

Le diagnostic hydrogéomorphologique des petites rivières urbaines : héritages et fonctionnement

Lucile de Milleville^{1*}, Frédéric Gob², Laurent Lespez¹, Evelyne Talès³

¹ Université de Paris Est Créteil & Laboratoire de Géographie Physique CNRS

² Université de Paris I Panthéon-Sorbonne & Laboratoire de Géographie Physique CNRS

³ INRAE, Equipe HYCAR, Antony

* lucile.demilleville@lgp.cnrs.fr

Résumé

La restauration écologique implique une gestion globale de l'hydrosystème, c'est-à-dire de la morphologie de la rivière, des fonds de vallées et des zones humides et inondables. Or, depuis plusieurs millénaires, les activités humaines transforment les cours d'eau et leurs plaines alluviales, notamment dans la région parisienne. L'état (ou le fonctionnement) de référence de la restauration, parfois présenté comme une opération de renaturation, renvoie, d'une part, à un concept peu clair sans lien évident avec la réalité empirique, et participe, d'autre part, d'horizons à court terme présumés immuables. Il est donc nécessaire de définir un fonctionnement de référence remplaçant la matérialité contemporaine dans une trajectoire fonctionnelle. Intégrer les études paléoenvironnementales aux projets de restauration permet en effet (1) d'évaluer l'influence des héritages morphosédimentaires sur la dynamique contemporaine et (2) d'alimenter la réflexion sur le fonctionnement de référence, les états attendus, et la durabilité de la restauration écologique. C'est pourquoi la méthodologie employée dans ce rapport caractérise (1) les dynamiques contemporaines via un relevé systématique des formes et objets anthropiques mis en relation avec le fonctionnement hydrologique et (2) les héritages morphosédimentaires, via des prospections géophysiques et carottages servant de support à des analyses multi-indicateurs (susceptibilité magnétique, sédimentologie, géochimie) afin de déterminer l'évolution et le fonctionnement des milieux (compétence du cours d'eau, fréquences de débordement). Les premiers résultats de cette approche sont présentés pour la Mérantaise, au sud-est de Paris.

Points clefs

- ✓ *Restauration écologique des petits cours périurbains*
- ✓ *Altérations hydrogéomorphologiques et écologiques, fonctionnement contemporain et héritages*
- ✓ *Relation entre hydrogéomorphologie et habitat des macroinvertébrés*

Abstract

Ecological restoration implies the holistic management of the hydrosystem, that is, the river's morphology, valley floor, wetlands and floodplains. Yet, for several millennia, human activities have been transforming rivers and their alluvial plains, notably in Paris' region. The reference state/functioning that ecological restoration seeks (sometimes erroneously presented as a "renaturation" process), on the one hand, refers to an unclear concept that seems unrelated to any empirical reality, and on the other hand, results in short-sighted horizons presumed immutable. Defining a reference functioning that places the river's actual contemporary state back within a functional trajectory is therefore necessary. The integration of paleoenvironmental studies into restoration projects allows to (1) evaluate the influence of morphosedimentary legacies on contemporary dynamics and (2) stimulate the thinking about reference functioning, expected states and the sustainability of ecological restoration. Therefore, our methodology characterises (1) the contemporary dynamics through a systematic survey of shapes compared to hydrological functioning and (2) morphosedimentary legacies through geophysical prospections and core samples used as a basis for multi-indicator analysis (magnetic susceptibility, sedimentology, geochemistry) in order to determine environments' evolution and functioning (watercourse's competency, overflow frequency). The first results obtained for the Merantaise River, SE of Paris, are presented.

Key points

- ✓ Ecological restoration of suburban's streams
- ✓ Hydrogeomorphological and ecological alterations, current operation and the role of legacies
- ✓ Relationship between hydrogeomorphology and macroinvertebrate habitat

Introduction

La recherche hydrogéomorphologique conduite sur les trois cours d'eau (Biberonne, Mérantaise et Morbras) du projet PARISTREAMs développe un diagnostic qui articule les connaissances sur le temps long et sur le fonctionnement actuel des petits cours d'eau périurbains. L'approche par le temps long a pour objectif de définir les trajectoires d'altération de ces hydrosystèmes en identifiant d'éventuels points de bascule et d'identifier les héritages et leur rôle dans leur fonctionnement contemporain. L'étude des dynamiques contemporaines est exhaustive et a pour objectif de révéler la variabilité morphologique et fonctionnelle des cours d'eau étudiés pour permettre des approches territorialisées de leur gestion et restauration.

Depuis les années 2000, les projets de restauration de rivières se sont considérablement développés. Ils font suite à la Directive Cadre sur l'Eau (DCE, 2000), imposant aux États membres l'atteinte d'un « bon état écologique » des masses d'eau d'ici 2027, ajoutant ainsi la restauration écologique aux enjeux de la gestion des rivières. La restauration écologique des rivières est définie comme « *une grande variété de mesures et pratiques écologiques, physiques, spatiales et de gestion, dont l'objectif est de restaurer l'état et le fonctionnement naturels du système fluvial pour favoriser la biodiversité, la régénération, la gestion des crues et le développement du paysage* ». Elle implique une gestion globale de l'hydrosystème, c'est-à-dire de la morphologie de la rivière mais aussi des fonds de vallées et des zones humides et inondables. Cependant, depuis plusieurs millénaires, les activités humaines ont profondément transformé les cours d'eau et leurs plaines alluviales en Europe, et notamment en Île-de-France (Jugie et al., 2017; Brown et al., 2018) : le concept d'état naturel apparaît dès lors inadapté (Notebaert et al., 2018). Aussi, l'objectif d'un projet de restauration est un état ou un fonctionnement de référence pour lequel la compréhension du système actuel, et son positionnement dans une trajectoire fonctionnelle, est susceptible d'apporter des informations cruciales aux gestionnaires.

