



HAL
open science

Conséquences des aménagements du Rhône sur la sédimentation fine dans les tronçons non court-circuités

Elie Dhivert, Brice Mourier, Gabrielle Seignemartin, Jean Pruvost, Daniel Donze, Thierry Winiarski

► To cite this version:

Elie Dhivert, Brice Mourier, Gabrielle Seignemartin, Jean Pruvost, Daniel Donze, et al.. Conséquences des aménagements du Rhône sur la sédimentation fine dans les tronçons non court-circuités: OSR6 | Axe A - Action A.3.1 | Rapport scientifique final. [Rapport de recherche] ENTPE. 2024. hal-04652867

HAL Id: hal-04652867

<https://hal.science/hal-04652867>

Submitted on 26 Aug 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.



Observatoire
des Sédiments
du Rhône

Conséquences des aménagements du Rhône sur la sédimentation fine dans les tronçons non court-circuités

Conséquences des aménagements du Rhône sur la sédimentation fine dans les tronçons non court-circuités

Rapport scientifique final

Version du 13 juin 2024

Observatoire des Sédiments du Rhône – 6^{ème} programme d'action

Axe A - Comprendre le fonctionnement hydrosédimentaire du fleuve

Action A.3 - Sédimentation des fines dans le lit, les retenues de barrage et les marges alluviales

Action A.3.1 - Préciser l'impact des aménagements sur la sédimentation fine en amont et aval des secteurs court-circuités

Personnes impliquées

Elie Dhivert (IR)
Brice Mourier (CR)
Gabrielle Seignemartin (Post-doc)
Jean Pruvost (Doc)
Daniel Donze (TS)
Thierry Winiarski (DR)

Equipe de recherche

ENTPE, IAPHY, CNRS UMR 5023 LEHNA
ENTPE, IAPHY, CNRS UMR 5023 LEHNA
ENTPE, IAPHY, CNRS UMR 5023 LEHNA
ENTPE, IAPHY, CNRS UMR 5023 LEHNA
ENTPE, IAPHY, CNRS UMR 5023 LEHNA
ENTPE, IAPHY, CNRS UMR 5023 LEHNA

Pour citer ce rapport

Dhivert, E., Mourier, B., Seignemartin, G., Pruvost, J., Donze, D., Winiarski, T. (2024). *Conséquences des aménagements du Rhône sur la sédimentation fine dans les tronçons non court-circuités*. Rapport final. Observatoire des Sédiments du Rhône – 6^{ème} programme d'action. Action A.3.1. 27 p.

L'OSR est un programme animé par le Graie. Pour toute information vous pouvez contacter

Bertrand Morandi (bertrand.morandi@graie.org)

Résumé

Des analyses ont été menées dans des tronçons du Rhône non court-circuités (ou Rhône Total) afin de mieux comprendre les conséquences des aménagements sur la sédimentation des fines. Les précédents programmes de l'OSR s'étaient intéressés aux tronçons court-circuités. Le principal objectif a ici été de caractériser les mécanismes et les dynamiques des dépôts sédimentaires. Les tronçons non court-circuités étant en grande partie contrôlés par l'aval, les recherches ont également porté sur l'influence de la gestion des barrages sur la sédimentation fine.

Les travaux se sont focalisés sur des annexes fluviales en connexion aval permanente : la lône des Pécheurs à Jons et celles de la Chèvre et du Beurre à Tupin-et-Semon. Elles sont respectivement implantées en amont et aval de la métropole de Lyon. Différentes approches ont été entreprises : (i) une reconstitution des évolutions hydrogéomorphologiques à l'échelle de plusieurs décennies ; (ii) une spatialisation de la fréquence de connexion à l'échelle des stations ; et (iii) une caractérisation du remplissage sédimentaire en associant des relevés géophysiques et une analyse multi-indicateurs d'archives sédimentaires.

Les deux sites partagent une sédimentation commune en termes d'historique et de composition des sédiments. Le remplissage sédimentaire est homogène et continue. Les sédiments sont essentiellement composés de limons riches en matière organique. Cette sédimentation s'est mise en place à partir des années 1980 – à la suite de la stabilisation de la ligne d'eau par les barrages. Le taux de sédimentation moyen est plus important pour la station aval par rapport à la station amont.

L'accumulation d'important stock de sédiments dans les lônes pose des problèmes opérationnels. Pour ces environnements ce comblement peut altérer la fonctionnalité hydrologique. En cas de remobilisation, les sédiments peuvent avoir des effets néfastes pour les usages dans le chenal et les installations. D'autre part, ces sédiments sont à même de piéger d'importants stocks de contaminants qui complexifient d'autant plus leur gestion.

Mots-clés

Rhône ; Observatoire ; Sédiments ; OSR ; Tronçon non court-circuité ; Trajectoire hydrogéomorphologique ; Fréquence de connexion ; Remplissage sédimentaire ; WGPR ; Archives sédimentaires

Table des matières

1. Contexte et objectifs	5
2. Analyses réalisées dans les tronçons non court-circuités	8
2.1. Présentation des stations	8
2.2. Evolution hydrogéomorphologiques des stations	11
2.3. Evaluation des fréquences de connexion.....	15
2.4. Caractérisation des remplissages sédimentaires	18
3. Enseignements concernant la sédimentation fine dans les lônes des tronçons non court-circuités sous influence des barrages	21
3.1. Mécanismes de constitution des stocks de sédimentaires	21
3.2. Influence de la gestion des barrages sur le remplissage sédimentaire.....	22
3.3. Portée opérationnelle des recherches	23
4. Conclusion et perspectives	24
5. Bibliographie.....	25
Annexes.....	27
Annexe 1 – Lône de Granges (GRA) - station abandonnée	27

1. Contexte et objectifs

Ce rapport constitue le livrable final de l'OSR 6 concernant l'action A.3.1. Il présente les principaux résultats des études menées au cours de la programmation 2021-2024, visant à mieux comprendre les conséquences des aménagements sur la sédimentation fine dans les tronçons non court-circuités.

Les aménagements du Rhône représentent des discontinuités qui séquent le linéaire du fleuve. Entre les barrages, deux configurations se présentent :

- les tronçons de « Rhône court-circuité » (RCC) séparant le Vieux Rhône et un canal de dérivation,
- les tronçons de « Rhône Total » (RT) non court-circuités mais avec des écoulements artificialisés et généralement en grande partie sous l'influence d'une retenue aval (*backwater effect*).

Entre le lac Léman et la Méditerranée, 14 RCC se succèdent. Ils sont principalement implantés en aval de Lyon (12 RCC) et représentant environ 35% du linéaire sur cette section de Rhône fortement corrigée. Les conséquences des aménagements sur la sédimentation fine dans les tronçons de Vieux Rhône ont été étudiées dans le cadre des précédents OSR. Ces recherches ont permis d'améliorer considérablement les connaissances dans ce contexte (cf. Box 1). Les RCC ont connu une déconnexion hydrologique à la suite des phases d'aménagements et d'importants ajustements morphologiques associés notamment à l'accumulation de sédiments fins au niveau des marges et des chenaux secondaires.

Les tronçons RT ont été moins étudiés jusqu'à présent. Ces tronçons ont également connu de lourdes modifications hydrologiques à la suite des phases d'aménagements. En effet, dans ces tronçons, bornés par deux barrages ou une restitution et un barrage, la ligne et la vitesse de l'eau ont été artificialisées *via* le contrôle des écoulements. Dans la zone d'influence de la retenue aval (*backwater zone*), des conditions hydrosédimentaires propices au dépôt des fractions les plus fines ont pu être favorisées. Des accumulations sédimentaires sont d'ailleurs constatées au niveau de certains secteurs (amont des retenues, annexes fluviales, méandres, ...). Elles peuvent altérer le fonctionnement hydrologique et perturber les différents usages. Les stocks sédimentaires sont ainsi surveillés par les gestionnaires du fleuve et des travaux de curage/remobilisation sont régulièrement programmés.

Dans le cadre de l'OSR 6, les recherches ont porté sur des lônes (*i.e.* des annexes fluviales en connexion aval permanente) implantées dans des tronçons RT. Du fait de leur configuration géomorphologique, le dépôt des fines est souvent plus important dans les lônes comparativement au chenal principal. De plus, les faibles hauteurs d'eau rendent l'accès plus facile au remplissage sédimentaire.

Dans le cadre de ces recherches, les principaux objectifs ont été de :

- Caractériser les mécanismes et les dynamiques des dépôts sédimentaires dans les tronçons du RT afin de les comparer avec ceux mis en évidence dans les RCC.
- Evaluer l'influence de la gestion des barrages sur la sédimentation fine dans ces lônes au cours du remplissage sédimentaire.

Les travaux se sont principalement focalisés sur les lônes des Pécheurs à Jons et les Lônes de la Chèvre et du Beurre à Tupin-et-Semon, localisées en amont et en aval de la métropole lyonnaise (une description des stations est présentée à la suite). Un troisième site a également été ciblé, sondé et échantillonné, la lône de Granges en amont de Valence. Cette station peu représentative pour traiter la problématique a cependant été exclue de cette étude.

Différentes approches ont été entreprises pour répondre aux deux objectifs de l'étude : (i) une reconstitution de l'évolution hydrogéomorphologique des lînes sur plusieurs décennies ; (ii) une évaluation de la fréquence de connexion spatialisée à l'échelle de la station ; (iii) une caractérisation du remplissage sédimentaire à partir de relevés WGPR (*Water Ground Penetration Radar*) et une analyse multi-indicateurs d'archives sédimentaires. Le WGPR est un instrument géophysique qui utilise les ondes électromagnétiques et leurs propriétés de propagation dans les milieux pour étudier l'architecture des remplissages sédimentaires.

Ces stations ont également été investiguées dans le cadre de l'axe B de l'OSR : Action B3.1 « Influence des environnements de dépôt sur le stockage des contaminants émergents » et Action B3.3 « Historique des contaminants émergents ». Le projet ANR SediPlast (<https://anr-sedi-plast.univ-gustave-eiffel.fr/>), visant à reconstituer les tendances en microplastiques dans les sédiments est également en lien avec cet axe B. Les analyses géomorphologiques, géophysiques et sédimentologiques ont été mises à profit pour ces objectifs. Les données acquises sur les lînes des Pécheurs, de la Chèvre et du Beurre ont en partie été valorisées dans une publication récente (Dhivert et al., 2024).

Box 1 – Conséquences des aménagements dans les tronçons du Rhône court-circuités

La dérivation de tronçons du Rhône constitue une phase d'aménagement relativement récente initiée dans les années 1970. Elle s'inscrit dans un contexte historique plus long, l'artificialisation du lit du fleuve ayant débuté à la fin du XIX^{ème} siècle (casiers Girardon, Champs d'épis, endiguements ...). L'essentiel des écoulements transite alors par les canaux de dérivation. Dans l'ancien lit (Vieux Rhône), ils se limitent aux débits réservés la majeure partie du temps. Les Vieux-Rhône servent de déversoirs lors des épisodes de crues. Un ajustement morphologique a été constaté en réponse à cette baisse de débit, qui s'est surimposée aux ajustements induits par les phases d'aménagements plus anciennes.

