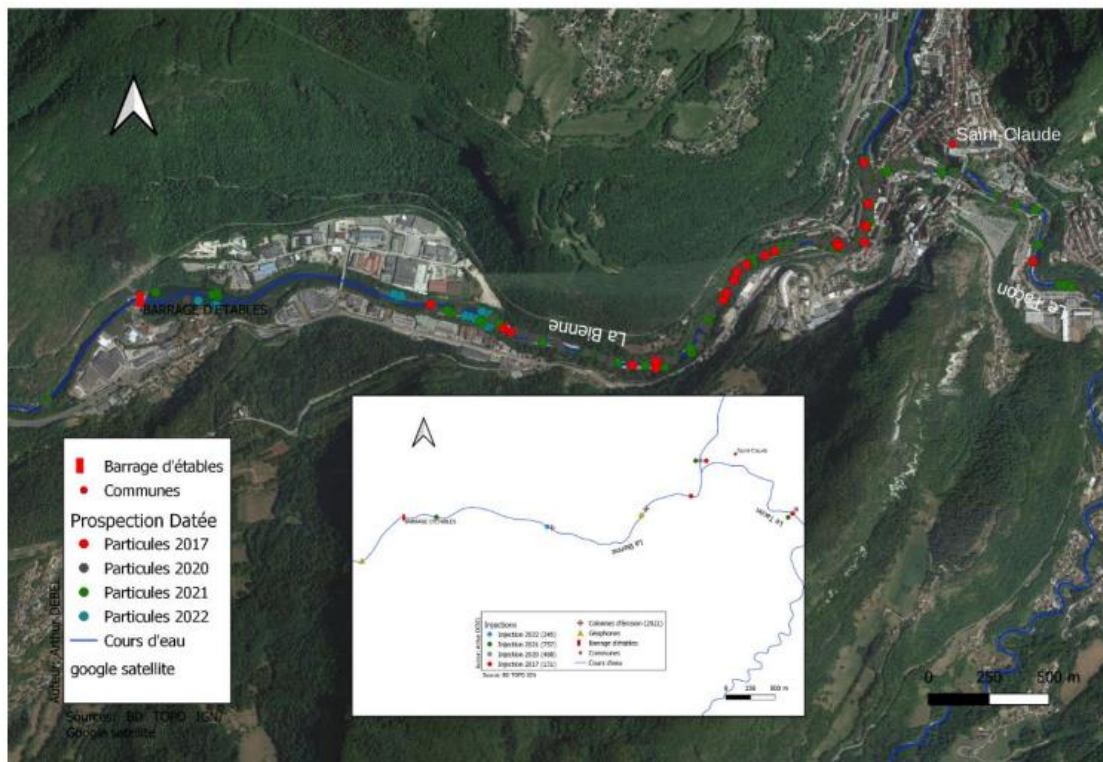
Réinjection - Suivi - détection



+ Géophone



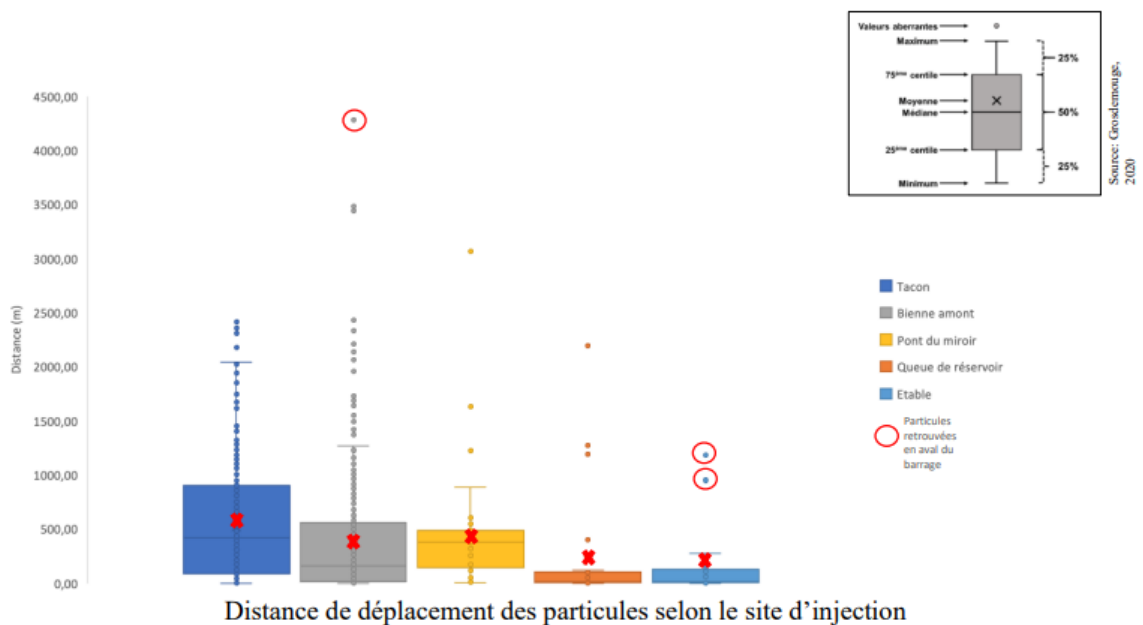
■ Spatialisation du déplacement des particules :



Spacialisation des particules retrouvées lors de la prospection 2023

1

■ Déplacement moyen des particules :