Dans les espaces périurbains, aux transformations de l'agriculture (intensification) et des réseaux de transport, qui impactent la plupart des bassins versants européens, s'ajoutent les conséquences de l'étalement urbain. En effet, les surfaces imperméabilisées ont été multipliées, augmentant ainsi le risque de ruissellement et la production hydrologique (Navratil et al., 2013; Schmitt et al., 2016) malgré les politiques récentes qui luttent contre leur extension. Cette pression engendre une dégradation écologique forte. Ainsi, en 2015, *l'état écologique* du réseau hydrographique d'Île-de-France était, à 56 %, en classe *moyen à médiocre* contre seulement 18 % classé comme *bon* ; cette dégradation touche particulièrement les petites rivières périurbaines. Cela dit, si l'altération est généralisée, elle n'est pas uniforme. Chaque rivière périurbaine semble répondre différemment aux diverses pressions, et les évolutions des caractéristiques hydromorphologiques suivent des trajectoires différentes. De plus, les processus reliant ces pressions aux transformations hydrogéomorphologiques et biologiques sont encore mal connus, en particulier les liens entre la morphologie du lit, la charge de fond et l'assemblage des peuplements aquatiques (Brown et al., 2009; Booth et al., 2016). Il s'agit de cours d'eau de petites dimensions (quelques mètres de large), caractérisés par une faible énergie et des ajustements morphologiques à long terme. Ils constituent la majeure partie du chevelu hydrographique francilien. Ces rivières sont également caractérisées par leur statut de cours d'eau non domanial, par la pluralité d'acteurs publics et privés qu'elles mobilisent et par la diversité des situations géographiques dans lesquelles elles s'insèrent (degré d'urbanisation, nature du bassin versant et des alimentations hydrologiques, etc.). Les dynamiques fluviales qui leur sont propres demeurent aujourd'hui mal connues (Jugie *et al.*, 2018), l'attention ayant été surtout accordée aux grands corridors fluviaux (comme le montrent les principaux programmes du PIREN-Seine).

Ce projet a donc pour objectif de contribuer à une meilleure compréhension des petites rivières périurbaines en Île-de-France, en apportant des connaissances inédites sur *l'impact de l'anthropisation des cours d'eau et de leur bassin sur les deux derniers millénaires afin de restituer leur trajectoire hydromorphologique et biologique et de contribuer ainsi à la définition des projets de restauration*. L'intégration des études paléoenvironnementales au sein des projets de restauration, encore très peu pratiquée, permettrait (1) de comprendre la part et le rôle des héritages morphosédimentaires sur la dynamique contemporaine, (2) de situer le fonctionnement contemporain du système fluvial dans une trajectoire biophysique afin d'identifier les seuils dans le fonctionnement des hydrosystèmes et d'anticiper certains changements de dynamique, et (3) d'alimenter la discussion sur le fonctionnement de référence ou les états attendus, et sur la durabilité de la restauration écologique (Lespez et al., 2015).

1. Terrains d'étude

Afin de comprendre l'évolution historique du fonctionnement biophysique de ces systèmes périurbains en lien avec l'histoire de l'aménagement de leur bassin versant, trois petites rivières de la région parisienne ont été sélectionnées (Fig. 1). Elles sont disposées selon un gradient d'urbanisation.