Dans le cadre des précédents programmes OSR plusieurs RCC ont été étudiés : dérivations de Pierre-Bénite, Péage-de-Roussillon, Montélimar, Baix-Le Logis Neuf et Donzère-Mondragon. Ces recherches ont permis de mieux cerner les conséquences des aménagements sur la sédimentation des fines dans ces tronçons et des processus en jeu (Figure a) :

- Au niveau des marges fluviales - une amplification du processus d'atterrissement a été constatée à partir d'une analyse chronoplanimétrique (Seignemartin et al., 2023). Deux processus complémentaires ont conduit ce phénomène. D'une part, les casiers Girardon et les champs d'épis ont créé des zones avec des contraintes hydrauliques réduites, favorisant le dépôt des sédiments fins. De l'autre, la dérivation a induit une incision du lit amplifiant l'émersion des surfaces terrestrialisées. La réduction des débits dans les RCC a également limité la reprise sédimentaire.
- Au niveau des chenaux secondaires et de la plaine d'inondation – les aménagements ont induit une rupture dans le remplissage sédimentaire (Vauclin et al., 2021). Ainsi, les dépôts post-dérivation se distinguent de ceux antérieurs par leur composition sédimentaire plus fine. La déconnexion hydraulique induite par la dérivation a entraîné une augmentation du taux de sédimentation dans les chenaux secondaires, alors qu'elle marque un quasi-arrêt de la sédimentation dans la plaine d'inondation.
- Le rôle du forçage hydraulique sur les dépôts sédimentaires dans les chenaux secondaires a récemment été mis en lumière dans la thèse de Nicolas Noclin (soutenue en janvier 2024). Il apparaît ainsi que la gestion des écoulements dans les RCC au cours des épisodes de crues a grandement conditionné l'accumulation des sédiments dans les annexes. Dans ces conditions une sédimentation événementielle s'est mise en place. Cette sédimentation est fortement conditionnée par l'altitude des points de connexion au niveau des diffluences, par la connexion aval et par les dépôts post-crue.

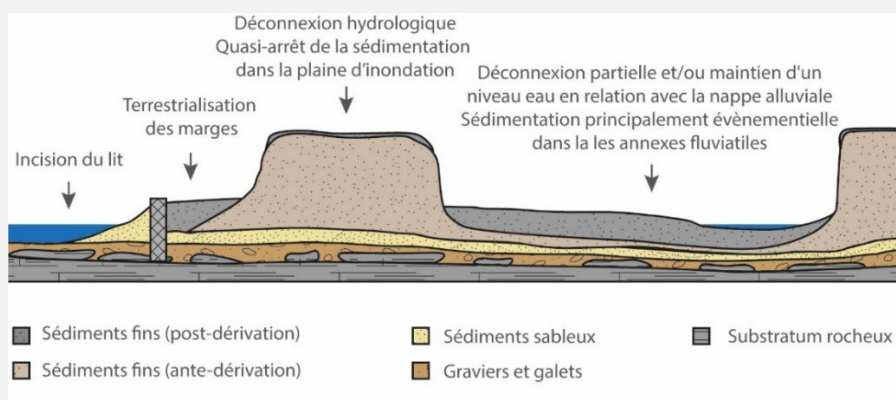


Figure a. Schéma de synthèse représentant la sédimentation dans les marges des secteurs aménagés du Rhône

2. Analyses réalisées dans les tronçons non court-circuités

2.1. Présentation des stations

Dans le cadre de l'OSR6, trois stations ont été étudiées dans des tronçons de RT (Fig. 1). Les deux premières sont localisées en amont et aval de la métropole de Lyon (JON et BRE). Les campagnes de terrains ont eu lieu en 2021.

Station JON - en amont de Lyon

La Lône des Pécheurs (aussi appelée Lône de la Ferrande) est située en rive gauche du fleuve au niveau de la commune de Jons. Elle est localisée tout à l'aval d'un tronçon de RT de 35 km, borné par la restitution de la dérivation de Saut-Brénez et l'entrée du canal de Jonage. La confluence de l'Ain se trouve 8 km en amont du site. La station de jaugeage la plus proche est celle de Lagnieu. Le module interannuel calculé sur la période 2015-2024 et de 457 m³/s pour des crues atteignant 1 300 m³/s pour Q₂, 1 700 m³/s pour Q₅ et 1 900 m³/s pour Q₁₀ (www.hydro.eaufrance.fr). La Lône des Pécheurs est un Espace Naturel Sensible du département de l'Ain intégrant le périmètre Natura 2000 «Milieux alluviaux et aquatiques du fleuve Rhône, de Jons à Anthon» (<https://patrimoines.ain.fr>). Cette station fait ainsi partie d'un plus vaste réseau de lônes du Haut-Rhône d'une superficie totale de 384 ha, avec un fort enjeu écologique. La préservation des milieux aquatiques hérités des anciennes divagations du Rhône constitue le principal objectif opérationnel sur ces lônes. Dans cette station, 1 200 m de relevés géophysiques ont été acquis et complétés par des sondages à la perche. Sur cette base, 2 carottes sédimentaires JON-21-C01 et JON-21-C02 de 106 et 97 cm ont été positionnées et récupérées à l'aide d'un carottier UWITEC équipé d'un liner de PVC de 90 mm de diamètre. Les deux carottes ont été ouvertes et décrites. En revanche, seule JON-21-C02 a bénéficié d'une analyse sédimentologique complète.

Station BRE- en aval de Lyon

Les Lônes de la Chèvre et du Beurre se trouvent à Tupin-et-Semon. Elles sont situées en rive droite du fleuve dans un tronçon RT de 18 km entre les barrages de Vaugris et Saint-Pierre-de-Bœuf. Au niveau de la station de jaugeage la plus proche (Ternay), le module interannuel calculé sur la période 1995-2024 et de 1 030 m³/s pour des crues atteignant 3 200 m³/s Q₂, 4 000 m³/s Q₅ et 4 500 m³/s Q₁₀. Il s'agit également d'un Espace Naturel Sensible du département du Rhône bénéficiant d'un arrêté préfectoral de protection du biotope. Ce milieu naturel est géré par le Centre d'Observation de la Nature de l'Île du Beurre depuis 1988 (www.iledubeurre.org). La superficie de la zone protégée est de 44 ha en rive droite, accompagnée de 35 ha de forêt alluviale en rive gauche. Au niveau de cette station, le fonctionnement hydrosédimentaire est étudié depuis plusieurs décennies et a fait l'objet de travaux scientifiques (Camenen et al., 2013 ; Mira, 2015 ; Monin, 2018). Des archives sédimentaires ont déjà été étudiées dans cette station afin de reconstituer les tendances en PCBs et PFAS depuis les années 1980 (Desmet et al., 2012 ; Mourier et al., 2019). En 2021, des relevés WGPR ont été acquis sur une distance de 1 000 m complétés avec des sondages à la perche. Cette caractérisation du remplissage a permis de positionner deux nouvelles carottes, prélevées à l'aide du carottier UWITEC, BRE-21-C01 (121 cm) et BRE-21-C02 (131 cm). Ici également les deux carottes ont été ouvertes et décrites, mais l'analyse sédimentologique complète a seulement été réalisée sur BRE-21-C01.

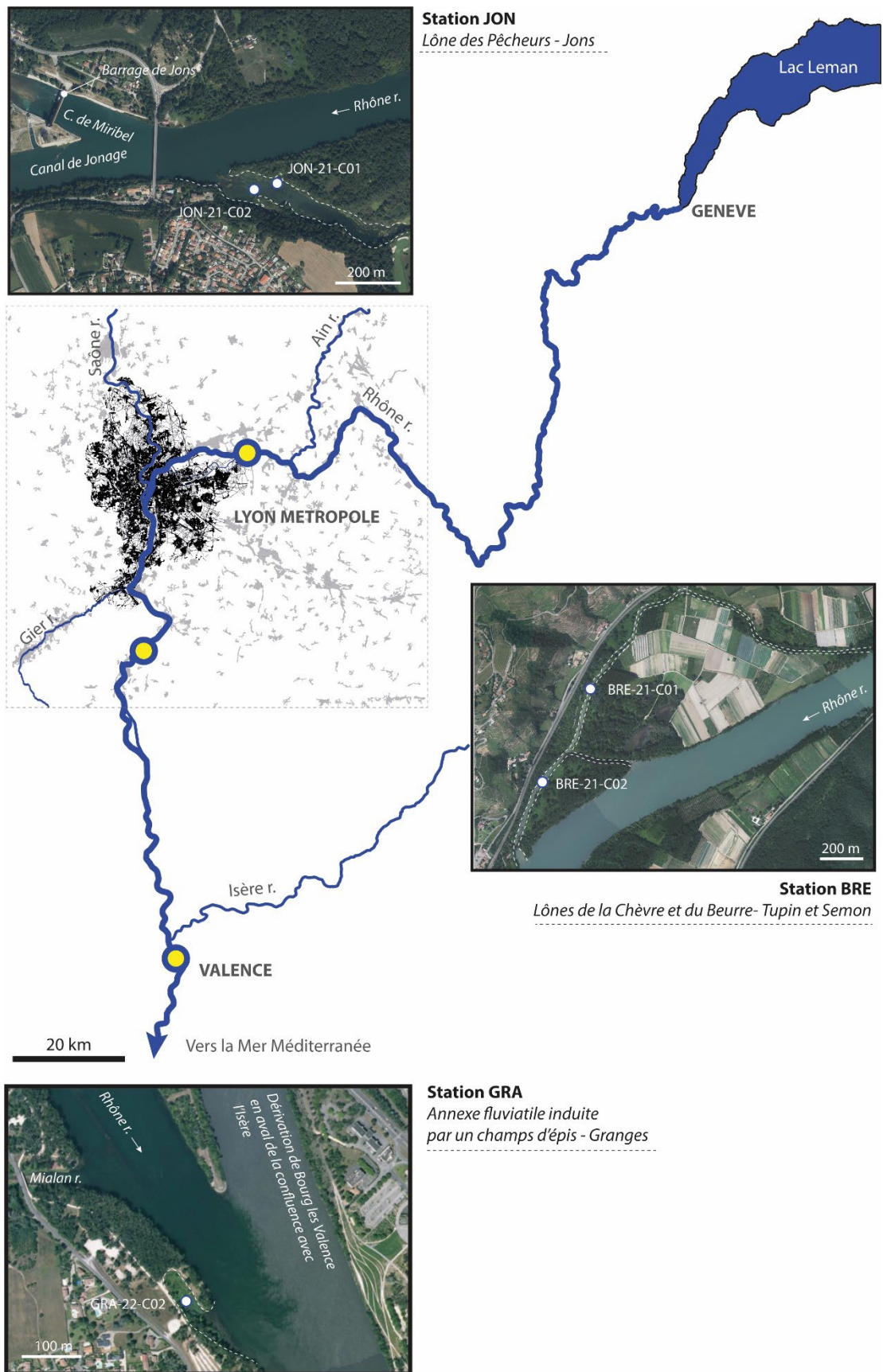


Figure 1. Localisation des trois stations étudiées dans le cadre de l'OSR6 et leurs sites de carottages

Station GRA- en amont de Valence

Une autre station a également été étudiée, située en aval de la confluence avec l'Isère (GRA). La campagne de terrain a eu lieu en 2022 dans la Lône de Grange située en rive droite, environ 300 m en aval de la confluence entre le Vieux Rhône et le Mialan et en aval direct de la restitution de la dérivation de Bourg-lès-Valences en rive gauche. Cette station se trouve donc à l'extrémité amont d'un tronçon de RT de 12 km se terminant par le barrage de Beauchastel. La zone de mélange entre les eaux du Vieux Rhône et du canal de dérivation dans lequel se jette l'Isère est visible sur plusieurs centaines de mètres sur les images aériennes (www.geoportail.gouv.fr). Une carotte de 67 cm a été prélevée avec le carottier UWITEC. Elle a été ouverte décrite et des analyses sédimentologiques ont été réalisées. Des essais de datation ont été réalisés qui se sont montrés infructueux, les profils en radionucléides ne permettant de définir un modèle d'âge robuste. Les résultats obtenus sont présentés en annexe 1. Compte tenu de la position de la station peu représentative des apports totaux dans le tronçon RT et la qualité de l'enregistrement sédimentaire, cette station a été abandonnée.