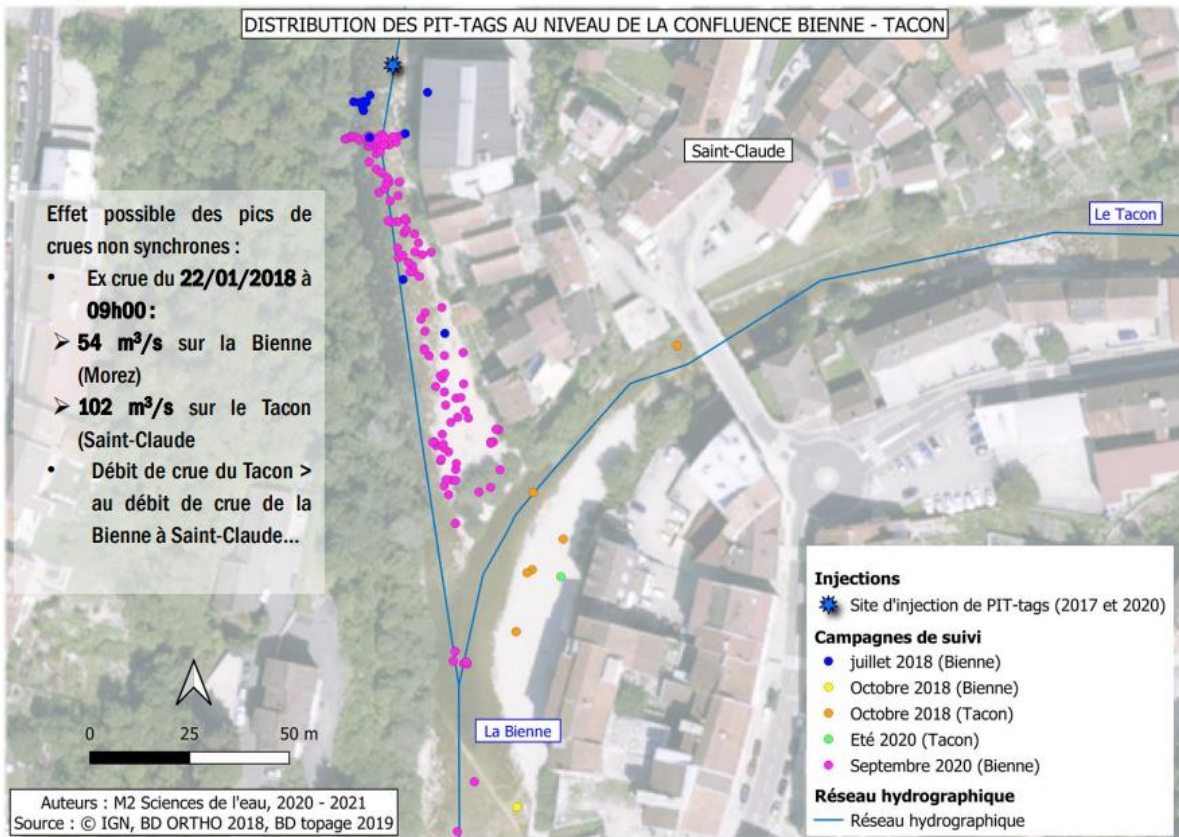


Distance de déplacement des particules selon le site d'injection

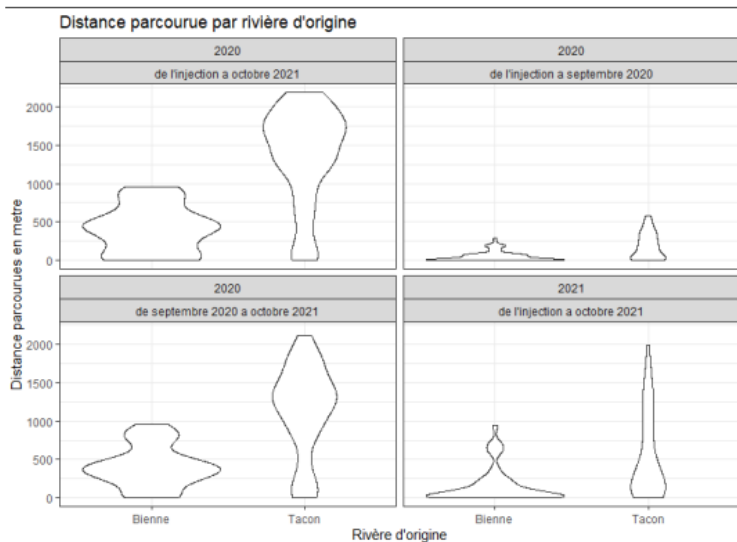
		2018	2020	2021	2022	2023
Distance interannuelle (m)		140,19	167,28	281,93	252,85	200,98
Distance moyenne annuelle (m)		85,57				

Distance de déplacement interannuelle

■ Dynamique à la confluence...



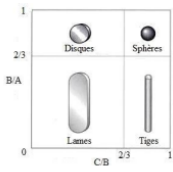
■ Déplacement des particules selon l'origine (Tacon ou Bienne)



→ Dans tous les cas :

- ✓ Une progression des particules Bienne amont ralentie
- ✓ Une progression plus rapide pour les particules du Tacon

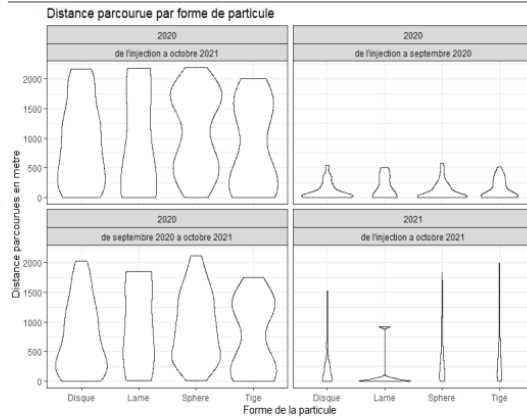
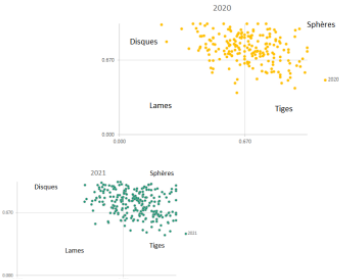
■ Un lien morphologie des particules – distance ?



	Disque	Lame	Sphère	Tige
Bienne	58	18	146	108
Tacon	53	8	130	110

Forme des particules injectées

Répartition des formes des particules retrouvées lors de la prospection d'octobre 2021 et par cohorte

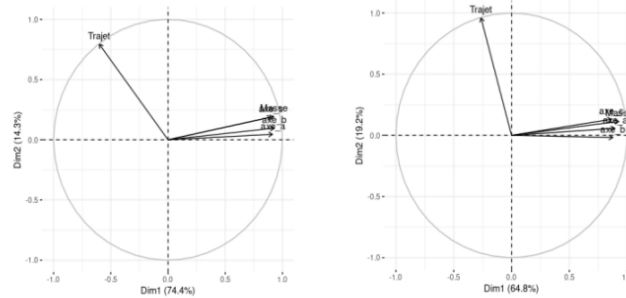


Hypothèses :

- Lit « lisse » : avantages aux particules grossières sphériques et elliptiques (Schmidt et Ergenzinger, 1992 ; M.Cassel., 2017)
- Lit « rugueux » : avantages aux particules plates (disques et lames) (Demir et Walsh, 2005).

18

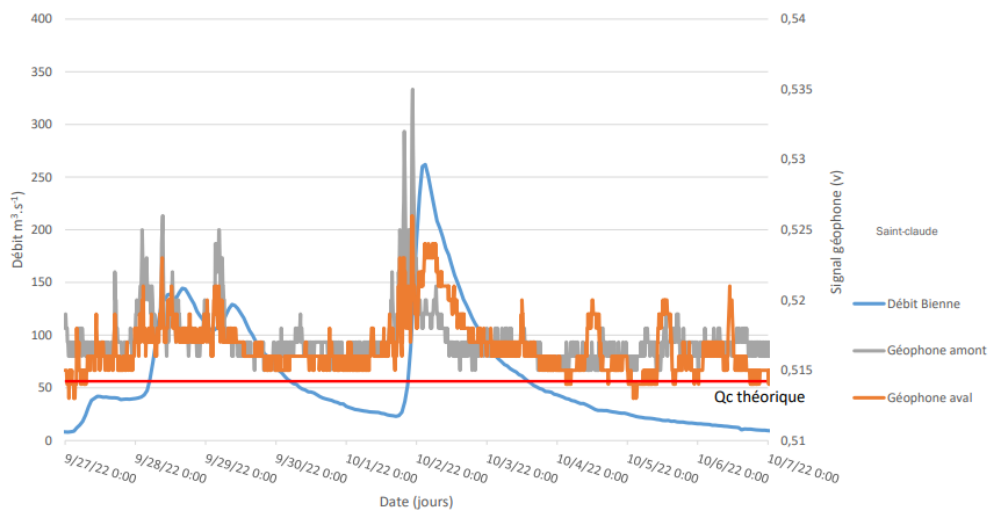
→ Peu importe le cours d'eau, la morphologie des particules n'influe pas sur la distance qu'elles parcourent



Cercle des corrélations entre les variables morphologiques des particules et leurs distances de trajet pour les particules injectées en juillet 2020 et détectées en octobre 2020.