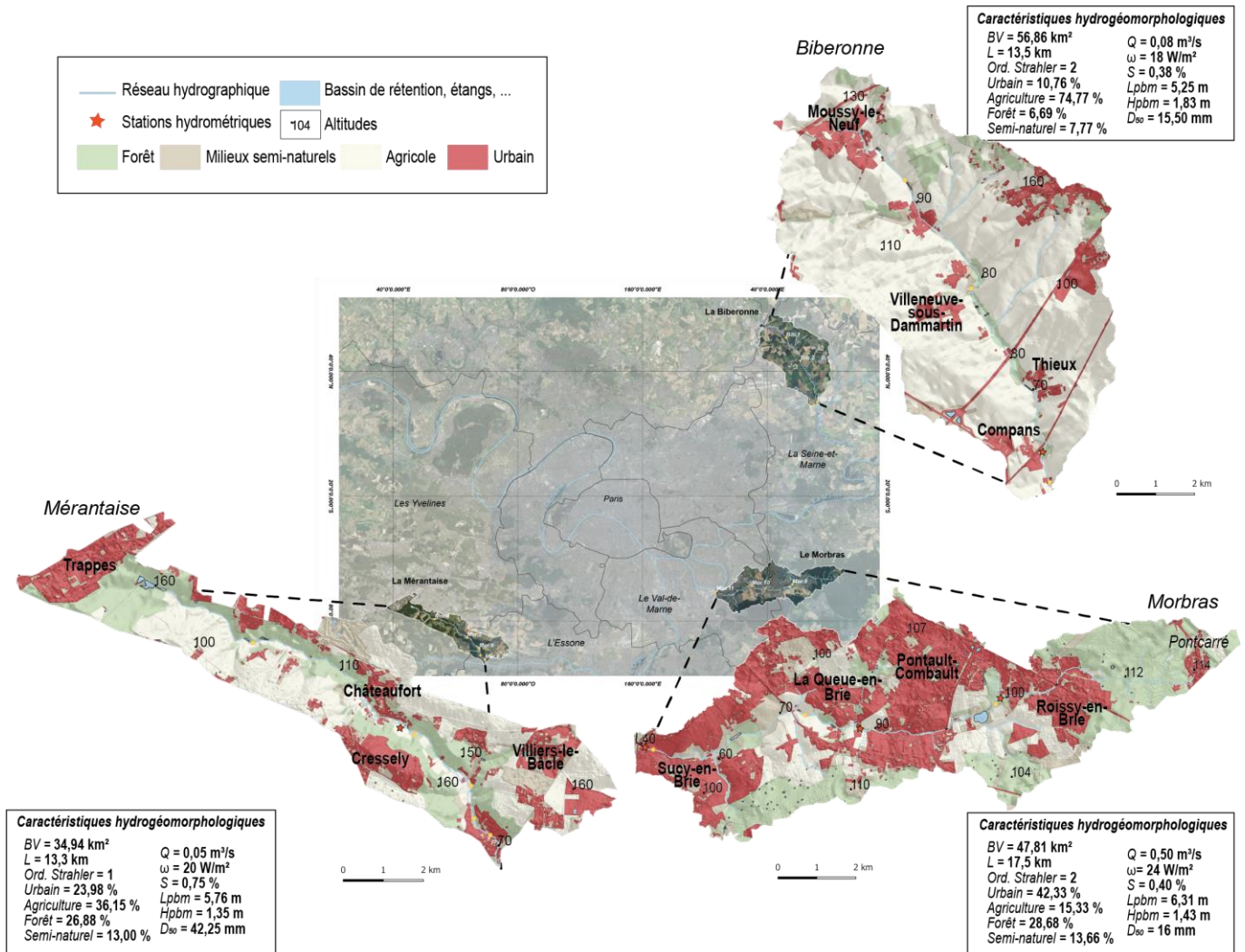


Figure 1. Localisation des trois systèmes étudiés dans l'espace francilien.

BV : bassin versant (km²), L : linéaire (Km), Q : débit (m³/s), ω : puissance spécifique (W/m²), S : pente (%), Lpbm : largeur plein bord moyenne (m), Hpbm : profondeur plein bord moyenne (m), D₅₀ : diamètre médian (mm).

La Biberonne, affluent principal de la Beuvronne, est située dans le nord-est de la région. Son bassin versant mesure 57 km², dont 74,77 % sont agricoles (Fig. 1). Cette rivière est longue de 13,5 km et large, en moyenne, de 5,2 m. Sa pente moyenne est de 0,38 %. Elle s'écoule dans un bassin très largement recouvert par des limons de plateau et des colluvions polygéniques et s'encaisse, à l'amont, dans les calcaires de Saint-Ouen (Bartonien moyen), caractérisés par la présence de lits de silex et, à l'aval, dans les sables de Beauchamps (Bartonien inférieur), qui fournissent la fraction sableuse du lit de la rivière, par ailleurs majoritaire.

Le Morbras, affluent de la Marne, est situé dans le sud-est de la région parisienne. Son bassin mesure 48 km², dont 42,33 % sont urbains (Fig. 1). Cette rivière est longue de 17,5 km et large, en moyenne, de 6,3 m. Sa pente moyenne est de 0,40 %. Le Morbras s'écoule, à l'amont, sur des limons de plateau, il s'incise ensuite progressivement dans des argiles à meulière et des calcaires de Brie puis des argiles vertes et des glaises à Cyrènes de l'Oligocène inférieur. En s'enfonçant dans le plateau, la rivière traverse ensuite des marnes blanches et bleues du Bartonien supérieur puis, enfin, des calcaires plus résistants de Champigny (Bartonien supérieur). Le contact avec ces calcaires (à une dizaine de kilomètres de la source) correspond à une rupture de pente (*knickpoint*) du profil en long. En effet, le Morbras s'écoule d'abord sur le plateau de Brie, autour de

110 m d'altitude avec une pente de 0,26 % qui passe brutalement à 1 % puis progressivement à 0,7 % pour rejoindre le niveau de la Marne à 32 m d'altitude.

La Mérantaise, affluent de l'Yvette, est située au sud-ouest de la région parisienne. Son bassin mesure 35 km², dont 24 % sont urbains, 36 % agricoles, et 27 % forestiers (Fig. 1). Cette rivière est longue de 13,3 km et large, en moyenne de 5,8 m. Sa pente moyenne est de 0,76 %. Comme les deux autres bassins versants, celui de la Mérantaise est très largement recouvert de limons de plateau plus ou moins épais. Sa vallée est encaissée et recoupe des argiles à meulière de Montmorency puis des sables de Fontainebleau (Rupélien supérieur), et enfin, sur ses derniers kilomètres, des argiles vertes imperméables rupéliennes (Fig. 1). Le fond du lit de la Mérantaise est caillouteux.

Les régimes hydrologiques de ces trois cours d'eau sont directement influencés par le climat océanique dégradé et sont de type pluvio-évaporal. Les hautes eaux surviennent en hiver, entre décembre et mars et les étiages sont essentiellement atteints à la fin de l'été, entre août et septembre. Les trois cours d'eau sont inégalement équipés en stations hydrométriques. Si le Morbras est bien suivi avec trois stations de mesure hydrologique, la Mérantaise n'en est équipée que depuis 2012 et la Biberonne n'est pas jaugée. Le débit moyen annuel de la Biberonne à l'exutoire est estimé à 0,27 m³/s à partir d'une station proche localisée sur la Beuvronne, celui du Morbras à Sucy-en-Brie (97 % du BV) est de 0,33 m³/s et celui de la Mérantaise à Châteaufort (58 % du BV) est de 0,11 m³/s. Cela donne respectivement des débits spécifiques d'environ 4,7, 6,9 et 5,2 l/s/km². En crue, ces débits peuvent augmenter très rapidement – dépassant assez régulièrement, sur les trois cours d'eau, 2 ou 3 m³/s – et atteindre dans le cas du Morbras jusqu'à 10 m³/s.