Dans le cadre de l'OSR 5, une station implantée dans un tronçon RT avait également été analysée au niveau de Beaucaire, en amont du delta. Les principaux résultats de cette étude sont repris dans le Box 2 et sont par la suite utilisés à titre de comparaison avec les sites étudiés dans ce travail.

Box 2 – Secteur de Beaucaire localisée en amont du Delta



Le secteur de Beaucaire a été analysé dans le cadre de l'OSR 5. Une présentation détaillée de la station et des principaux résultats des analyses réalisées sont disponibles dans le rapport final de la précédente programmation (Seignemartin et al., 2021).

La partie amont du secteur a été court-circuitée par la dérivation de Vallabrègues dans les années 1970. Ces aménagements ont également abouti à une contraction de la bande active dans le Vieux Rhône.

La partie aval du secteur est localisée en amont du canal d'irrigation du Bas Rhône-Languedoc. Il s'agit d'un tronçon RT qui a subi une forte incision depuis l'installation des casiers Girardon, aggravée plus tard par la dérivation. Une dynamique d'atterrissement a été mise en évidence, après la phase de dérivation.

Une carotte sédimentaire (MTR-17) a été prélevée en 2017 dans un chenal semi-actif localisé en rive gauche à proximité du lieu-

dit Le Mas des Tours. D'une longueur de 3 m elle documente une période remontant au début des années 1980. Le taux de sédimentation est important sur cette carotte (7,6 cm/a). La sédimentation est fine et continue, essentiellement composée de limons (70±12%) à l'exception d'un niveau plus riche en sable associé à la crue de 2003. Une partie de ces résultats sont présentés dans une publication traitant des tendances de contaminations au tritium (Morereau et al., 2020).

2.2. Evolution hydrogéomorphologiques des stations

Afin de mieux comprendre le contexte hydrogéomorphologiques des stations, une analyse diachronique a été réalisée à partir de la compilation des orthophotographies anciennes (<https://remonterletemps.ign.fr>) et des informations historiques disponibles. Elle a été couplée avec des reconstitutions de l'évolution de la ligne d'eau entre le début du XX^{ème} s. et les années 2010 (Seignemartin et al., *in prep*). La donnée la plus ancienne est tirée du [Fascicule Armand des pentes du Rhône](#) (1903) correspondant à la situation à l'étiage, peu de temps après les premiers travaux de chenalisation. Celle de 2010, a été définie à partir des relevés topographiques modernes et intègre les conséquences des différentes phases d'aménagements. L'approche chronoplanimétrique mise en place dans les RCC a permis de quantifier ces évolutions au cours du temps. Cette analyse quantitative reste à faire sur les stations des tronçons du RT.

Trajectoire de la station JON

La Lône des Pêcheurs est héritée d'une vaste zone de divagation de la rive gauche du Rhône, s'enfonçant au sud sur près de 1.8 km par rapport à la situation actuelle - jusqu'aux coteaux de Villette d'Anthon (dépôt morainique du Riss). Sur les cartes Cassini de la fin du XVII^{ème} s. un méandre du Rhône est visible, longeant le coteau sur la partie est et ouest de cette zone de divagation. Plus tard, les cartes d'état-major du XIX^{ème} s. font état d'un méandre s'enfonçant plus au sud et à l'ouest jusqu'à atteindre les limites topographiques de la zone de divagation. Un atterrissement est constaté dans la partie amont en comparaison avec la situation du XVII^{ème} s. alors qu'un réseau d'îles s'est formé dans la partie centrale. La configuration géomorphologique actuelle est bâtie sur les vestiges de ces anciennes îles.

Entre la fin du XIX^{ème} s. et les années 1960 la station de JON a connu différentes phases d'aménagements successifs :

- Construction des canaux de Miribel (1848 et 1857) et Jonage (1891-1899), puis du barrage de Jons (1934-1937) environ 300 et 500 m en aval de la lône (Fig. 1),
- Construction d'une digue sur toute la largeur de la zone de divagation (entre les années 1920 et 1940) ancrant la limite sud de la lône actuelle, complété plus tard par une autre digue le long du cours du Rhône actuel (présenté plus loin dans le rapport § 2.3),
- Aménagement des berges avec des docks et un pipeline pour l'approvisionnement en monomère de PVC de l'usine de Balan dans la seconde moitié des années 1960.

Consécutivement à la mise en place de ces aménagements, la ligne d'eau a évolué depuis la seconde moitié du XIX^{ème} s. Dès 1882, une forte érosion du lit est constatée en réponse à la canalisation dans la dérivation de Miribel (Parrot, 2015 ; Poinsart et al., 1989). Ce phénomène a en partie été compensé par le détournement d'une partie du débit dans le canal de Jonage. Le barrage de Jons a par la suite fortement contrôlé la ligne d'eau dans le chenal principal comme dans la lône, avec également une incidence sur la fréquence et l'ampleur des crues (Citterio et al., 2009). La ligne d'eau du secteur présente ainsi deux aspects très différents entre la situation au début du XX^{ème} s. et celle actuelle (Fig. 2a).

Les premières images aériennes documentant le secteur de la Lône des Pêcheurs remontent à la fin des années 1930, avec une série temporelle fragmentée jusque dans les années 2000. Un zoom a ici été porté sur la partie de la lône où les deux carottages décrits plus loin dans le rapport ont été réalisés. Jusqu'à la fin des années 1960 les orthophotographies témoignent de phases d'atterrissement et d'érosion/submersion (Fig. 2b). Ces évolutions peuvent être associées à une gestion fluctuante du niveau de l'eau et du débit dans les canaux de Miribel et Jonage au cours de cette période. A partir des années 1980, la surface en eau varie peu. La gestion de la ligne d'eau par les ouvrages hydrauliques est plus constante et les deux sites de carottages apparaissent continuellement immergés.

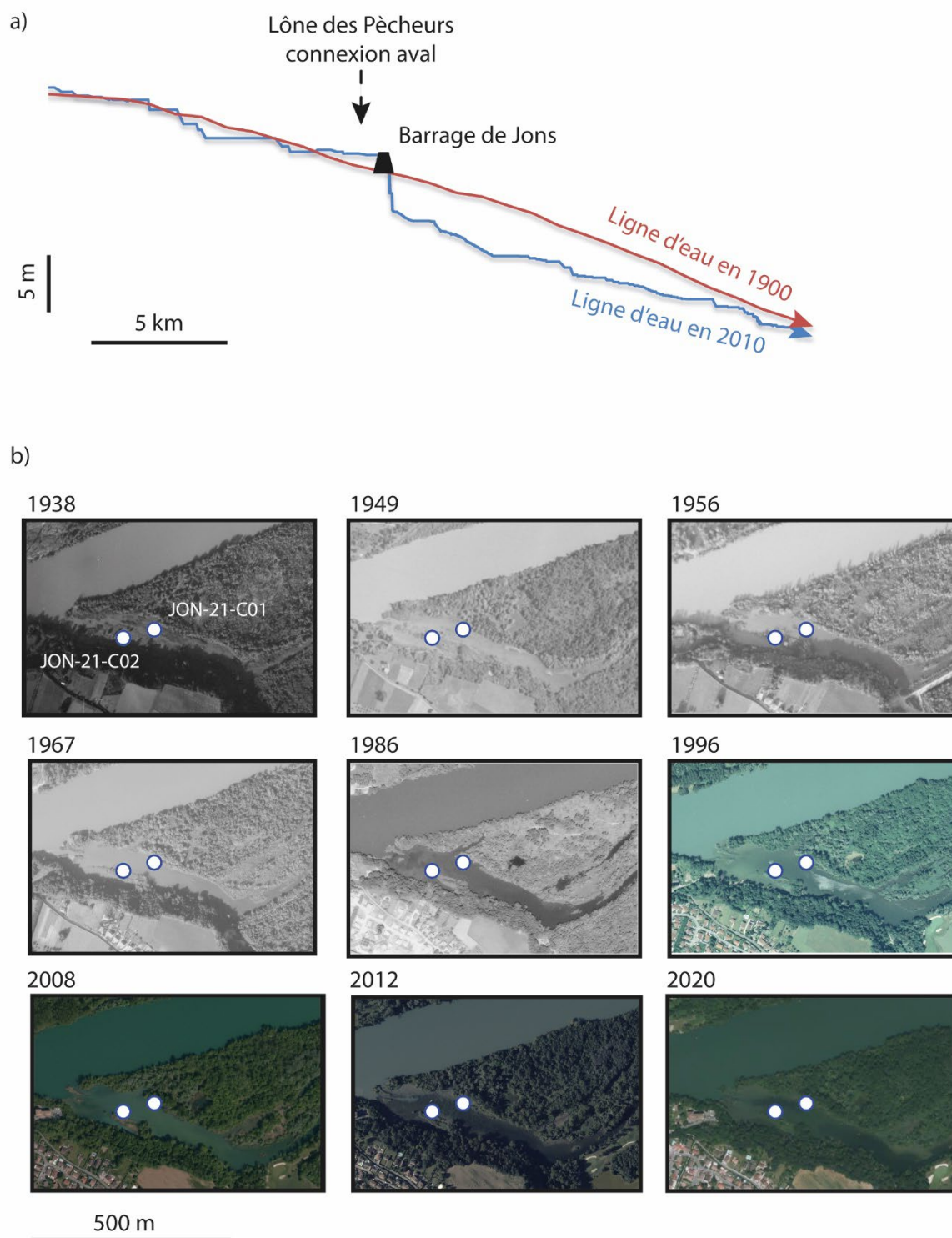


Figure 2. a-Evolution du profil longitudinal de la ligne d'eau à l'étiage dans le secteur de la station JON entre le début du XXème s. (1902) et 2010. b- Diachronie de la station JON (Source : <https://remonterletemps.ign.fr>)

Trajectoire de la station BRE

Les cartes Cassini du XVII^{ème} s. couvrant le secteur des Lômes de la Chèvre et du Beurre font apparaître une île entourée par deux chenaux au milieu d'un méandre du Rhône. Pour autant le positionnement du fleuve n'est pas cohérent avec la topographie de la vallée. Dans ces conditions, il est difficile de statuer avec certitude quant à l'existence, dès cette période, d'une configuration proche de celle que nous connaissons aujourd'hui. Les cartes d'états-majors du XIX^{ème} s. sont mieux géoréférencées. Elles attestent d'une morphologie similaire à la situation actuelle avec deux îles séparées de la rive droite par un chenal secondaire. A cette époque ce chenal est implanté en limite de la zone de divagation, en contact avec les roches métamorphiques du massif du Pilat. Les principales évolutions géomorphologiques constatées depuis lors sont essentiellement :

- un rétrécissement de la largeur des chenaux secondaires avec notamment l'aménagement d'une digue sur la quasi-totalité des deux lômes à une date indéterminée (< 1950) ;
- l'atterrissement de l'île du Beurre qui atteint sa taille actuelle avant les années 1950.