(à gauche : injectées sur la Bienne, à droite : injectées sur le Tacon)

■ Analyses sismiques (les géophones)



Réponse des signaux sismiques aux événements hydrologiques de septembre et octobre 2022

Après-midi :

Restauration des gravières de la basse vallée de la Bienne

Page du site du PNR Haut Jura dédiée à la restauration de la carrière de Jeurre

https://youtu.be/gaTRjt6_Vo

[Restaurer la Bienne à Jeurre - Parc naturel régional du Haut Jura \(parc-haut-jura.fr\)](http://parc-haut-jura.fr)



Jeurre en 1938, des bancs de matériaux actifs et un lit majeur disponible dans son intégralité. Vue aérienne de la Bienne



La Bienne exploitée par l'entreprise Perrier en 1984



Jeurre en 2015, vue aérienne de la Bienne



Rupture de digue en 2021 ©PNRHJ/R.Bellier
Illustration du risque de capture de la Bienne par les gravières lors de la crue de 2021. La Bienne a besoin de place !

Page du site du PNR Haut Jura dédiée à la restauration de la carrière de Lavancia-Epercy

<https://youtu.be/OpN6ZEvSB3Q>

[Restaurer la Bienne à Lavancia - Parc naturel régional du Haut Jura \(parc-haut-jura.fr\)](https://www.parc-haut-jura.fr)



Vue aérienne de la Bienne à Lavancia en 1938, des bancs de matériaux actifs et un lit majeur disponible dans son intégralité : pas d'urbanisation



La Bienne exploitée par l'entreprise Di Lena en 1971 et construction de la digue de Dortan par EDF



1984, la Bienne à Lavancia



La Bienne à Lavancia en 2001 : Une Bienne figée et des fosses d'extraction imposantes dans le paysage