2. Méthodes

2.1. Données de terrain

2.1.1. Protocole d'acquisition des données hydromorphologiques

La méthode mise en place consiste à parcourir l'ensemble du linéaire des cours d'eau pour réaliser au moins un profil en travers (mesure de la hauteur et largeur à plein bord) à chaque radier, accompagné d'une mesure de sa longueur, et à localiser les mouilles afin de répertorier l'alternance radier-mouille. La fréquence d'échantillonnage a été ajustée : en l'absence de radier sur une distance jugée trop longue, un profil en travers a été réalisé, si possible au niveau d'un changement d'unité morphodynamique (Fig. 2). Sur chaque profil en travers, les berges ont été décrites (végétation, enrochement, érosion...) ainsi que la nature du fond du chenal (fines, sables, graviers/galets, substrat). Enfin, chaque structure artificielle transversale (pont, passerelle, ou seuil) et chaque rejet potentiel (pluvial, privé ou drain) a été inventorié, caractérisé et localisé.

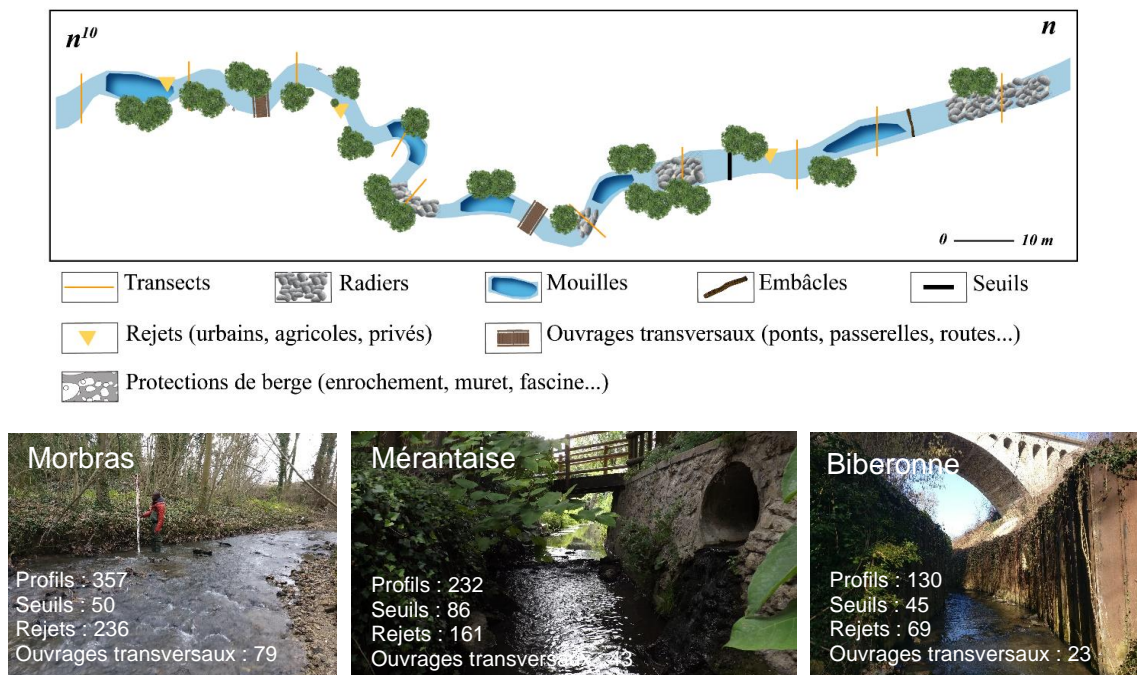


Figure 2. Schéma méthodologique et synthèse des données recueillies pour chaque rivière. (Les données de la Mérantaise ont été complétées à partir des données de Marion Jugie (2019))

2.1.2. Protocole d'échantillonnage des macroinvertébrés

L'intérêt de cette étude est de faire le lien entre le fonctionnement hydromorphologique et la réponse biologique de ces petits cours d'eau à partir des macroinvertébrés (Tales et al., 2017). Le protocole décrit ci-dessous est une adaptation du protocole I2M2 (Indice Invertébrés Multimétrique) (Mondy et al., 2012) puisqu'il n'est pas vraiment question ici d'évaluer la qualité du milieu. L'idée principale est de faire un échantillonnage en continu longitudinalement de manière à couvrir la gamme des variations observées du point de vue de l'hydromorphologie. Cinq stations de prélèvement de macroinvertébrés ont été définies pour chaque rivière. Le choix de ces stations s'est fait à partir d'une typologie hydromorphologique.

À chaque station, cinq échantillons ont été prélevés selon le protocole suivant :

- deux échantillonnages sur des radiers en milieu de chenal en variant la vitesse et la granulométrie mais en restant sur un substrat grossier (> 2 mm) ;
- deux échantillonnages sur des habitats de berges, si possible un abri ligneux ou végétation aquatique, sédiments fins ou support organique de type litière ;
- un échantillonnage sur l'habitat le plus représentatif de la station.

Sur chaque station, des mesures complémentaires ont été réalisées selon le protocole suivant :

- mesure de la largeur à plein bord, de la largeur mouillée et de la hauteur d'eau le jour de l'échantillonnage ;
- mesure de la physicochimie de la station selon les paramètres suivants : conductivité (μS), salinité, pH, saturation en oxygène (mg/L et %) et température ($^{\circ}\text{C}$) ;
- définition des caractéristiques locales de la station selon le protocole Carhyce (Caractérisation Hydrogéomorphologique des Cours d'Eau, Gob et al., 2014; Baudoin et al., 2017) : continuité de la ripisylve, largeur du corridor rivulaire et nature de la ripisylve, nature des berges et une granulométrie de type Wolman sur un radier par station.