Le secteur de la station de BRE a également connu d'importants aménagements au niveau du chenal principal avec la :

- construction d'épis et de casiers Giradron en complément d'un endiguement sur une large partie du linéaire, visibles sur les photos aériennes de la fin des années 1930 à 1980 ;
- puis entre 1976 et 1980 la construction des barrages de Vaugris et St-Pierre-de-Bœuf et la dérivation du méandre de Condrieu 1.3 km en aval de la lôme.

Les conséquences de la première phase d'aménagement par des obstacles latéraux sur l'évolution de la ligne d'eau n'ont pas été documentées. On peut imaginer une incision du lit prononcée. En revanche, celle des barrages a pu être matérialisée (Fig. 3.a). Il apparaît ainsi clairement que les lômes de la Chèvre et du Beurre sont situées dans la partie amont de la zone d'influence du barrage de St-Pierre-de-Bœuf.

Les premières images aériennes de la station BRE remontent également à la fin des années 1930 (Fig. 3.b). Ici aussi seule la partie des lômes qui a été carottée est présentée. Les orthophotographies laissent essentiellement transparaître une modification de la végétation et de l'usage des sols. Concernant les évolutions hydrogéomorphologiques, le contrôle de la ligne d'eau et/ou la mise en place de l'arrêtée de biotope qui a conduit à un changement de gestion du site (post 1980) semble avoir pour conséquence un rétrécissement de la partie interne des chenaux et le développement d'une strate arborée.

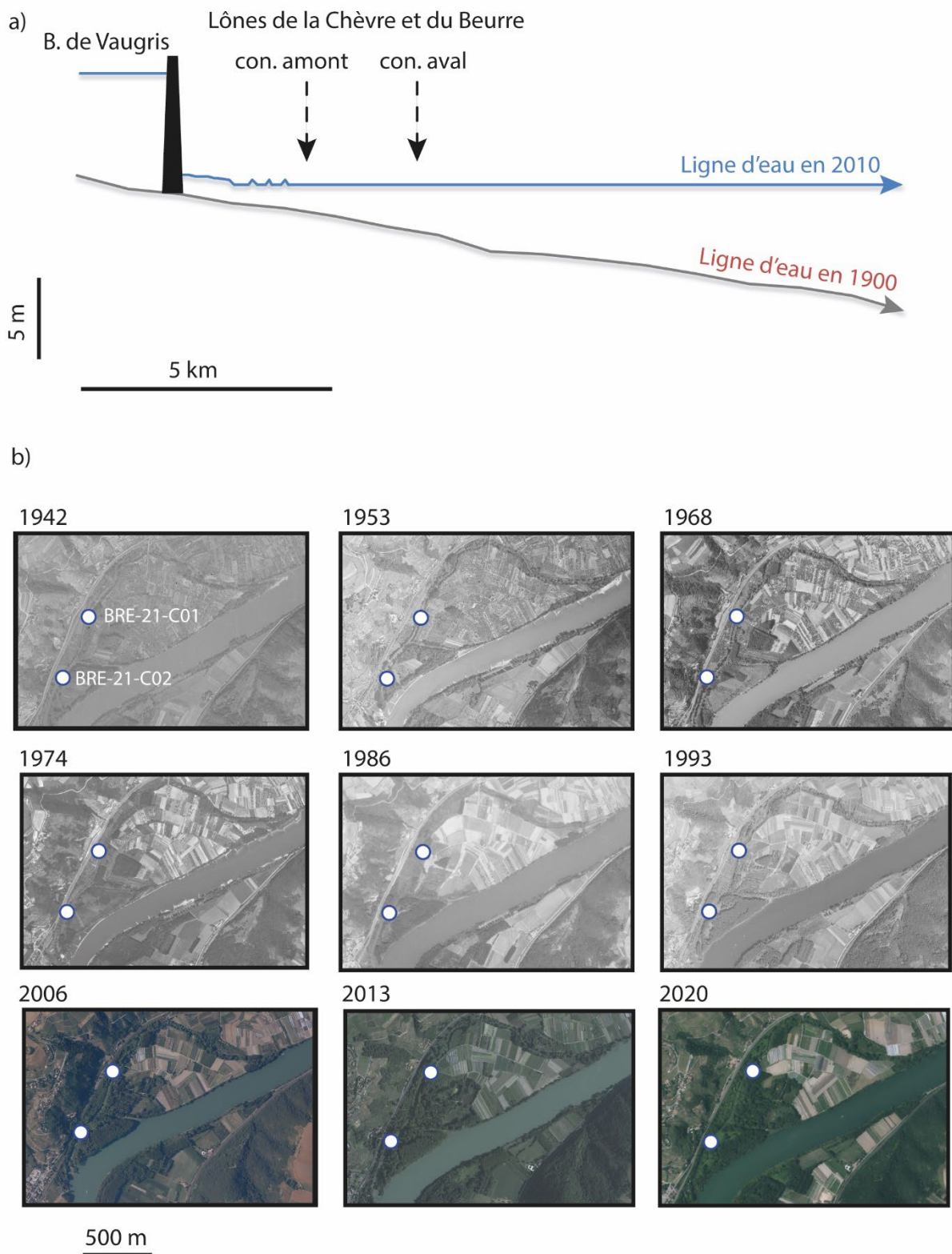


Figure 3 . a- Evolution du profil longitudinal de la ligne d'eau à l'étiage dans le secteur de la station BRE entre le début du XXème s. (1902) et 2010. **b-** Diachronie de la station BRE (Source : <https://remonterletemps.ign.fr>)

2.3. Evaluation des fréquences de connexion

Dans le but de mieux comprendre le fonctionnement hydrologique actuel des stations, les fréquences de connexion ont été évaluées à l'échelle des stations. Une analyse comparable avait été réalisée dans certains RCC par Tena et al. (2020). Elle se base sur une approche SIG 3D, combinant :

- une modélisation numérique de terrain caractérisant l'altitude avec une précision de ± 10 cm et par pixel de 1m (RGE Alti®; <https://geoservices.ign.fr/rgealti/>);
- l'enregistrement des hauteurs d'eau sur la période 2011-2021 au niveau des stations de jaugeage les plus proches des stations (www.hydro.eaufrance.fr).

Un recalage altitudinal des hauteurs d'eau a été réalisé sur chaque station afin de projeter les zones inondées au cours de la chronique. Pour représenter les résultats de cette modélisation 3D, les hauteurs d'eau ont été classées statistiquement par occurrence de dépassement. Différentes gammes d'altitudes ont ainsi été sélectionnées :

- les zones inondées plus de 10% du temps, régulièrement sous l'eau au gré des variations de débits couramment enregistrés au cours de l'année ;
- les zones inondées entre 10% et 1% du temps, correspondant aux parties seulement sous l'eau au cours des crues les plus récurrentes ;
- les zones inondées moins de 1% mais tout de même en dessous du niveau maximum atteint par l'eau au cours des 10 ans considérés, correspondant aux parties qui ont été sous l'eau seulement au moment des plus forts débits (faible durée d'inondation et faible récurrence de ces épisodes hydrologiques les plus intenses).

Les recherches sont toujours en cours sur les tronçons de RT étudiés. Dans l'état actuel, la principale limite de cette approche est de ne pas tenir compte de l'influence des aménagements locaux sur les hauteurs d'eau. Il conviendra par la suite d'améliorer la méthode en intégrant les données de gestion de la ligne d'eau par les ouvrages à proximité des sites.

Station JON

L'analyse de la station JON fait apparaître la digue qui limite la zone d'expansion des crues au sud (ligne rouge) et la connexion amont de la lône des Pêcheurs (Fig. 4). Ainsi, la connexion de la lône se fait par l'aval la majeure partie du temps (> 10 % du temps). La partie amont du chenal principale apparaît dans la catégorie (10-1% du temps) du fait d'une plus forte pente. Cette limite semble matérialiser la zone d'influence du barrage de Jons. En amont, l'attribution des classes de connectivité n'est plus validée dans le chenal principal. Pour autant, la différence d'altitude entre cette limite et la partie amont du chenal couverte par la carte est de seulement quelques dizaines de centimètres. Dans la lône, les classes de connectivité restent interprétables, la connexion se faisant par l'aval dans les gammes de débits les plus fréquents et les débordements plus exceptionnels autorisant des connexions amont se font avec des hauteurs d'eau bien plus fortes.

Ainsi, les surfaces inondées pour des hauteurs d'eau entre 10 et 1% du temps sont importantes. La partie aval de la lône est entièrement sous l'eau. Pour autant, la connexion par l'amont est toujours empêchée.

Lors des crues les plus fortes (< 1% du temps), seules les digues sont émergées. Dans ces conditions, la connexion par l'amont est possible.

Derrière la digue sud, un vaste réseau de dépressions est hérité de l'ancienne zone de divagation du Rhône. En période de crue, elles peuvent se remplir par remontée de la nappe alluviale. Une buse est aménagée dans l'extrémité sud de la digue permettant de vidanger les volumes d'eau retenus. Ainsi en période de décrue, un apport d'eau est possible par ce biais dans la partie aval de la lône. Dans ce secteur de la lône, ces écoulements viennent se rajouter aux apports d'origine phréatique confluant vers le Rhône (Bouvet et al., 1982).