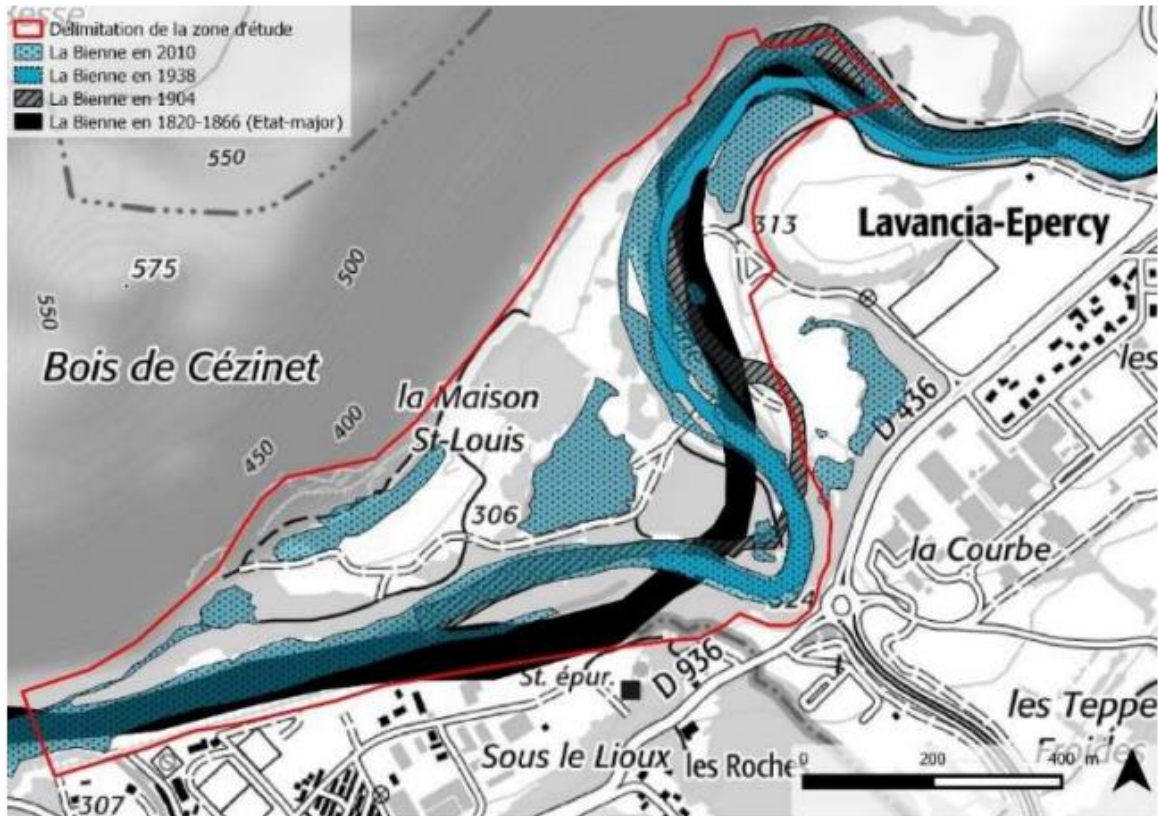


Figure 6 : Espace de mobilité au droit de la carrière de Lavancia

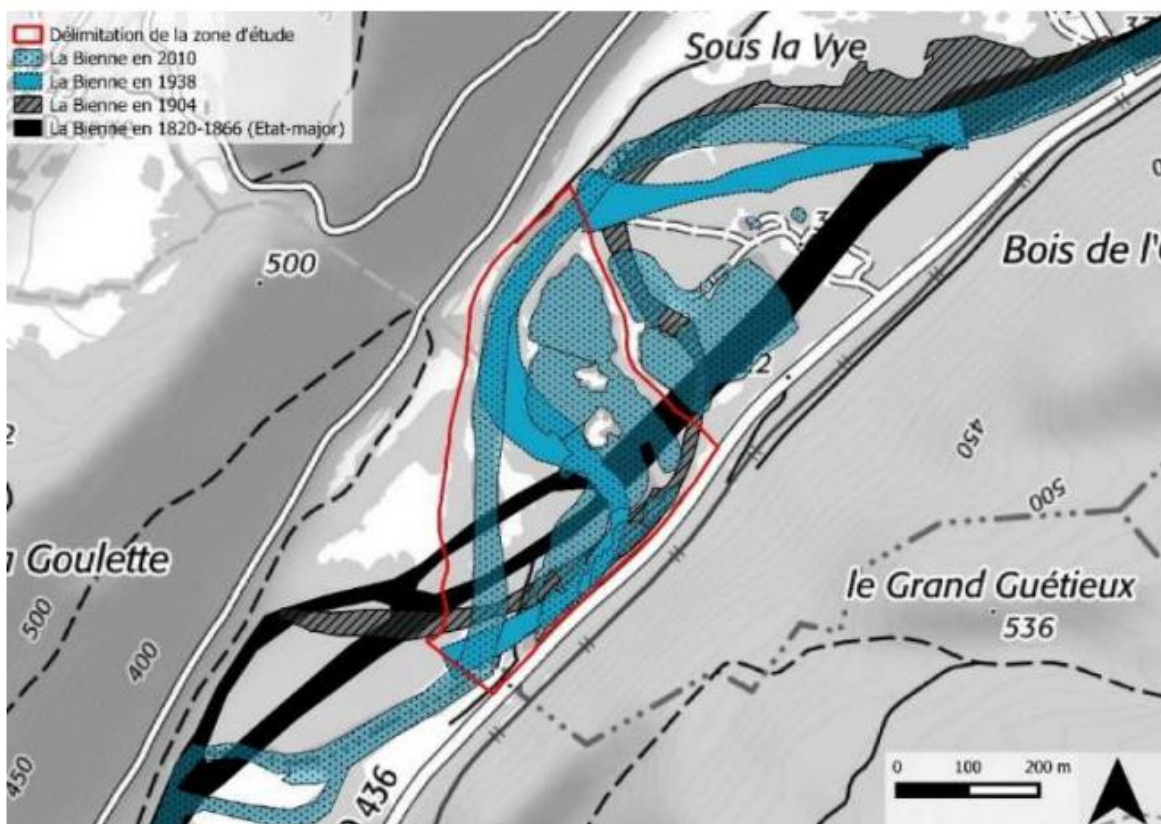


Figure 7 : Espace de mobilité au droit de la carrière de Jeurre



Gestion du transit des sédiments et restauration de carrières alluviales dans un environnement contraint par des barrages de haute-chute : le cas des gravières de Jeurre et Lavancia-Epercy dans le PNR du Haut Jura.

N. Landon⁽¹⁾, O. Navratil⁽¹⁾, J. Lejot⁽¹⁾, M. Raffin⁽¹⁻²⁾, C. Pierrefeu⁽¹⁻²⁾, Y. Quian⁽²⁾, C. Bello-Marin⁽²⁾, A Ait Elabas⁽²⁾, V. Gaertner⁽¹⁾, F. Perret⁽¹⁾

⁽¹⁾ Université de Lyon - Lumière Lyon 2, CNRS UMR5600-EVS – IRG, plateforme OMEAA

⁽²⁾ Master 2 Sciences de l'eau, Universités Lyon 1-2-3, 2016-2017



Introduction

Au sein du PNR du Haut-Jura, sur les communes de Jeurre et de Lavancia-Epercy (Fig.1), une activité d'extraction de granulats s'est développée d'abord dans le lit mineur au début des années 1960, puis en lit majeur. Classiquement, des digues ont été édifiées au cours des extractions pour éviter toute capture de la Bienne par les fosses d'extraction. A l'issue de l'exploitation, en 2010, des travaux permettant de renaturer les fosses d'extraction ont été réalisés (création de connexions entre les fosses, plantation de ripisylve) mais le site n'a jamais réellement été remis en état et l'espace de liberté de la Bienne n'a pas été restauré malgré des préconisations déjà anciennes (Bravard *et al.*, 1998, Landon *et al.*, 2000).

Objectifs de l'étude

Ayant déléguées la compétence gestion des cours d'eau au PNR, les communes ont laissé à celui-ci le soin de conduire en 2016-2017 une étude visant : la réactualisation de l'état hydro-géomorphologique de la basse Bienne, la détermination de l'état écologique des zones concernées par les anciennes gravières et la définition d'un mode de restauration original de ces zones à fort potentiel écologique.

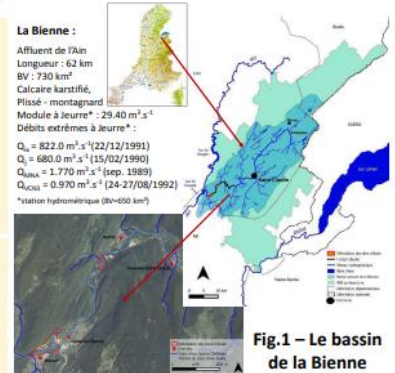


Fig.1 – Le bassin de la Bienne

Méthodes et techniques mises en oeuvre

Alliant approches hydrauliques (modèles 1D-2D sous HEC-RAS), suivis hydrologiques (sondes), diagnostic hydro-géomorphologiques (analyses granulométrique, topométrie LiDAR et bathymétrie), diagnostics biologiques (IBG et autres), enquêtes de perception auprès de la population riveraine et entretiens avec les acteurs, la démarche a été pluridisciplinaire et visait la définition de plusieurs scénarios au niveau d'ambition variable parmi lesquels les partenaires du PNR et ce dernier devaient choisir (3 scénarios par site ont été proposés et malgré les contraintes les plus ambitieux ont été retenus...).

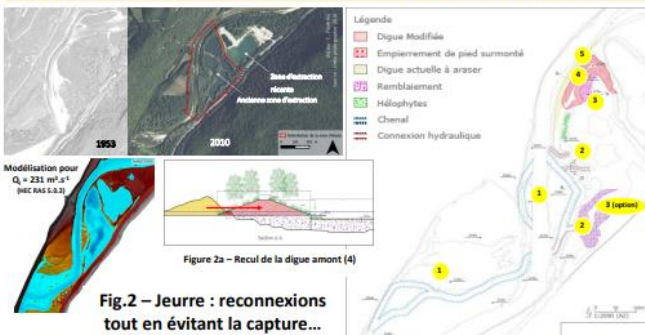


Fig.2 – Jeurre : reconnections tout en évitant la capture...

Restauration du site de Jeurre (Fig.2)

1. Restauration de chenaux secondaires
2. Confortement des connexions hydrauliques cours d'eau - gravière
3. Remblaiement du plan d'eau et création de hauts fonds plantés
4. Recul de la digue amont avec création d'un déversoir
5. Travaux de végétalisation

→ Avantages :

- + Echanges hydrauliques
- + Habitats (rivière et plan eau)
- + Mobilité « contrôlée »
- + Traitement des invasives
- + Gestion des enjeux hydrauliques (route)
- + Valorisation facilitée



Restauration du site de Lavancia-Epercy (Fig.3)

→ Un site à la confluence avec le réservoir du barrage de Coiselet...

Interventions en rive gauche :

1. Effacement de la digue amont et remblaiement total de la gravière
2. Réorganisation des connexions hydrauliques en rive droite :
3. Restauration et création de nouvelles connexions hydrauliques
4. Arasement de digues
5. Travaux de végétalisation
6. Fermeture de connexions à « risque »

→ Avantages :

- + Récupération du flux solide « perdu »
- + Désartificialisation du site
- + Restauration de deux méandres
- + Habitats (rivière et plan eau)
- + Champ d'expansion de crue amélioré et diminution de la pression sur la digue de Dortan

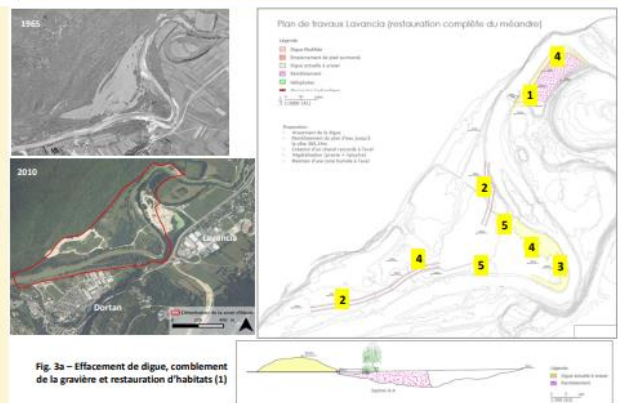


Fig. 3 – Lavancia-Epercy : restauration et capture du flux solide...

Conclusion

Engagés dans un programme de restauration de près de 1,5 M€, PNR et partenaires, ont arrêté des choix ambitieux pleinement ancrés dans les nouvelles logiques de gestion combinant GEMAPI (Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations) et EBF (Espace de Bon Fonctionnement)...