2.1.3. Étude des archives sédimentaires : choix des sites et protocoles de mesure

L'étude des archives sédimentaires a pour objectif de reconstituer l'évolution de la géométrie du chenal et de la charge de fond et d'en déduire les débits caractéristiques passés. Pour chaque rivière, deux ou trois sites ont été choisis, selon un gradient amont-aval, et pour les forts enjeux géomorphologiques qu'ils représentent. Sur la Biberonne, les deux sites choisis ont pour intérêt de montrer l'évolution du chenal et donc la dynamique alluviale du système et de pouvoir s'appuyer sur les données recueillies par P. Orth (2003). Le site aval présente de plus la particularité de se situer à l'amont d'un moulin. Sur le Morbras, trois sites ont été choisis, qui partagent l'intérêt de montrer l'évolution de la dynamique du chenal. Sur la Mérantaise, trois sites ont été choisis : le premier correspond à un ancien étang et présente donc un potentiel important pour l'étude paléoenvironnementale des derniers siècles (dynamique de la végétation, paléobiodiversité aquatique et rivulaire) ; les deux autres sites sont proches d'aménagements hydrauliques (moulins) et ont pour intérêt de montrer l'évolution du chenal et donc la dynamique alluviale du système (Fig.3).

L'analyse paléohydrogéomorphologique a pour objectif de définir la succession des forçages (climat, occupation/usage du sol, aménagements hydrauliques) ayant abouti aux transformations du système fluvial et de mesurer la part des héritages dans le système contemporain.

La compréhension de la géométrie du remplissage alluvial du fond de vallée et de la géométrie des chenaux conservés dans les archives sédimentaires repose sur trois types d'investigation : la mise en place de carottages, de tranchées et de prospections géophysiques (tomographie électrique). La tomographie électrique est une méthode d'exploration du sous-sol qui consiste à mesurer la résistivité électrique (en $\Omega\cdot\text{m}$) en déterminant la capacité du milieu naturel à s'opposer à la circulation du courant électrique. L'appareil utilisé est un système multi-électrode Abem Terrameter LS composé de 64 électrodes. La configuration des électrodes choisie est de type Pôle-Dipôle. Ce type de configuration permet de conserver une profondeur, une couverture horizontale et un signal élevé. Sur le terrain, l'espacement entre les électrodes est soit de 1 mètre soit de 0,5 mètre. Le choix de l'espacement est déterminé en fonction de la profondeur du remplissage souhaité. Ainsi, pour une mesure plus précise, les valeurs de résistivité apparente requièrent un traitement mathématique nommé inversion de données (Milsom, 1996 ; Reynolds, 1997). Ce traitement a été appliqué grâce au logiciel Res2DInv (Loke et Barker, 1996). Pour obtenir une marge d'erreur inférieure à 5 %, entre une et cinq occurrences sont requises. Le résultat obtenu est nommé pseudo-section. Sur chaque transect, un profil topographique a été réalisé grâce au DGPS ou à une station totale.

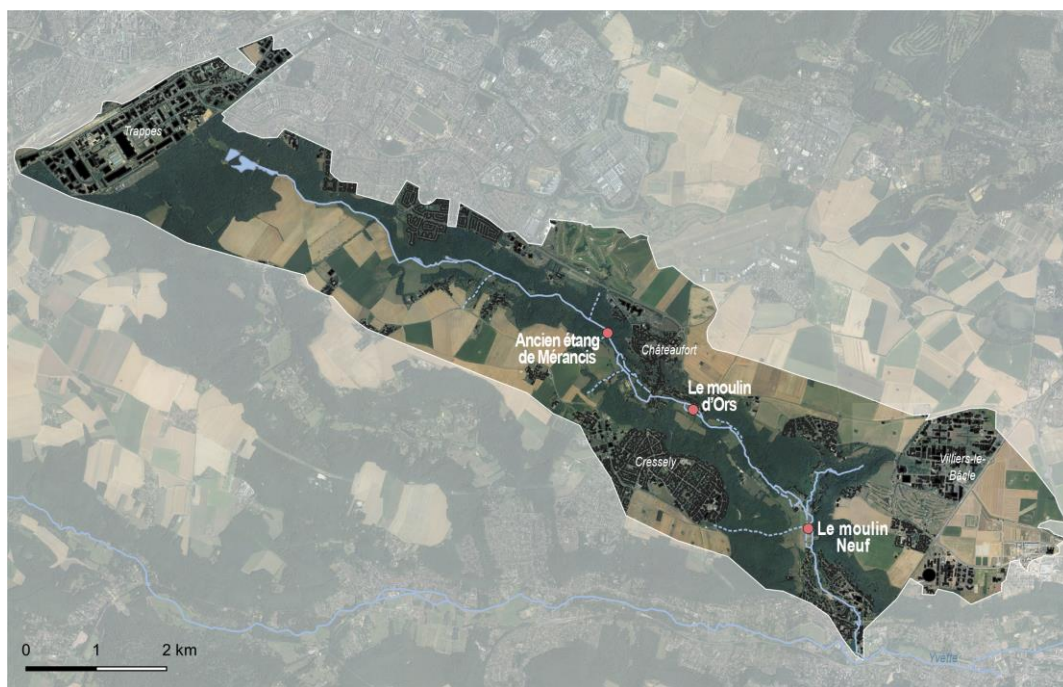


Figure 3. Localisation des transects dans le bassin de la Mérantaise

2.2. Étude du remplissage sédimentaire

Des datations par la méthode du radiocarbone de type AMS ont été réalisées au cours de cette étude. L'avantage de cette technique de datation est son application à des éléments organiques extrêmement petits. Les datations ont été réalisées principalement au laboratoire de Poznan et secondairement à Beta Analytic et Direct AMS (Tab. 1). Les datations obtenues sur la Mérantaise, au site du moulin d'Ors, sont synthétisées dans le tableau ci-dessous