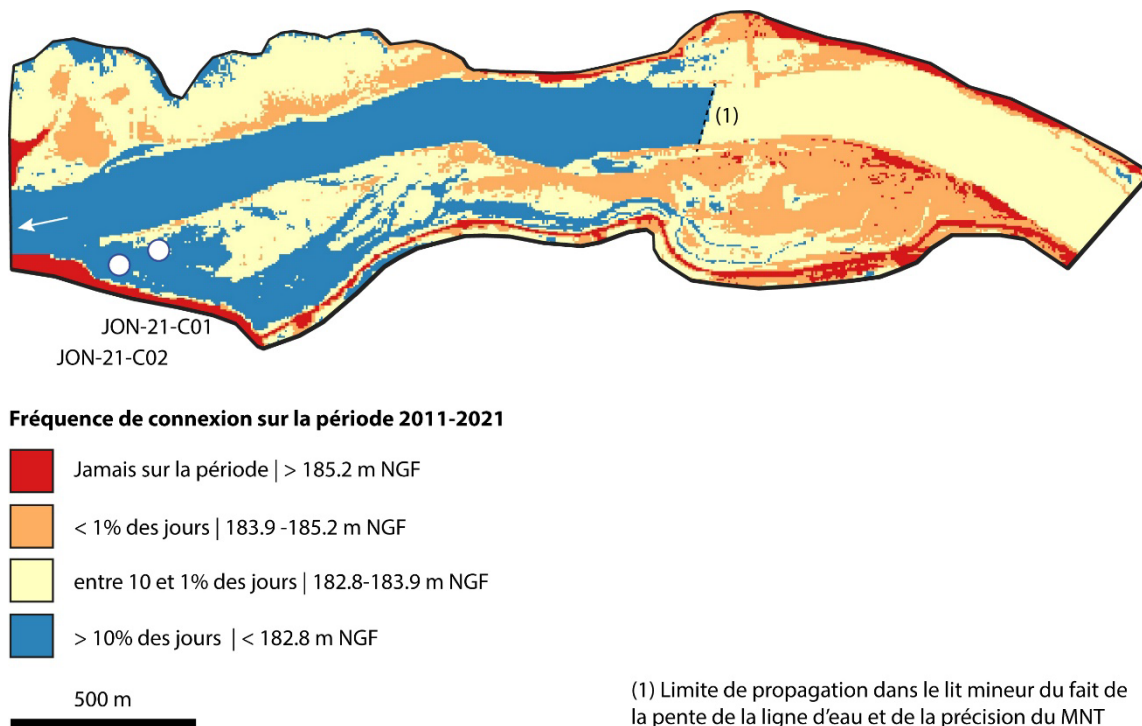


Figure 4. Evaluation de la fréquence de connexion de la station JON sur la période 2011-2021. Cette spatialisation a été réalisée sur la base d'une confrontation des chroniques de hauteurs d'eau et du modèle numérique de terrain (Sources : HydroFrance; RGEAlti®). En amont du repère (1) les résultats ne sont pas validés dans le chenal principal du fait d'une pente plus prononcée, alors que la partie aval est sous influence du barrage de Jons.

Station BRE

Le fonctionnement hydrologique des lînes de la Chèvre et du Beurre est plus simple. La connexion amont est possible pour les hauteurs d'eau les plus fréquentes (> 10 % du temps). En revanche, du fait du contrôle de la ligne d'eau, la mise en place d'un écoulement amont-aval dans le chenal secondaire est dépendant de la gestion des barrages. De plus, lors des campagnes de terrain, il a été constaté que des dépôts de sables et graviers surélèvent l'entrée des deux connexions amont. Elles sont ainsi actives avec des hauteurs d'eau plus élevées que la connexion aval. Ces bourrelets sédimentaires ont été régulièrement curés depuis le début des années 2000, mais se remettent en place rapidement.

De la même manière que pour la station JON, lors des crues les plus fréquentes (10-1% du temps) de larges surfaces sont inondées dans la partie aval des lînes. La partie amont est plus élevée contraignant les débordements à proximité du chenal secondaire. Les écoulements amont-aval dans le chenal secondaire doivent là aussi être largement conditionnés par la gestion des barrages.

Au cours des crues les plus fortes (< 1% du temps), l'ensemble du secteur est inondé. Lors de ces épisodes plus exceptionnels, le contrôle des écoulements par les barrages est probablement moins marqué. Un courant amont-aval est ainsi possiblement présent sur l'ensemble de la zone d'expansion des crues.

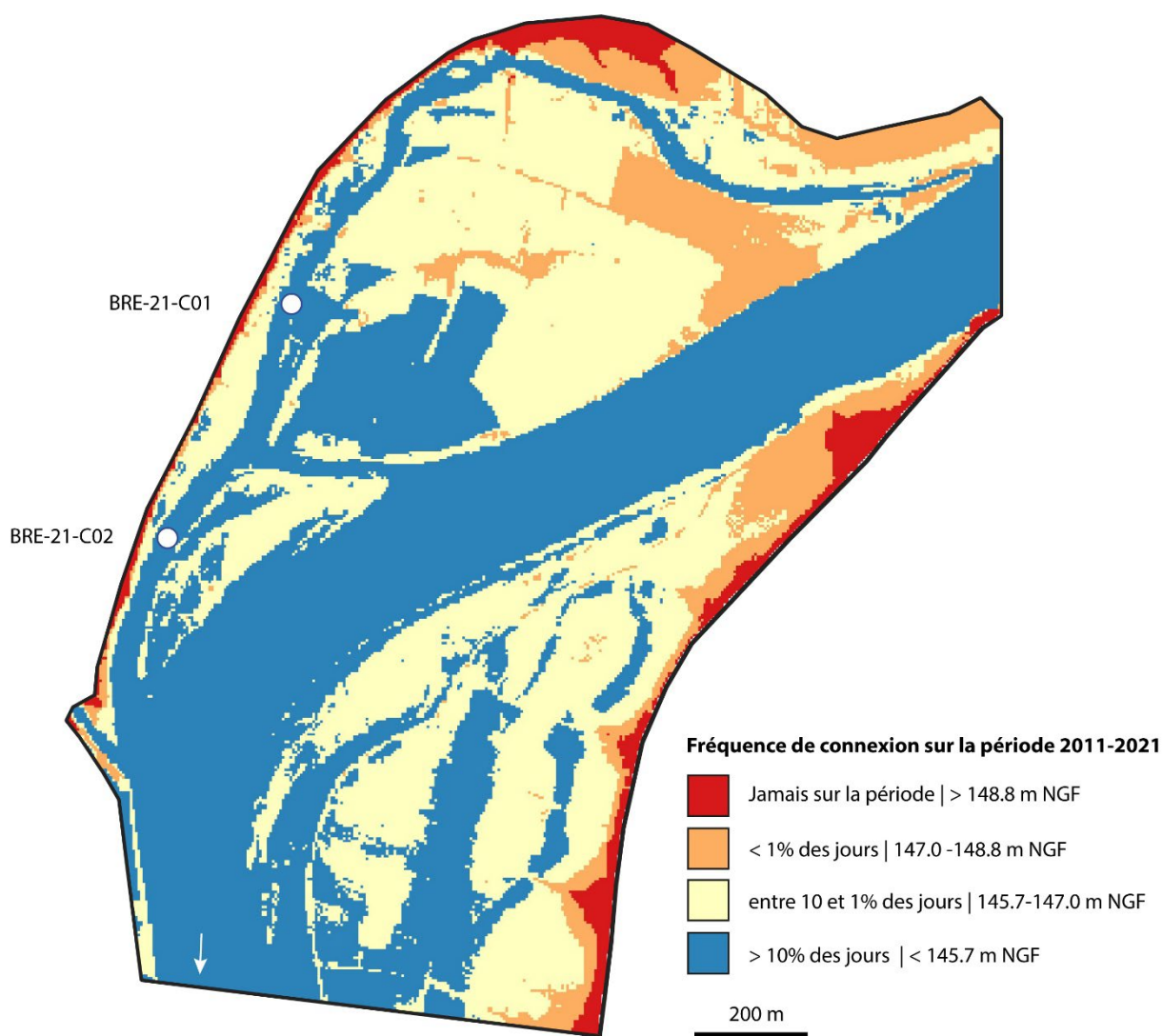


Figure 5. Evaluation de la fréquence de connexion de la station BRE sur la période 2011-2021. Cette spatialisation a été réalisée sur la base d'une confrontation des chroniques de hauteurs d'eau et du modèle numérique de terrain (Sources : HydroFrance; RGEAlt®). La zone est sous influence du barrage de St-Pierre-de-Bœuf.

2.4. Caractérisation des remplissages sédimentaires

Le remplissage sédimentaire a été étudié dans les lônes en combinant deux approches complémentaires : des sondages géophysiques WGPR et l'analyse d'archives sédimentaires. L'intérêt de cette méthode a été mis en avant dans de précédents rapports OSR et des publications traitant des sédiments du Rhône (Weit et al., 2023; Vauclin et al., 2021).

Analyses géophysiques

Les relevés WGPR ont été réalisés depuis une petite embarcation gonflable à l'aide de la structure GSSI SIR 3000 (Geophysical Survey Structure Inc., Salem, USA) équipée d'une antenne blindée. Deux fréquences ont été utilisées : 200 MHz ou 400 MHz selon la résolution voulue. Les résultats des acquisitions à 200 MHz sont présentés dans ce rapport (Fig. 6). L'image de la structure interne du remplissage sédimentaire a été reconstituée en identifiant la profondeur et la continuité de réflecteurs sur les profils. Ils sont obtenus en utilisant les propriétés de propagation des ondes électromagnétiques du WGPR, ce qui permet de différencier des dépôts de résistivité diélectriques différents.

De manière générale, les données géophysiques mettent en évidence des réflecteurs subhorizontaux et une homogénéité du remplissage sédimentaire. La majeure partie des profils ne présente pas d'anomalies visibles pouvant témoigner d'anciens travaux de brassage/curage de sédiments. Les carottes sédimentaires prélevées dans ces secteurs, 21-JON-C02 et 21-BRE-C01, peuvent être considérées comme relativement représentative des deux stations.

Les relevés WGPR mettent également en évidence des zones moins représentatives où des carottes ont été prélevées. C'est le cas pour la carotte 21-JON-C01 qui apparaît dans une cuvette sédimentaire séparée de la partie principale de la lône par une discontinuité. La carotte 21-BRE-C02 a également été prélevée dans un tronçon avec un remplissage différent du reste de la lône du Beurre. Un recouvrement sédimentaire borne la limite amont de ce secteur. Des travaux de curage ont eu lieu entre 1999 et 2001 au niveau des connexions amont et aval du système de lônes qui ont pu entraîner ce type de sédimentation (extraction, ajustements érosifs puis recouvrement)

Analyses sédimentologiques

L'ensemble des carottes sédimentaires ont été ouvertes et décrites. Seules les plus représentatives ont bénéficié d'une analyse sédimentologique approfondie. Une analyse multi-indicateurs a été mise en place associant :

- Densité apparente à 105°C et pertes au feu à 550°C et 950°C,
- Granulométrie laser sur une gamme de 0.1 à 3500 µm,
- Radionucléides ¹³⁷Cs et ²¹⁰Pb en excès mesurés par spectrométrie gamma.

Ensemble, ils permettent de caractériser la composition des sédiments et de reconstituer les taux d'accumulation sédimentaire (Mass Accumulation Rate en g/cm²/an et Sedimentation Rate en cm/an) et les modèles d'âge (Fig. 7).