Bibliographie

- Bravard J.-P., Landon N. et Franceschi C., 1998 : Etude géomorphologique de la basse Bienne entre les retenues d'Étables et de Coiselet – 1er volet – Mission d'expertise réalisée sur le bassin de la Bienne pour le compte du Parc Naturel Régional du Haut-Jura, Laboratoire Environnement – Ville – Société, U.M.R. 5600 du C.N.R.S., 108 p.
- Landon N., Bravard J.-P. et Leméhauté N., 2000 : Étude des processus de recharge sédimentaire du bassin versant de la Bienne (Jura) - Sources et transit sédimentaires – 2ème volet : rapport – Mission d'expertise réalisée sur le bassin de la Bienne pour le compte du Parc Naturel Régional du Haut-Jura, Laboratoire Environnement – Ville – Société, U.M.R. 5600 du C.N.R.S., 183 p.

Remerciements



Vendredi 12 juillet : matinée (8h-13h)

Descente en canoë d'un tronçon de la basse vallée (Pont-d'Ain – Gévrieux) à la découverte des impacts, des enjeux et des opérations de restaurations, des suivis scientifiques.

La descente en canoë débutera à Pont d'Ain, dans la partie amont de la basse vallée de l'Ain caractérisée par un déficit sédimentaire. Des arrêts permettront de découvrir les impacts hydromorphologiques et écologiques des barrages et des changements des pratiques agricoles au cours du 20^e siècle. Nous aborderons les programmes de gestion entrepris sur le territoire, à travers notamment des sites de restauration de la dynamique fluviale par recharge sédimentaire et reconnexion d'annexes fluviales, et les suivis scientifiques associés. Après 14 km de descente, nous débarquerons à Gévrieux qui marque l'entrée dans un secteur plus mobile de la basse vallée.

Coordonnées des points d'arrêt (ajustables en fonction des conditions)

Point d'arrêt 1 : 46.031163, 5.314410

Point d'arrêt 2 : 46.016443, 5.309068

Point d'arrêt 3 / Déjeuner Pont de Priay : 46.003443, 5.293886

Point d'arrêt 4 (Banc de Gévrieux) : 45.972299, 5.266982

Bibliographie :

Rollet A. J., 2007. Etude et gestion de la dynamique sédimentaire d'un tronçon fluvial à l'aval d'un barrage : le cas de la Basse Vallée de l'Ain. Thèse de Doctorat de l'Université Lyon 3, 305 p.

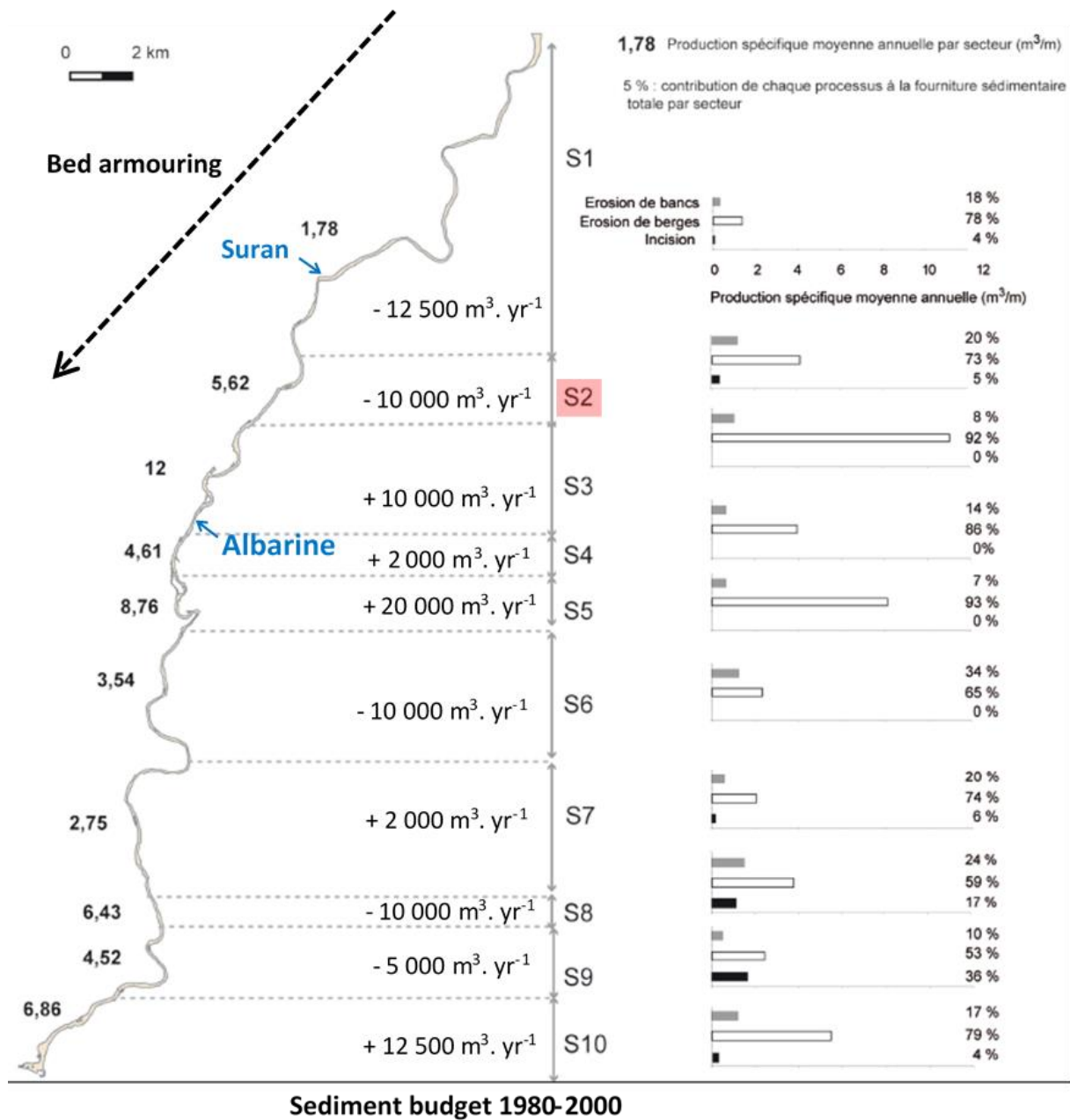
Rollet A. J., Piégay H., Dufour S., Bornette G., Persat H., 2014. Assessment of consequences of sediment deficit on a gravel river bed downstream of dams in restoration perspectives: application of a multicriteria, hierarchical and spatially explicit diagnosis. *River Res. Applic.*, 30: 939–953. <https://doi.org/10.1002/rra.2689>

Rollet A. J., Macvicar B., Piégay H., Roy A., 2008. L'utilisation de transpondeurs passifs pour l'estimation du transport sédimentaire : premiers retours d'expérience. *La Houille Blanche*, 94(4): 110-116. doi: 10.1051/lhb:2008047

Arnaud F., Paquier A., Vázquez-Tarrío D., Camenen B., Le Coz J., Michel K., et al., 2023. Comparing field, probabilistic, and 2D numerical approaches to assess gravel mobility in a gravel-bed river. *Water Resources Research*, 59, e2022WR034127. <https://doi.org/10.1029/2022WR034127>