Tableau 1. Synthèse des datations ^{14}C au Moulin d'Ors

Nom échantillon	Profondeur	Numéro lab	Éléments datés	Date BP
C1.1 MDO 2017	60 cm	Beta - 490195	Bois	590 ± 30 BP
C1.2 MDO 2017	95 cm	Beta - 490194	Sédiment organique	2030 ± 30 BP
C1.2 MDO 2019	22cm	Poz-118595	Macroreste	870 ± 30 BP
C1.2 MDO 2019	64.5 cm	Poz-118579	Tourbe	995 ± 30 BP
C1.3 MDO 2019	224/225 cm	D-AMS 033823	Sédiment organique	1591 ± 28 BP
C1.4 MDO 2019	313cm	D-AMS 033824	Bois	1704 ± 28 BP
C2.2 MDO 2019	34cm	Poz-118596	Macroreste	1720 ± 30 BP
C2.2 MDO 2019	89cm	Poz-118334	Bois	1010 ± 30 BP
C2.3 MDO 2019	94cm	Poz-118578	Charbon	2015 ± 30 BP
C2.4 MDO 2019	307cm	D-AMS 033825	Branchette	1717 ± 27 BP
C2.4 MDO 2019	368cm	D-AMS 033826	Macroreste	4423 ± 31 BP
C4.1 MDO 2019	33cm	Poz-118594	Charbon	785 ± 30 BP
C4.1 MDO 2019	73cm	Poz-118583	Racine	890 ± 60 BP
C4.2 MDO 2019	35cm	Poz-118585	Branchette	825 ± 30 BP
C4.2 MDO 2019	78cm	Poz-118331	Branchette	890 ± 30 BP
C4.3 MDO 2019	71cm	Poz-118586	Macroreste	1040 ± 30 BP
C5.2 MDO 2019	18cm	Poz-118587	Bois	350 ± 30 BP
C5.2 MDO 2019	63.5cm	Poz-118580	Tourbe	860 ± 30 BP
C5.2 MDO 2019	98.5cm	Poz-118581	Sédiment organique	1115 ± 30 BP
C5.3 MDO 2019	62cm	Poz-118588	Bois	1995 ± 30 BP
C5.4 MDO 2019	28.5cm	Poz-118589	Bois	1745 ± 30 BP
C5.4 MDO 2019	70.5cm	Poz-118590	Bois	2095 ± 30 BP
C5.5 MDO 2019	31.5cm	Poz-118591	Bois	2505 ± 30 BP

3. Résultats

À ce stade de l'étude, les résultats les plus aboutis concernent la caractérisation du remplissage sédimentaire de la Mérantaise au Moulin d'Ors (Châteaufort). Le transect réalisé au Moulin d'Ors mesure 163 m et comprend sept carottages, deux sondages et nous avons obtenu, à ce jour, vingt-et-une datations par la méthode du radiocarbone (Fig. 4).

3.1. Le remplissage sédimentaire au Moulin d'Ors

Le remplissage sédimentaire au niveau du Moulin d'Ors est constitué de cinq unités sédimentaires (voir Fig.5 ci-dessous).



Figure 4. Localisation du transect et des carottages au Moulin d'Ors

L'unité 1 correspond à un lit de cailloutis principalement composé de meulière à silex dans une matrice sableuse de couleur ocre. Ce niveau correspondrait à une grave de fond.

L'unité 2, observée sur tous les sondages, correspond à une unité sablo-limoneuse grise aux grains quartzeux de très fins à moyens. Cette unité est parfois riche en macrorestes ligneux. Les grains quartzeux sont caractéristiques des sables de Fontainebleau que l'on retrouve sur les versants. La mise en place de cette unité sédimentaire remonterait au début de l'âge du Fer. Cette unité semble marquée une activation du détritisme qui pourrait être due à la proximité d'un chenal ou à un atterrissement du milieu palustre par des apports colluvio-alluviaux.

L'unité 3, observée sur l'ensemble des sondages, est une unité organique limono-tourbeuse à tourbeuse. Cette unité est très riche en macrorestes et en racines. Elle marque le début d'une sédimentation organique caractérisant le retour d'un environnement plus stable hydrologiquement avec une hausse du niveau de la nappe et des apports sédimentaires plus réduits.

L'unité 4, observée sur l'ensemble des carottages en rive droite et seulement sur le carottage C2 en rive gauche, correspond à un ensemble sédimentaire sablo-limoneux brun-gris à gris-beige. Ce niveau est caractérisé par une succession d'interstratifications de lit limoneux brun et de lit sableux gris-beige. Cette unité est riche en macrorestes ligneux. Cette unité pourrait être interprétée comme une succession de phases hydrologiquement actives et de phases plus stables dominés par des environnements plus humides.

L'unité 5, observée sur l'ensemble des carottages du transect, est limono-argileuse brune et présente une interstratification sableuse avec de nombreuses racines. Cette unité est caractéristique d'un sol de prairie humide.

3.2. Première interprétation des dynamiques sédimentaires

À partir des résultats obtenus sur ce transect, nous pouvons proposer la reconstitution suivante des dynamiques ayant conduit à la plaine alluviale et au chenal actuel. Elle comporte 6 phases principales (Fig. 5).

1. À la base du remplissage s'observe une grave de fond, dont la composition correspond principalement aux éléments constitutifs de la meulière à silex. Celle-ci est attribuable à la dernière période froide et a pu être remobilisée par les écoulements les plus énergiques du début de l'Holocène.
2. Entre 787 avant notre ère (av. n.è) et 401 de notre ère (n.è), une première phase d'aggradation alluviale est visible ainsi probablement qu'un chenal de type divagant.
3. Entre 400 et 1050 de n.è., une première phase de sédimentation organique apparaît. Elle témoigne d'écoulements lents et de la mise en place d'un milieu palustre dans l'ensemble du fond de vallée ;
4. Entre 1050 et 1250 de n.è., un second chenal (migration latérale) se met en place (4.a) et une seconde phase de sédimentation organique (4.b) se développe mais sur un espace plus réduit que la précédente, témoignant d'une rétractation des zones humides de fond de vallée ;
5. Entre 1150 et 1700 de n.è., un troisième chenal se forme (migration latérale) donnant lieu au chenal actuel plus étroit que les précédents (5.a). Il témoigne d'une rétractation du lit mineur alors que les apports colluviaux semblent se développer sur les versants (5.b) ;
6. Le chenal actuel est en phase d'incision.