La carotte 21-BRE-C01 est relativement homogène alors que la carotte 21-JON-C02 présente deux unités sédimentaires distinctes, en cohérence avec les profondeurs des réflecteurs établis par WGPR. La partie supérieure de l'archive de JON et l'ensemble de cette de BRE sont très proches en termes de composition sédimentaire. Elles sont essentiellement composées de limons (entre 65 et 82%, 65-82%) avec une moindre proportion de sables (11-32%) et d'argile (4-9%). La médiane de la taille des grains D₅₀ est relativement basse (11-32 µm). La teneur en matière organique (perte au feu à 550°C) est comprise entre 3 et 10% et celle de carbonates (perte au feu à 950°C) entre 15 et 21%. La partie basale de la carotte 21-JON-C-21 (60-96 cm de profondeur) présente une composition différente avec une plus forte teneur en limons (69-77%) et argiles (8-15%). Le D₅₀ est plus fin encore (10-16 µm) et les sédiments sont plus riches en carbonates (20-25%).

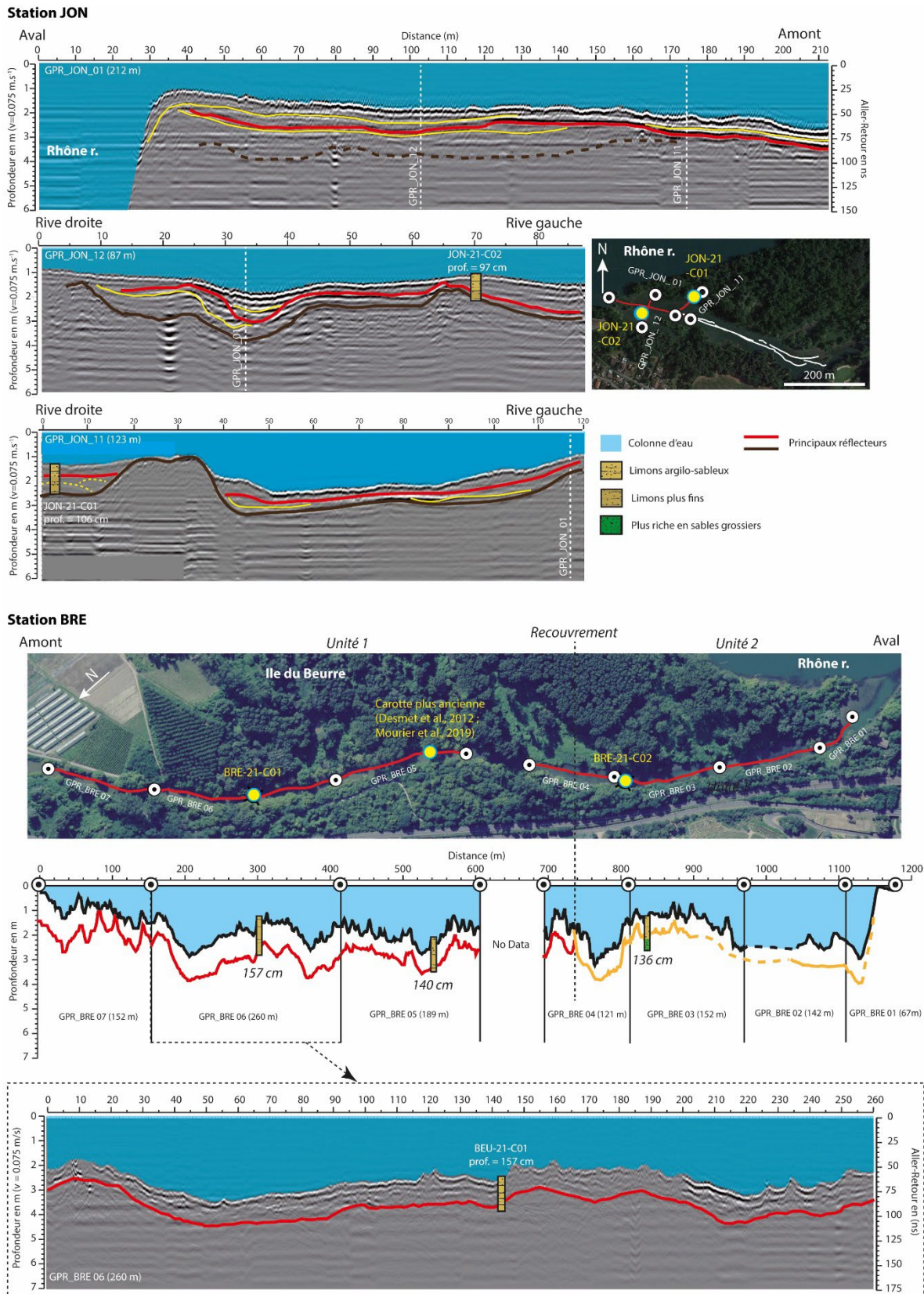


Figure 6. Relevés géophysiques (WGPR à 200 MHz) le long de transects longitudinaux et latéraux des îlons des Pêcheurs (JON) et de la Chèvre et du Beurre (BRE).

Les profils verticaux des radionucléides permettent un ancrage temporel robuste. Pour les deux carottes, la profondeur du pic de ^{137}Cs associé à la catastrophe de Tchernobyl (1986) est cohérente avec les taux de sédimentation définis à partir de la décroissance d'activité du ^{210}Pb en excès. Sur cette base les modèles d'âges des deux carottes couvrent une période commune - le début des années 1980 jusqu'à 2021 pour JON-21-C02 et le milieu des années 1980 à 2021 pour BRE-21-C01. Pour autant, les taux d'accumulation sont bien plus importants pour la station BRE (3.4 cm/an ou 2.7 g/cm²/an) qu'à JON (1.4 cm/an ou 0.9 g/cm²/an).

Le ^{137}Cs n'est pas détecté dans la partie inférieure de la carotte JON-21-C02, attestant d'un dépôt antérieur aux années 1950. De même, à la transition entre les deux unités le profil en radionucléide n'est pas exploitable. Dans ces conditions, le modèle d'âge n'a pas été déterminé dans les niveaux inférieurs de cette carotte. Ces niveaux plus anciens se sont également déposés dans des conditions différentes documentées dans la diachronie du site (cf. §2.2), impliquant certainement une sédimentation discontinue.

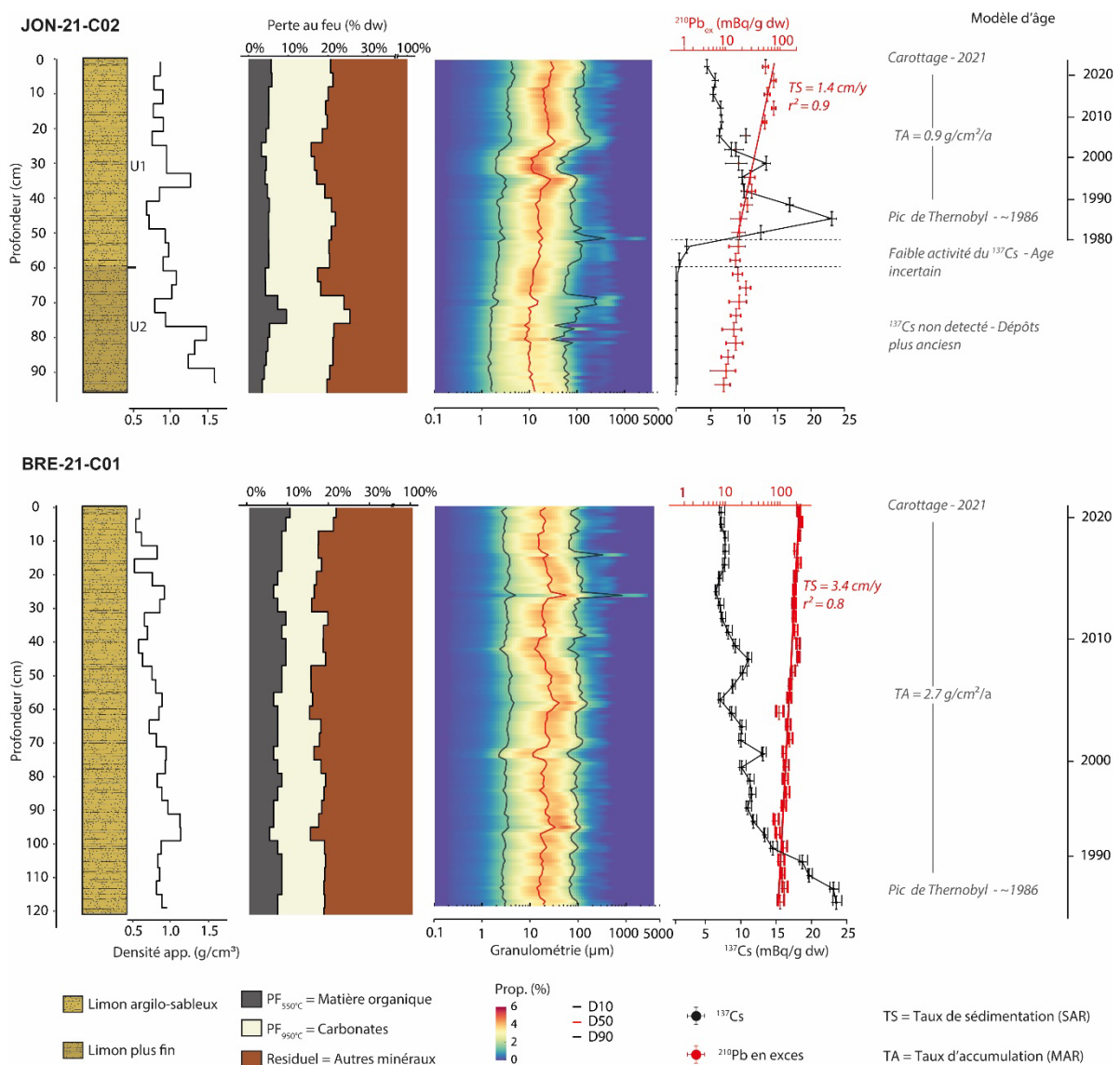


Figure 7. Analyse sédimentologique multi-indicateurs réalisée sur les carottes JON-21-C02 et BRE-21-C01 récupérées dans les lônes de Pêcheurs (JON) et de la Chèvre et du Beurre (BRE).

3. Enseignements concernant la sédimentation fine dans les lônes des tronçons non court-circuités sous influence des barrages

Dans le cadre de l'OSR 6 les études ont porté sur des lônes présentes dans des tronçons du RT. Ces lônes sont implantées dans des zones sous influence des retenues de barrages. Pour autant, d'autres secteurs devront être investigués pour aboutir à une compréhension plus globale des mécanismes de sédimentation dans les tronçons RT, en particulier :

- des secteurs plus en aval, entre la station BRE et celle du Mas des Tours ;
- des secteurs moins soumis à la gestion de la ligne d'eau par des barrages, malgré tout, les annexes fluviales avec des écoulements libres sont peu fréquentes dans le Rhône compte tenu de l'importance du linéaire soumis à un effet backwater ;
- les plaines d'inondation des stations investiguées, qui n'ont pour l'instant pas été étudiées et qui bénéficient dans les zones les plus basses d'une connectivité fréquente en période de crue.

3.1. Mécanismes de constitution des stocks de sédimentaires

Les résultats des analyses réalisées dans les stations JON et BRE convergent pour apporter des premiers éléments de compréhension concernant les mécanismes de sédimentations dans les lônes des tronçons de RT. La stabilisation de la gestion de la ligne d'eau par les barrages à la fin des années 1970-début des années 1980 apparaît ainsi comme un élément déterminant. Le contrôle des écoulements par l'aval semble ainsi avoir favorisé la mise en place de conditions hydrosédimentaires permettant la sédimentation fine dans les lônes - vitesse d'écoulement et turbulences réduites lors des épisodes de crues les plus fréquentes tout du moins.

