Caractériser les changements hydrogéomorphologiques liés à l'urbanisation : vers une classification de tronçon d'un petit cours d'eau périurbain d'Île-de-France

Lucile de Milleville, Frédéric Gob, Nathalie Thommeret, Laurent Lespez, Evelyne Tales, Amandine Zahm, Mathieu Girondin, Leïla Ali

▶ **To cite this version:**

Lucile de Milleville, Frédéric Gob, Nathalie Thommeret, Laurent Lespez, Evelyne Tales, et al.. Caractériser les changements hydrogéomorphologiques liés à l'urbanisation : vers une classification de tronçon d'un petit cours d'eau périurbain d'Île-de-France. PIREN Seine. 2021, pp.1-10. hal-04178576

HAL Id: hal-04178576
https://hal.inrae.fr/hal-04178576

Submitted on 8 Aug 2023

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 - NonCommercial - ShareAlike 4.0 International License

Caractériser les changements hydrogéomorphologiques liés à l'urbanisation : vers une classification de tronçon d'un petit cours d'eau périurbain d'Île-de-France.

Lucile de Milleville[1*], Frédéric Gob[2], Nathalie Thommeret[3], Laurent Lespez[1], Evelyne Tales[4], Amandine[4] Zahm, Mathieu Girondin[4], Leïla Ali[1]

[1] Université de Paris Est Créteil / Laboratoire de Géographie Physique (LGP CNRS UMR 8591)

[2] Université de Paris I Panthéon-Sorbonne / Laboratoire de Géographie Physique (LGP CNRS UMR 8591)

[3] École supérieure des géomètres topographes (ESGT/ CNAM)

[4] Université Paris Saclay / INRAE, Equipe HYCAR, Antony

[*] lucile.demilleville@lgp.cnrs.fr

Résumé

Les mécanismes et contrôles de l'ajustement morphologique des petites rivières urbaines sont encore relativement mal connus (notamment en France). Cette étude propose de les étudier sur le Morbras, un bassin périurbain de l'agglomération parisienne. Pour ce faire, une approche hydrogéomorphologique originale a été choisie. Basée sur une étude fine de l'ensemble du linéaire fluvial, elle repose sur l'acquisition haute fréquence de données de terrain : (i) les sections transversales du chenal, (ii) les alternances radier-mouille, (iii) la caractérisation du fond et des berges et (iv) les ouvrages transversaux et rejets d'eaux pluviales. Les objectifs sont de caractériser les variations longitudinales du chenal et de définir les formes d'altération géomorphologique et sédimentaire. Les résultats montrent une incision généralisée du lit sur l'ensemble du linéaire du Morbras, d'en moyenne 0.50 m en profondeur (localement plus de 1 m). Cette méthode a mis en évidence une grande diversité de tronçons hydromorphologiques permettant de proposer, d'après les différents degrés d'artificialisation des systèmes étudiés, une typologie qui va donner les bases d'une étude des relations entre altération hydrogéomorphologique et potentiel biologique.

Points clefs

- ✓ *Notre méthode originale combine une étude holistique de la ligne fluviale avec une acquisition à haute fréquence de données de terrain détaillées*
- ✓ *Altérations morphologiques, variabilité longitudinale et hétérogénéité*
- ✓ *Restauration écologique des petits cours d'eau périurbains*

Abstract

The mechanisms and controls of the morphological adjustment of small rivers are still relatively poorly understood (especially in France). This study proposes to study them on the Morbras, a peri-urban basin of the Parisian agglomeration. To do this, an original hydrogeomorphological approach was applied, based on a detailed study of the entire river line. It relies on the high-frequency acquisition of field data: (i) the cross-sections of the channel, (ii) the invert-swamp alternations, (iii) the characterisation of the bottom and banks, and (iv) the cross-sectional structures and stormwater discharges. The objectives are to characterise the longitudinal variations of the channel and to define the forms of geomorphological and sedimentary alteration. The results show a generalised incision of the bed over the entire length of the Morbras, of an average depth of 0.50m (locally more than 1m). This method revealed a great diversity of hydromorphological sections, enabling us to propose, according to the different degrees of artificialisation of the systems studied, a typology which will provide the basis for a study of the relations between hydrogeomorphological alteration and biological potential.