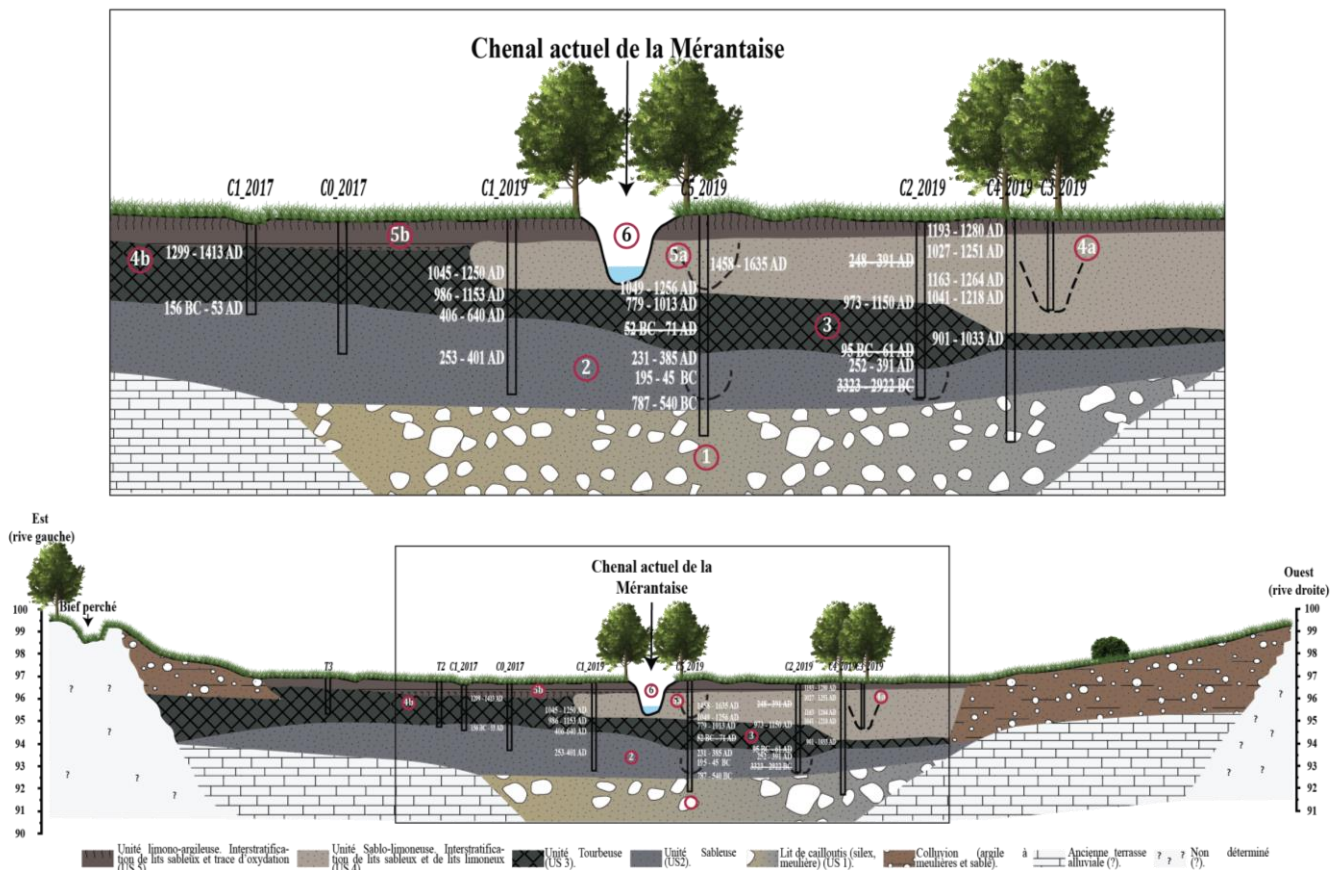


Figure 5. Hypothèse du remplissage sédimentaire au Moulin d'Ors

Cette étude montre un tronçon où les zones humides dominent très longtemps les paysages de fond de vallée et un atterrissement assez tardif de celui-ci par rapport au modèle régional (Pastre et al., 2014). L'accélération tardive du détritisme doit sans doute être mise en relation avec le contexte très longtemps forestier de la partie amont du bassin versant et l'abondance des sources issues des sables de Fontainebleau qui forment les versants de la vallée. Le rôle des aménagements hydrauliques, et en particulier du moulin, dans la dynamique finale du remplissage, reste à comprendre (e.g. Beauchamp et al., 2017).

Conclusion

Les premiers résultats sur les dynamiques contemporaines montrent que la réponse hydrogéomorphologique des petites rivières périurbaines est très hétérogène et qu'il existe une variabilité locale complexe. L'objectif de cette étude est de définir et de comprendre, grâce au protocole mis en place, ces variabilités longitudinales et de montrer, ainsi, le poids des transformations urbaines de ces dernières décennies, non seulement localement mais aussi en comparant ces systèmes entre eux. La relation avec la biologie de ces systèmes sera aussi étudiée afin de poursuivre les premières analyses initiées dans cette étude. Tous les prélèvements de macroinvertébrés ont été réalisés lors de la campagne de mesure. Le dépouillement des échantillons est en cours de traitement. L'idée est donc de comprendre la réponse hydrogéomorphologique et biologique de ces trois systèmes en fonction des pressions anthropiques exercées sur leurs milieux.