En conséquence, un dépôt similaire en termes de composition sédimentaire s'est mis en place de manière quasi synchrone dans les deux stations étudiées, comme à la station du Mas des Tours à Beaucaire. La composition des sédiments, essentiellement limoneux et relativement riches en matière organique est assez proche des dépôts post-dérivation accumulés dans les chenaux secondaires des RCC. En revanche, la sédimentation dans les lônes des tronçons RT est plus homogène et continue.

Pour les carottes JON-21-C02 et BRE-21-C01, le taux de sédimentation calculé entre le pic de ^{137}Cs de Tchernobyl (1986) et la date de carottage (2021), est de 1.3 cm/a et 3.2 cm/a (Fig. 8). Plus en aval à la station de Beaucaire, ce taux de sédimentation atteint 7.6 cm/a. Cette comparaison semble indiquer une forme de progression d'amont en aval de ce paramètre. Elle pourrait être en lien avec l'évolution longitudinale des débits et donc du flux sédimentaire transporté en temps de crue.

Pour autant, d'autres facteurs peuvent également influencer sur les taux de sédimentation comme la configuration géomorphologique et la connectivité des sites. Le taux de sédimentation en amont du barrage de St-Pierre-de-Bœuf situé quelques kilomètres en aval de la station BRE est d'ailleurs un peu plus fort (4.1 cm/a). En revanche, les carottes analysées dans le RCC de Péage-de-Roussillon attestent de plus faibles taux de sédimentation, variables entre les environnements de dépôts : 1.4 cm/a dans le bras semi-actif, 2.3 cm/a dans le bras actif.

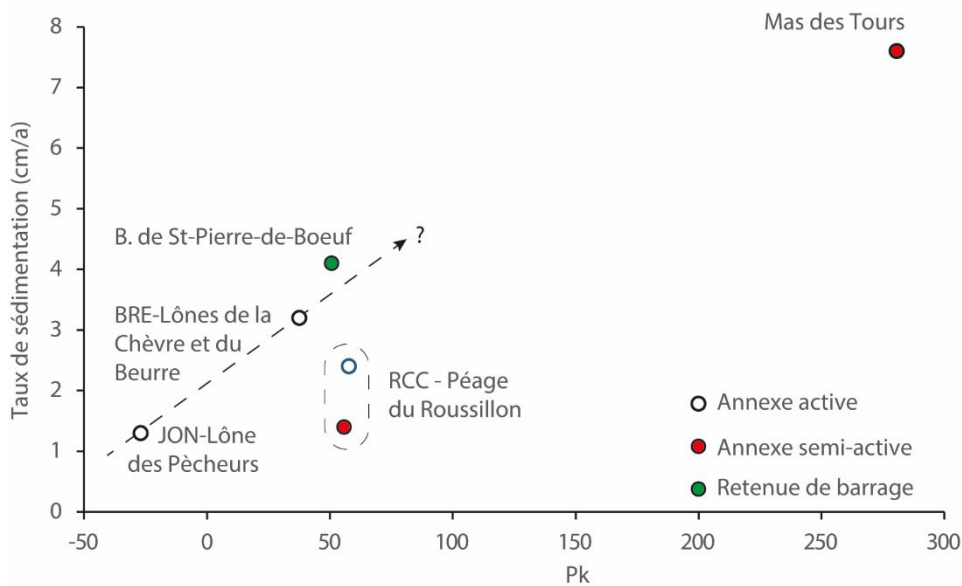


Figure 8. Comparaison du taux de sédimentation calculé sur la période 1986 - date de carottage dans des carottes sédimentaires prélevées dans des tronçons RT et RCC et dans différents environnements de dépôt. La carotte du barrage de Saint-Pierre-de-Bœuf, couvre seulement une période allant du début des années 1990 à 2019, le taux de sédimentation est basé sur la décroissance du ^{210}Pb en excès.

3.2. Influence de la gestion des barrages sur le remplissage sédimentaire

L'impact des barrages en cascade au niveau du chenal principal est relativement connu (Skalak et al., 2013). En amont du barrage, une zone de réservoir est créée, favorisant l'accumulation des sédiments fins. En limite amont de la zone d'influence, un delta se met en place, avec une sédimentation plus complexe qui se matérialise par une charge en sédiments grossiers plus importante et des sédiments fins en teneurs fluctuantes du fait de phases répétées de dépôts et reprise. En aval des barrages, la recharge sédimentaire limitée aboutit à une incision du lit. Ces altérations tendent à s'effacer jusqu'à la prochaine retenue.

Dans le contexte des lônes des tronçons RT, l'influence de la gestion des barrages sur le remplissage sédimentaire n'avait pas encore été étudiée. Des discontinuités sédimentaires et des ruptures dans l'accumulation des sédiments ont été recherchées dans les carottes JON-21-C02 et BRE-21-C01. Pour autant, les remplissages sédimentaires post-barrage sont très homogènes et la sédimentation est continue dans les deux stations. Il apparaît ainsi que le contrôle des écoulements a abouti à des conditions de sédimentation stables sur plusieurs décennies.

Une des explications qui pourrait être apportée à cela tient au fonctionnement des barrages du Rhône. Leur rôle est essentiellement de maintenir la ligne d'eau et les vitesses d'écoulement pour permettre la dérivation du flux. Ainsi les ajustements pour répondre aux épisodes hydrologiques aboutissent le plus fréquemment à une submersion des lônes dans des conditions permettant le dépôt des sédiments fins. Lors de la phase de décrue, la diminution de la hauteur d'eau n'induit pas une augmentation de la vitesse dans les chenaux secondaires suffisante pour remobiliser ces dépôts. Lors des épisodes de crues les plus forts, dépassant la capacité de régulation des ouvrages, la situation doit être différente. Cependant, cela ne s'est pas traduit par des niveaux de crue ou des érosions visibles dans les enregistrements sédimentaires analysés.

3.3. Portée opérationnelle des recherches

Les recherches menées dans les lônes des tronçons RT ont une portée opérationnelle concernant différentes problématiques associées à l'accumulation des sédiments.

En premier lieu, ces études permettent de mieux comprendre le fonctionnement hydrosédimentaire des lônes. Il s'agit de connaissances essentielles pour accompagner les opérations de restauration écologiques et garantir leur pérennité. Ces recherches montrent ainsi que dans des zones soumises à l'effet backwater la dynamique de comblement des lônes peut être relativement rapide, même après des travaux curage/remobilisation sédimentaires. Dans ces conditions, rétablir les cycles d'érosion / sédimentation menant à l'auto-entretien des lônes nécessiterait également d'agir sur le contrôle aval des écoulements et possiblement sur les endiguements limitant fortement les connexions amont.

La modélisation hydrosédimentaire a montré un intérêt particulier pour mieux comprendre les dynamiques de comblements dans les annexes des RCC (Noclin, 2024). Les enseignements de ces recherches pourront contribuer au développement de cette approche dans les lônes des tronçons RT.

La composition sédimentaire, fine et organique, combinée aux sources de contamination industrielles, urbaines et agricoles, laisse également présager la constitution d'importants stocks de polluants piégés avec les sédiments des lônes. Dans la station BRE, les analyses ont mis en évidence d'importants niveaux de contamination en polluants organiques persistants et microplastiques (Mourier et al., 2019 ; Dhivert et al., 2024). Des analyses des composés per- et polyfluoroalkylés (PFAS) sont en cours. Une évaluation des stocks en microplastiques dans la lône fait d'ailleurs état d'une accumulation de 966 kg/ha sur les quatre décennies enregistrées. Ces stocks de contaminants complexifient grandement la gestion des sédiments dans un contexte de restauration des lônes. En place, un risque toxique pour l'écosystème aquatique de la lône est envisageable. Le risque d'érosion lors de futures crues exceptionnelles se pose également, impliquant une contamination plus vaste dans le chenal principal par remobilisation de stocks anciens. Les travaux de curage/remobilisation des sédiments contaminés impliquent quant à eux des problèmes de faisabilité technico-économiques, des précautions particulières devant être prises pour limiter les dégradations environnementales *in situ* et dans le chenal principal, posant également la question des filières de traitement/stockage des matériaux excavés.

D'un autre point de vue, la sédimentation homogène et continue, relativement proche entre les stations, font des lônes d'intéressants environnements de dépôts pour analyser les tendances de la contamination sur plusieurs décennies le long du linéaire. En se plaçant dans des tronçons RT, les enregistrements sont plus représentatifs des flux totaux transportés dans le fleuve (comparativement aux RCC). Les reconstitutions historiques des contaminations à partir des archives sédimentaires prélevées dans ces milieux trouvent un intérêt particulier pour l'évaluation des politiques publiques et l'aide à la décision (restauration, risques, contaminants, etc..).

4. Conclusion et perspectives

Dans le cadre de l'OSR 6 des études ont été menées dans deux lînes implantées dans des tronçons de Rhône non court-circuités dans le but de caractériser les mécanismes de dépôt des fines dans ces secteurs encore peu étudiés et d'évaluer l'influence de la gestion des barrages sur cette sédimentation. Plusieurs analyses ont été réalisées : évolution hydrogéomorphologique, fréquence de connexion, remplissage sédimentaire.

Ces analyses ont mis en évidence :

- Le rôle crucial de la stabilisation de la ligne d'eau par les barrages à partir de la fin des années 1970 - début des années 1980 dans la dynamique de comblement des lînes.
- La mise en place d'une sédimentation similaire dans les deux stations de manière synchrone. Homogène et continu, le remplissage sédimentaire est essentiellement composé de limons riches en matière organique.
- Des taux de sédimentation différents entre les deux sites, plus importants dans la station aval, probablement dépendants de l'évolution longitudinale du débit.

D'un point de vue scientifique, ces recherches ont permis d'initier une comparaison des mécanismes et dynamiques de sédimentation dans les bras secondaires des tronçons RT et RCC.

Elles ont également généré des informations essentielles pour améliorer la modélisation hydrosédimentaire dans ces environnements de dépôts, en lien avec les travaux de thèse de Nicolas Noclin et la modélisation 1D du Rhône.

En connexion avec les programmes de restauration écologiques (CNR, CEN, gestionnaires locaux) et le programme de recherche RhônEco ces recherches participent à l'orientation de la gestion des sédiments stockés dans les lînes et questionne la pérennité des travaux. Les quantités sont importantes et les dynamiques de sédimentation rapides. Leur gestion peut être rendue plus complexe encore du fait de leur composition propice à l'accumulation des contaminants.

En perspectives, un intérêt particulier émerge quant à l'étude de nouveaux secteurs permettant de compléter la compréhension des mécanismes de sédimentation et de l'influence des aménagements. Dans le cadre de l'OSR 7 des secteurs encore peu documentés ont été ciblés comme le Haut Rhône, la Saône comme principal affluent du fleuve et le delta et son prolongement subaquatique.