Illustrations :

Hydromorphic longitudinal sectorization of the lower Ain



Source : Thèse A.J. Rollet, 2007

Les effets de la recharge (Rey *et al.* 2024 ; rapport SR3A)

Les effets de la recharge (Rey *et al.* 2024 ; rapport SR3A)

Les effets de la recharge (Rey *et al.* 2024 ; rapport SR3A)

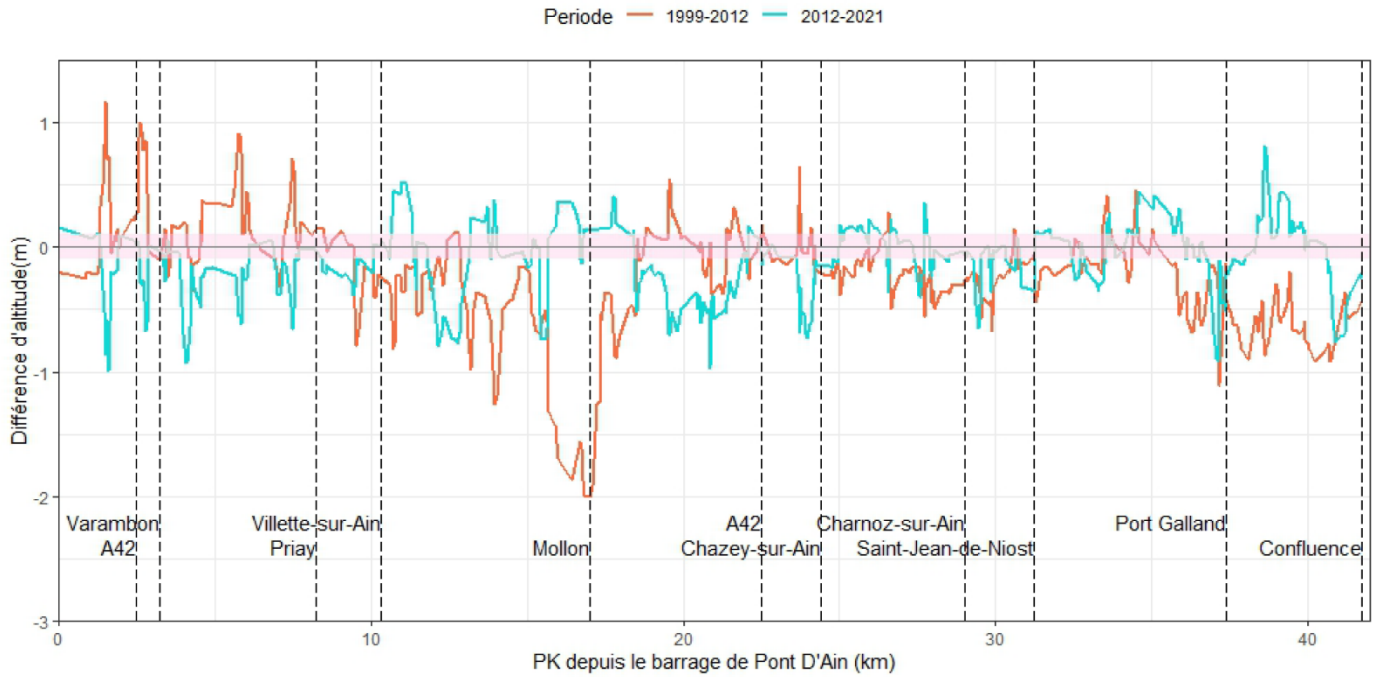
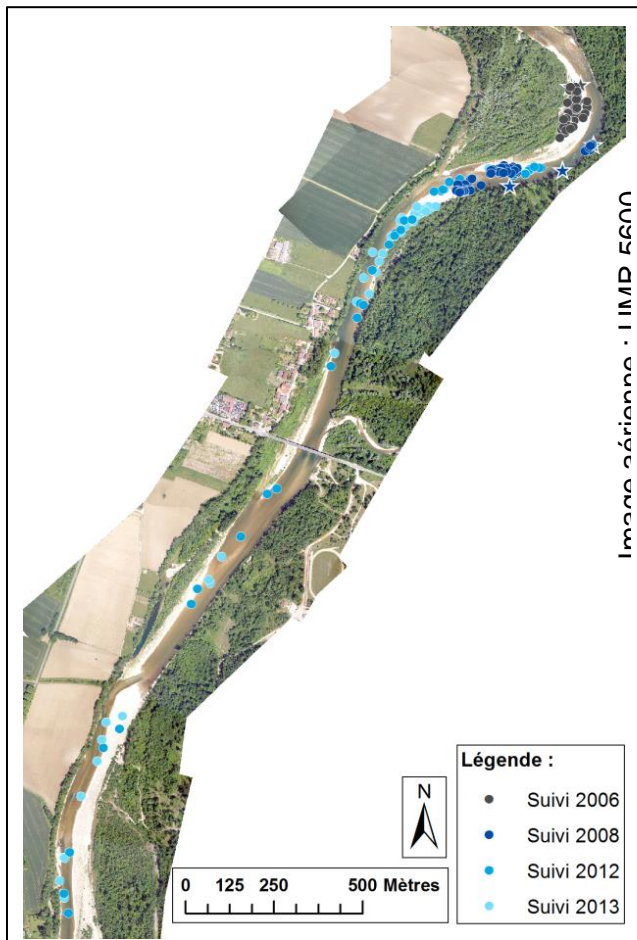


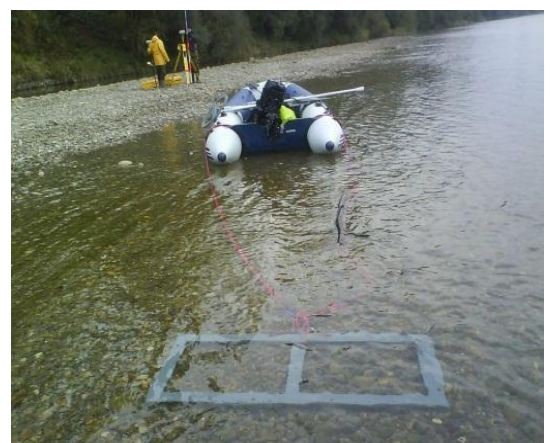
Figure 17 : Différence d'altitude de la ligne d'eau le long de l'axe médian de l'Aisne entre la période 1999-2012 et 2012-2021 (axe médian de 2012).