Les premiers résultats sur les dynamiques passées ont montré une singularité dans le bassin de la Mérantaise au moulin d'Ors par rapport au modèle régional. L'objectif est donc de poursuivre cette étude en confrontant ces données à celles des autres transects, tant au sein de ce même bassin que sur l'ensemble des rivières étudiées. Les analyses caractéristiques des études paléoenvironnementales seront donc appliquées à l'ensemble des bassins (sédimentologie, géochimie, pollens, diatomées) afin de mieux comprendre la trajectoire de ces systèmes. Le lien entre les anciens aménagements hydrauliques fera aussi l'objet d'une réflexion et d'une comparaison sur l'ensemble des trois systèmes.

La finalité de cette étude sera donc de comprendre la trajectoire globale, tant sur les plans hydrogéomorphologique que biologique, tant contemporaine que passée, afin de définir les perspectives hydrogéomorphologiques et biologiques pouvant contribuer à la définition d'un projet écologique durable.

Bibliographie

Baudoin, J.-M., Boutet-Berry, L., Cagnant, M., Gob, F., Kreutzenberger, K., Lamand, F., Malavoi, J.-R., Marmonier, P., Pénll, C., Rivière, C., Sadot, M., Tamisier, V., Tual, M. (2017). Carhyce - Caractérisation hydromorphologique des cours d'eau Protocole de recueil de données hydromorphologiques à l'échelle de la station sur les cours d'eau prospectables à pied, 56p.

Beauchamp, A., Lespez, L., Delahaye, D. (2017). Impacts des aménagements hydrauliques sur les systèmes fluviaux bas-normands depuis 2000 ans, premiers résultats d'une approche géomorphologique et géoarchéologique dans la moyenne vallée de la Seulles. *Quaternaire* 253–258 pp.
doi:10.4000/quaternaire.8153

Booth D.B., Roy A.H., Smith B., Capps K.A. (2016). Global perspectives on the urban stream syndrome. *Freshwater Science*, 35, 412–420.
doi: 10.1086/684940

Brown, A.G., Lespez, L., Sear, D.A., Macaire, J.-J., Houben, P., Klimek, K., Brazier, R.E., Van Oost, K., Pears, B. (2018). Natural vs anthropogenic streams in Europe: History, ecology and implications for restoration, river-rewilding and riverine ecosystem services. *Earth-Science Reviews* 180, 185–205 pp.
doi:10.1016/j.earscirev.2018.02.001

Gob, F., Bilodeau, C., Thommeret, N., Belliard, J., Albert, M.-B., Tamisier, V., Baudoin, J.-M., Kreutzenberger, K. (2014). Un outil de caractérisation hydromorphologique des cours d'eau pour l'application de la DCE en France (CARHYCE). *Géomorphologie : relief, processus, environnement* 20, 57–72 pp.
doi:10.4000/geomorphologie.10497

Jugie, M., Gob, F., Le Coeur, C. (2017). Restauration de la continuité écologique. Trajectoire hydrosédimentaire d'une rivière aménagée, la Mérantaise, 28 p.

Lespez, L., Viel, V., Rollet, A.J., Delahaye, D. (2015). The anthropogenic nature of present-day low energy rivers in western France and implications for current restoration projects. *Geomorphology* 251, 64–76 pp.
doi:10.1016/j.geomorph.2015.05.015

- Loke M.H., Barker R.D., (1996). Rapid least squares inversion of apparent resistivity pseudo-sections using a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, (44), 131-152 pp.
- Milsom J. (1996). *Field Geophysics*. Wiley, 187 p.
- Mondy, C.P., Villeneuve, B., Archaimbault, V., Usseglio-Polatera, P., 2012. A new macroinvertebrate-based multimetric index (I2M2) to evaluate ecological quality of French wadeable streams fulfilling the WFD demands: A taxonomical and trait approach. *Ecological Indicators* 18, 452–467 pp. doi:10.1016/j.ecolind.2011.12.013
- Navratil, O., Breil, P., Schmitt, L., Grosprêtre, L., Albert, M.B., (2013). Hydrogeomorphic adjustments of stream channels disturbed by urban runoff (Yzeron River basin, France). *Journal of Hydrology* 485, 24–36 pp. doi:10.1016/j.jhydrol.2012.01.036
- Notebaert, B., Broothaerts, N., Verstraeten, G., (2018). Evidence of anthropogenic tipping points in fluvial dynamics in Europe. *Global and Planetary Change* 164, 27–38 pp. doi:10.1016/j.gloplacha.2018.02.008
- Orth P., (2003). Evolution et variabilité morpho-sédimentaire d'un bassin versant élémentaire au Tardi et Postglaciaire : l'exemple du bassin versant de la Beuvronne (Bassin parisien), Thèse de doctorat, Université Paris 1-La Sorbonne, 237 p.
- Pastre, J. F., Leroyer, C., Limondin-Lozouet, N., Antoine, P., Chaussé, C., Gauthier, A., Wuscher, P. (2014). The Holocene evolution of the Paris basin (France). Contribution of geocology and geoarchaeology of floodplains. *French geoarchaeology in the 21st century*, Collection alpha, CNRS éditions, Paris, 87-103.
- Reynolds J.M., (1997). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. Wiley, 778p.
- Schmitt, L., Grosprêtre, L., Breil, P., Namour, P., Lafont, M., Delile, H., Eschbach, D., Jacob-Rousseau, N., Cournoyer, B., (2016). L'hydromorphologie, une dimension-clé pour l'étude interdisciplinaire des petits hydrosystèmes périurbains (bassin de l'Yzeron, France), *BSGLg*, 67, 161-179 pp.
- Talès, E., de Milleville, L., Zahm, A., Girondin, M., Gob, F., Lespez, L., (2017). Qualité biologique et hydromorphologique de trois petits cours d'eau franciliens, PIREN-Seine phase VII, rapport 2017, 13 p.