5. Bibliographie

- Bouvet, Y., Cristau-Quost, I., Thiero Yatabary, N., 1982. Structure et fonctionnement des écosystèmes du Haut-Rhône français. XXII : Contribution à l'étude des poissons d'un bras mort, la Lône des Pêcheurs. Publications de la Société Linnéenne de Lyon 51, 134–147.
<https://doi.org/10.3406/linly.1982.10533>
- Bravard, J. P. (2010). Discontinuities in braided patterns: The River Rhône from Geneva to the Camargue delta before river training. *Geomorphology*, 117(3-4), 219-233.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.01.020>
- Camenen, B., Andries, E., Faure, J.B., 2012. Etude des transferts de sédiments fins dans le système Rhône: L'île du Beurre. <https://hal.science/hal-02597877v1>
- Citterio, A., Piégay, H., 2009. Overbank sedimentation rates in former channel lakes: characterization and control factors. *Sedimentology* 56, 461–482. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2008.00979.x>
- Croiset, C., Dhivert, E., Phuong, N. N., Grosbois, C., Zalouk-Vergnoux, A., Baltzer, A., & Gasperi, J. (soumis en mars 2024). Fine- scaled spatial distribution of microplastics in overbank deposits and sandbar sediments of the river Loire (France). *Science of the Total Environment*
- Desmet, M., Mourier, B., Mahler, B. J., Van Metre, P. C., Roux, G., Persat, H., ... & Babut, M. (2012). Spatial and temporal trends in PCBs in sediment along the lower Rhône River, France. *Science of the Total Environment*, 433, 189-197. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.06.044>
- Dhivert, E., Pruvost, J., Winiarski, T., Gasperi, J., Delor-Jestin, F., Tassin, B., & Mourier, B. (2024). Time-varying microplastic contributions of a large urban and industrial area to river sediments. *Environmental Pollution*, 123702. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123702>
<https://hal.science/OSR/hal-04493052v1>
- Mira, A. (2015). Etude de la dynamique sédimentaire de l'amont de la lône de l'île du Beurre. Rapport de stage, Université de Lyon.
- Monin. (2018). Complexe de lônes de la Chèvre et du Beurre- Hydromorphologie - Travaux et suivis . Note de synthèse, Centre de l'île du Beurre
- Morereau, A., Lepage, H., Claval, D., Cossonnet, C., Ambrosi, J. P., Mourier, B., ... & Eyrolle, F. (2020). Trajectories of technogenic tritium in the Rhône River (France). *Journal of Environmental Radioactivity*, 223, 106370. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106370>
<https://hal.science/OSR/hal-02928805v1>
- Mourier, B., Labadie, P., Desmet, M., Grosbois, C., Raux, J., Debret, M., ... & Babut, M. (2019). Combined spatial and retrospective analysis of fluoroalkyl chemicals in fluvial sediments reveal changes in levels and patterns over the last 40 years. *Environmental pollution*, 253, 1117-1125. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.079>
- Noclin N. (2024). Rôle du forçage hydraulique sur les environnements de dépôt sédimentaire des annexes fluviales - approche sédimentologique et numérique appliquée au Rhône. Thèse de Doctorat, Université de Lyon – LEHNA-INRAE
<https://hal.science/OSR/hal-04652887v1>
- Parrot, E., 2015. Analyse spatio-temporelle de la morphologie du chenal du Rhône du Léman à la Méditerranée. Université de Lyon, France.

Poinsart, D., Bravard, J.P., M.C. Caclin, 1989. Profil en long et granulométrie du lit des cours d'eau aménagés : l'exemple du canal de Miribel (Haut-Rhône). *Revue de Géographie de Lyon* 64, 240–251.

Seignemartin G., Piégay H., Belletti B., Ghaffarian Roohparvar H., Winiarski T., Mourier B. (2021). Évolution morphologique des marges alluviales et évaluation des stocks de sédiments grossiers à Baix-Le-Logis-Neuf et Beaucaire. Rapport Final. Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR), 5^{ème} Programme d'Actions, 51 p.

<https://hal.science/OSR/hal-03290964v1>

Seignemartin, G., Mourier, B., Riquier, J., Winiarski, T., & Piégay, H. (2023). Dike fields as drivers and witnesses of twentieth-century hydrosedimentary changes in a highly engineered river (Rhône River, France). *Geomorphology*, 431, 108689. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108689>

<https://hal.science/OSR/hal-04061255v1>

Skalak, K. J., Benthem, A. J., Schenk, E. R., Hupp, C. R., Galloway, J. M., Nustad, R. A., & Wiche, G. J. (2013). Large dams and alluvial rivers in the Anthropocene: The impacts of the Garrison and Oahe Dams on the Upper Missouri River. *Anthropocene*, 2, 51-64.

<https://doi.org/10.1016/j.ancene.2013.10.002>

A. Tena, H. Piégay, G. Seignemartin, A. Barra, J.F. Berger, et al.. Cumulative effects of channel correction and regulation on floodplain terrestrialisation patterns and connectivity. *Geomorphology*, 2020, 354, pp.107034. (10.1016/j.geomorph.2020.107034). (hal-02485108)

<https://hal.science/OSR/hal-02485108v1>

Vauclin, S., Mourier, B., Dendievel, A. M., Noclin, N., Piégay, H., Marchand, P., ... & Winiarski, T. (2021). Depositional environments and historical contamination as a framework to reconstruct fluvial sedimentary evolution. *Science of the Total Environment*, 764, 142900.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142900>

<https://hal.science/OSR/hal-03070723v1>

Weit, A., Mourier, B., Fretaud, T., Winiarski, T., 2023. Combined usage of geophysical methods in continental water bodies, their benefits and challenging issues: A special focus on sediment deposits in dam reservoirs. *Journal of Applied Geophysics* 213, 105036.

<https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2023.105036>

<https://hal.science/OSR/hal-04502266v1>

Annexes

Annexe 1 – Lône de Granges (GRA) - station abandonnée

La carotte GRA-22-C02 a été prélevée dans la lône de Granges à l'aide d'un carottier UWITEC. Elle a été ouverte et décrite au laboratoire. Elle est d'aspect globalement laminé et semble plus compactée en dessous de 30 cm de profondeur (fig. A1). Les résultats de datation (fig. A2) retranscrivent que la carotte représente une séquence récente (1999-2022).

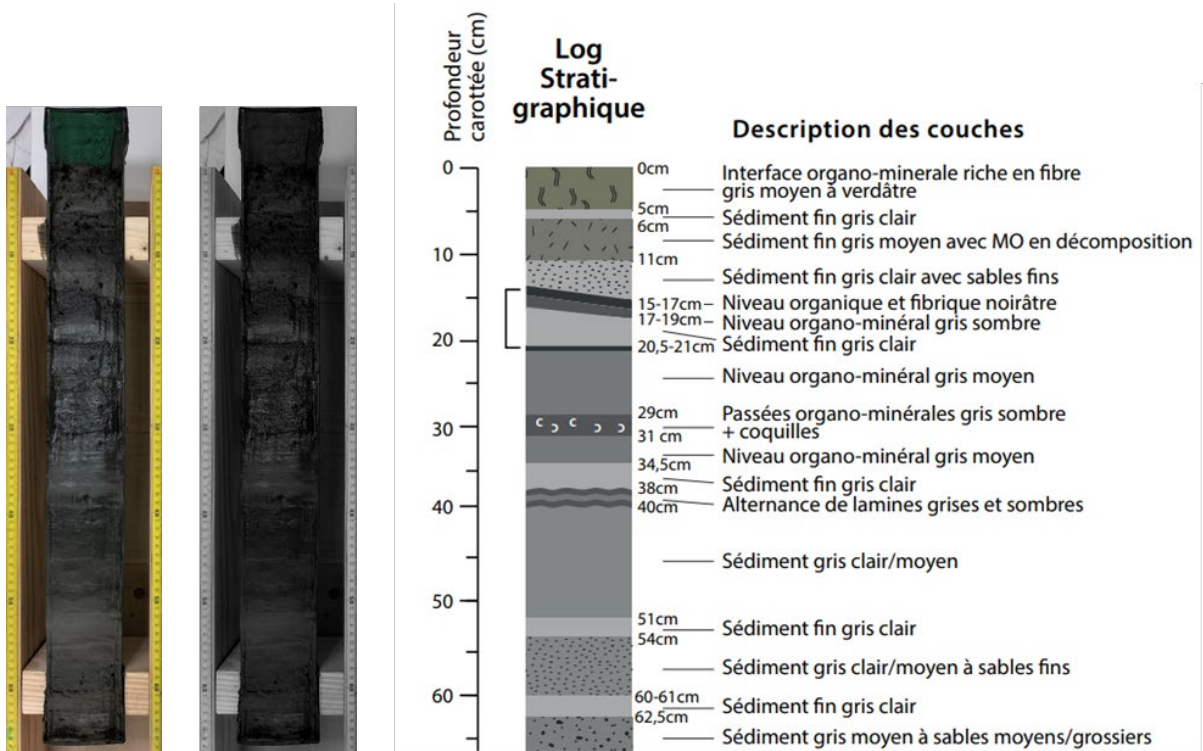


Figure A1 : photo et log de la carotte GRA22-C02 (Granges)

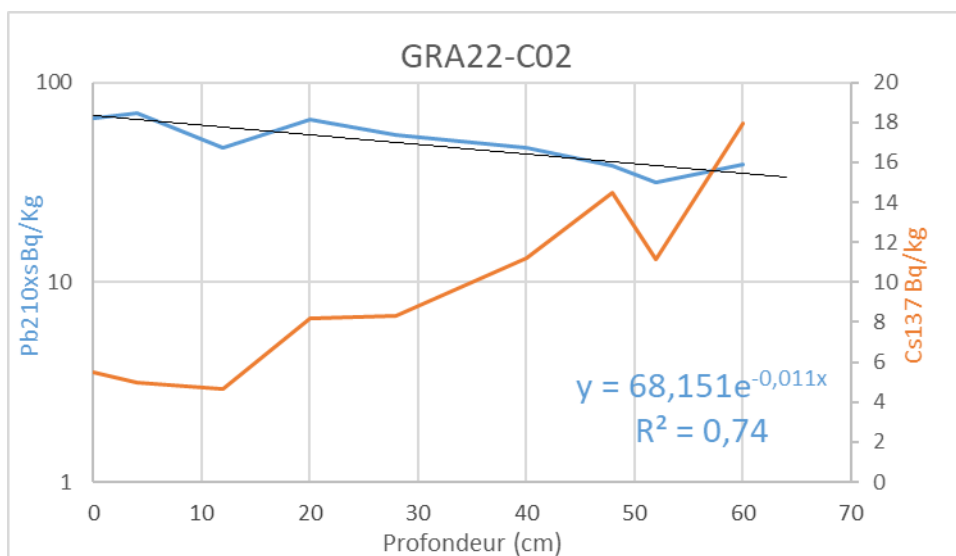


Figure A2 : datation au Pb210xs de la carotte GRA-22-C02



Observatoire des Sédiments du Rhône

Dispositifs scientifiques cadres



Partenaires scientifiques



Partenaires techniques et financiers