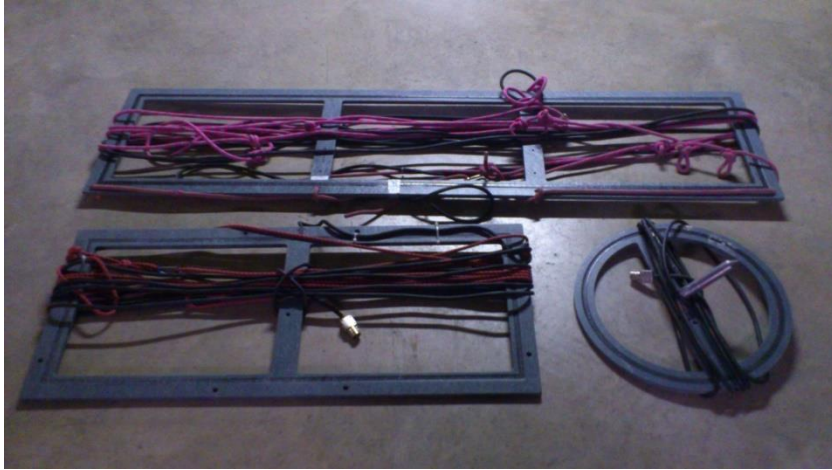
RFID sediment tracking using PIT tags

Sources : Rollet *et al.*, 2008



Arnaud *et al.*, 2017 (Rhin)





Arnaud et al., 2017 (Rhin)

➔ IGN Remonter le temps : Gévrioux

1950-65



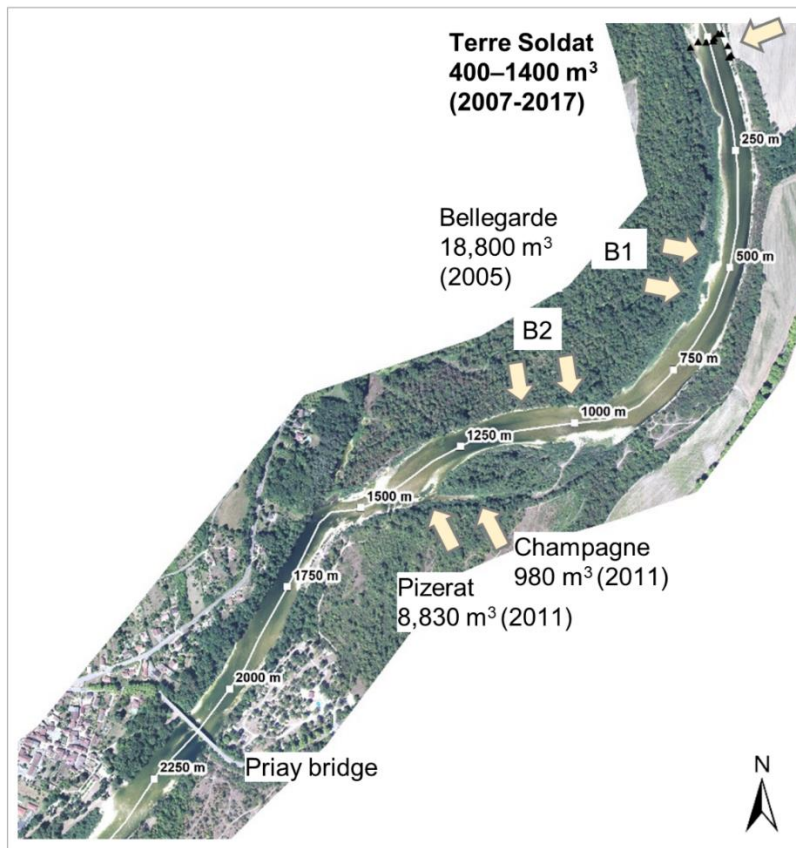
2011-15



2024

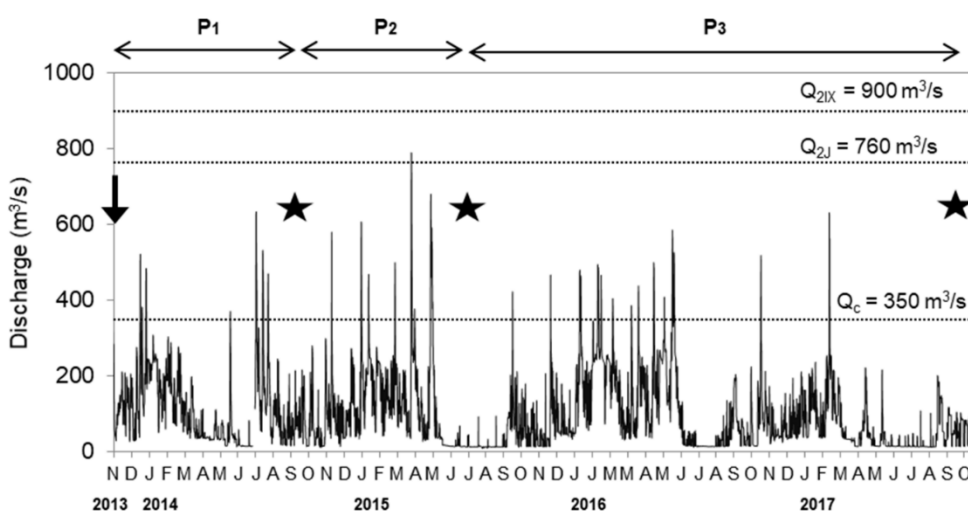


Comparing field, probabilistic, and 2D numerical approaches to assess gravel mobility



Aerial view of the Terre Soldat/Priay site (Base map: ORTHO HR. IGN 2015).

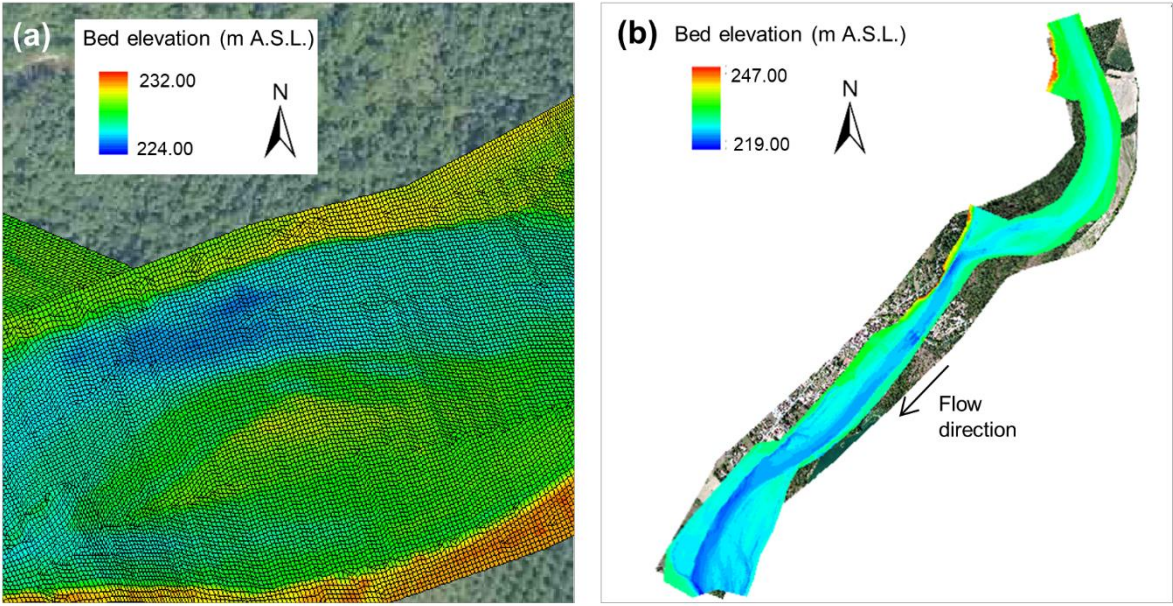
Gravel augmentation operations conducted since 2005 are indicated by arrows. Markers are indicated every 250 m on the channel centerline. The positions of seeded tracers are indicated with black triangles.



Discharge time series averaged over 2 hours at Pont d'Ain + Suran gauging stations from 2013 to 2017.

The arrow and the stars indicate the dates of tracer release and tracking surveys.

Qc: critical discharge for the incipient bedload. Q2J: 2-year daily discharge. Q2IX: 2-year instantaneous discharge.



a) Close-up view of the computational grid upstream from Priay.
b) General view of the 2D numerical model of the Ain River used in the present study.

Comparing field, probabilistic, and 2D numerical approaches to assess gravel mobility in a gravel-bed river

Fanny ARNAUD¹, André PAQUIER², Daniel VAZQUEZ-TARRIO³, Benoit CAMENEN², Jérôme LE COZ², Kristell MICHEL¹, Grégoire NAUDET², Hervé PELLA², Hervé PIEGAY¹



¹ Université de Lyon, CNRS UMR 5600 EVS, Lyon, France
³ Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Spain

² INRAE, UR RiverLy, Villeurbanne, France
 Contact: fanny.arnaud@ens-lyon.fr



Research funded by ZABR, EDF & RMC Water Agency

I. Context

- Gravel augmentation is increasingly used to mitigate sediment deficit impacts in river channels below dams
- Field monitoring is required to assess the restoration efficiency
- Hydrodynamic modeling can help understand physical parameters that regulate particle displacements and design restoration scenarios
- Objective: analyze gravel mobility in a restored gravel-bed river
- First study using a high number of PIT tags in a 90 m wide meandering gravel-bed river in comparison with expected travel distances from a probabilistic approach and results from 2D hydrodynamic modeling

III. Material & methods

- RFID particle tracking: 1063 PIT-tagged gravels released in Nov. 2013. Post-flood surveys in 2014, 2015, 2017. Parameters: recovery rate R, mean travel distance \bar{L} from initial seeding, mean travel distance of mobile tracers in successive surveys L_{STM} , virtual velocity V, grain size effect
- Probabilistic approach: literature review linking \bar{L} to the dimensionless stream power ω^* (Vazquez-Tarrio et al., 2019). Generation of 10,000,000 tracer displacements using $P(L) = \frac{1}{L} \cdot e^{-L/\bar{L}}$. Cumulated distribution of 10,000 samples of n displacements (n=862: analyzed field tracer data)
- 2D hydrodynamic modeling: Rubar2D software. Topo-bathymetry from LiDAR. Steady flow modeling at 350, 500 and 760 m³/s. Computation of particle trajectories for each grain size class (D_m : 25, 34, 48, 72, 97 mm)
- Studied period Nov. 2013–Oct. 2017: 24 floods > Q_c , 1 flood > Q_2

II. Study site

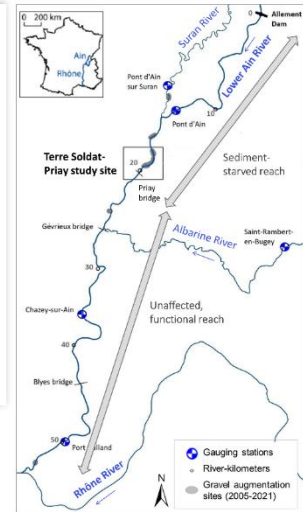
- The Lower Ain River in Eastern France (3630 km²)
- Slope: 0,0011 m/m Q_{nearn} : 120 m³/s Q_2 : 760 m³/s
- The upper reach below the Allement Dam is sediment-starved and paved ($D_{50} \sim 80$ mm vs. 30 mm on the unaffected reach)
- 95,000 m³ of gravel augmentation in 2005-2021
- Terre Soldat bank supplied annually with 400-1400 m³ of sediment from the Albarine River ($D_{50} = 22$ mm)



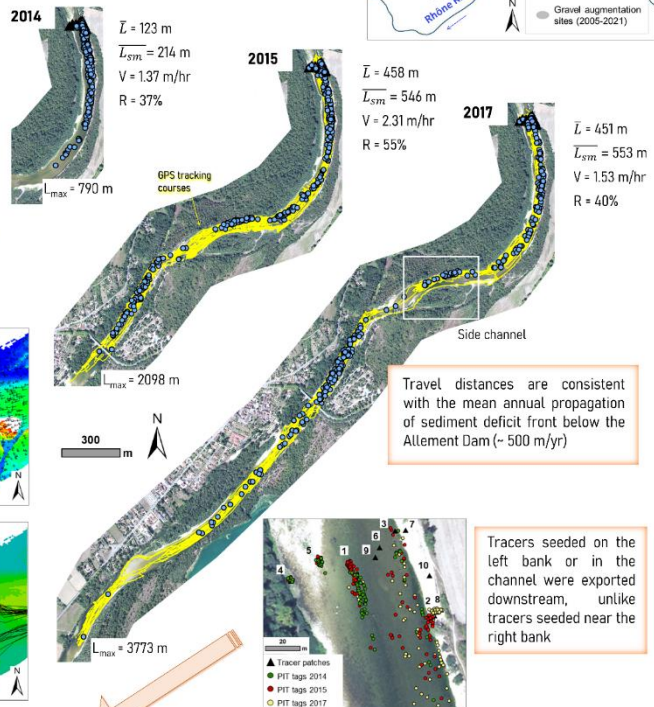
The Terre Soldat restored bank in Nov. 2013



The bank in July 2015 after floods



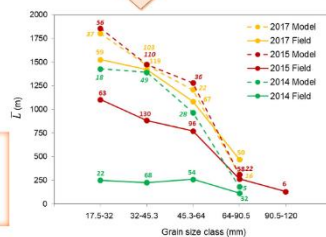
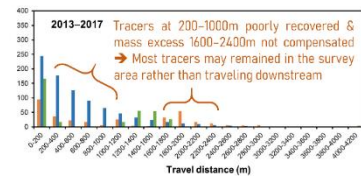
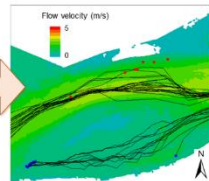
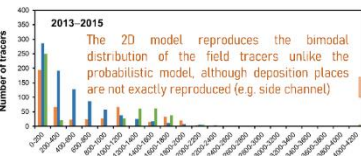
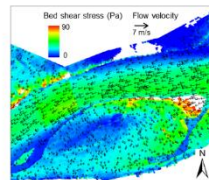
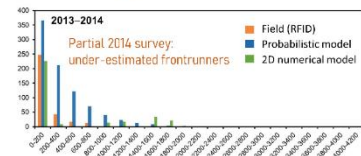
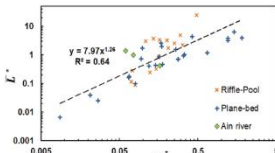
IV. Results



Travel distances are consistent with the mean annual propagation of sediment deficit front below the Allement Dam (~ 500 m/yr)

Tracers seeded on the left bank or in the channel were exported downstream, unlike tracers seeded near the right bank

The Ain River data fit close to the main trend from the literature



Increasing grain size effect on \bar{L} over time. Travel distances are over-estimated for finer classes in the 2D numerical model. No displacement is modeled for coarser particles

V. Outcomes

- RFID particle tracking provides a reliable and accurate representation of the bedload movement useful for monitoring gravel augmentation
- The probabilistic approach correctly reproduces the average trend in travel distances and is permits to discuss the frontrunners
- The 2D modeling accounts for variability of hydrodynamic conditions and simulates realistic displacements with high spatio-temporal resolution
- An effective strategy involves adding a probabilistic transport model in the 2D model to reproduce the scattering of individual particle trajectories