Key points

- ✓ Our original method combines a holistic study of the fluvial line with a high frequency acquisition of detailed field data
- ✓ Morphological alterations, longitudinal variability and heterogeneity
- ✓ Ecological restoration of small peri-urban rivers

Introduction

La place de la nature dans la ville est devenue une préoccupation majeure dans les projets urbains, en particulier dans les espaces périurbains. Cependant, les grands systèmes fluviaux suscitent généralement plus d'intérêt, laissant les petites rivières hors du champ d'étude. Ces dernières sont des cours d'eau de petites dimensions (moins de 10 m de large et de 2 m de profondeur) non navigables, soumis à la propriété privée et caractérisés par une faible à moyenne énergie. Ils représentent 73 % de l'ensemble du réseau hydrographique francilien. Depuis deux siècles, la croissance des zones urbaines, à laquelle s'ajoute l'intensification croissante des pratiques agricoles, entraine des pressions multiples sur les rivières. Du point de vue règlementaire, la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) impose à ses États membres que leurs rivières atteignent un « bon état écologique » d'ici 2027. Pourtant, en 2015, en Île-de-France, 55 % des cours d'eau étaient classés de « médiocre » à « mauvais », ajoutant ainsi la restauration écologique aux enjeux de la gestion.

Bien que l'altération des cours d'eau urbains soit 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 (e.g. Fitzpatrick et Peppler, 2010). Depuis les années 2000, les projets de restauration se sont considérablement développés. Cependant, la restauration écologique est complexifiée par les enjeux liés aux risques d'inondation et par l'hétérogénéité des réponses hydrosédimentaires des rivières, soulignant la nécessité de bien comprendre le fonctionnement de ces systèmes. Or, les projets de restauration concernent souvent des linéaires courts et tiennent alors trop peu compte de la dynamique hydrogéomorphologique à l'échelle du système fluvial, laquelle demeure mal connue et peu étudiée. Des données élémentaires – comme par exemple, le tracé exact de ces rivières – ne sont d'ailleurs pas toujours disponibles dans la documentation publique en France. Ce constat témoigne de la nécessité de comprendre ces petits systèmes, et d'élaborer une typologie de leurs fonctionnements hydrogéomorphologiques indispensable à l'émergence de projets cohérents de restauration.

Cette étude propose d'étudier la diversité des formes intra-chenal et l'hétérogénéité du fonctionnement d'un petit cours d'eau urbanisé représentatif du réseau hydrographique en Ile-de-France : le Morbras (94 et 77). L'approche hydrogéomorphologique proposée est originale en ce qu'elle propose une étude fine de l'ensemble du système fluvial reposant sur une acquisition systématique de données de terrain tout au long du linéaire fluvial : (i) les sections transversales du chenal, (ii) les alternances radier-mouille et (iii) les ouvrages transversaux et les rejets d'eau pluviale. Les objectifs sont de caractériser les variations longitudinales du chenal et de définir les formes d'altération géomorphologique et sédimentaire, puis de les expliquer à partir de l'identification des variables de contraintes identifiées dans le bassin versant et le long du chenal.

1. Terrain d'étude

Le Morbras, affluent de la Marne, est une petite rivière de l'est de la région parisienne (Fig. 1). Il est long de 17,7 km et son bassin versant mesure 51 km². C'est un cours d'eau de pente moyenne (0,5 %) dont la largeur moyenne dépasse à peine 6 m. Son bassin est urbanisé à plus de 43 %. Selon la classification de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie, le Morbras est une masse d'eau fortement modifiée, tant sur le plan hydromorphologique que sur celui de la qualité physico-chimique et écologique.

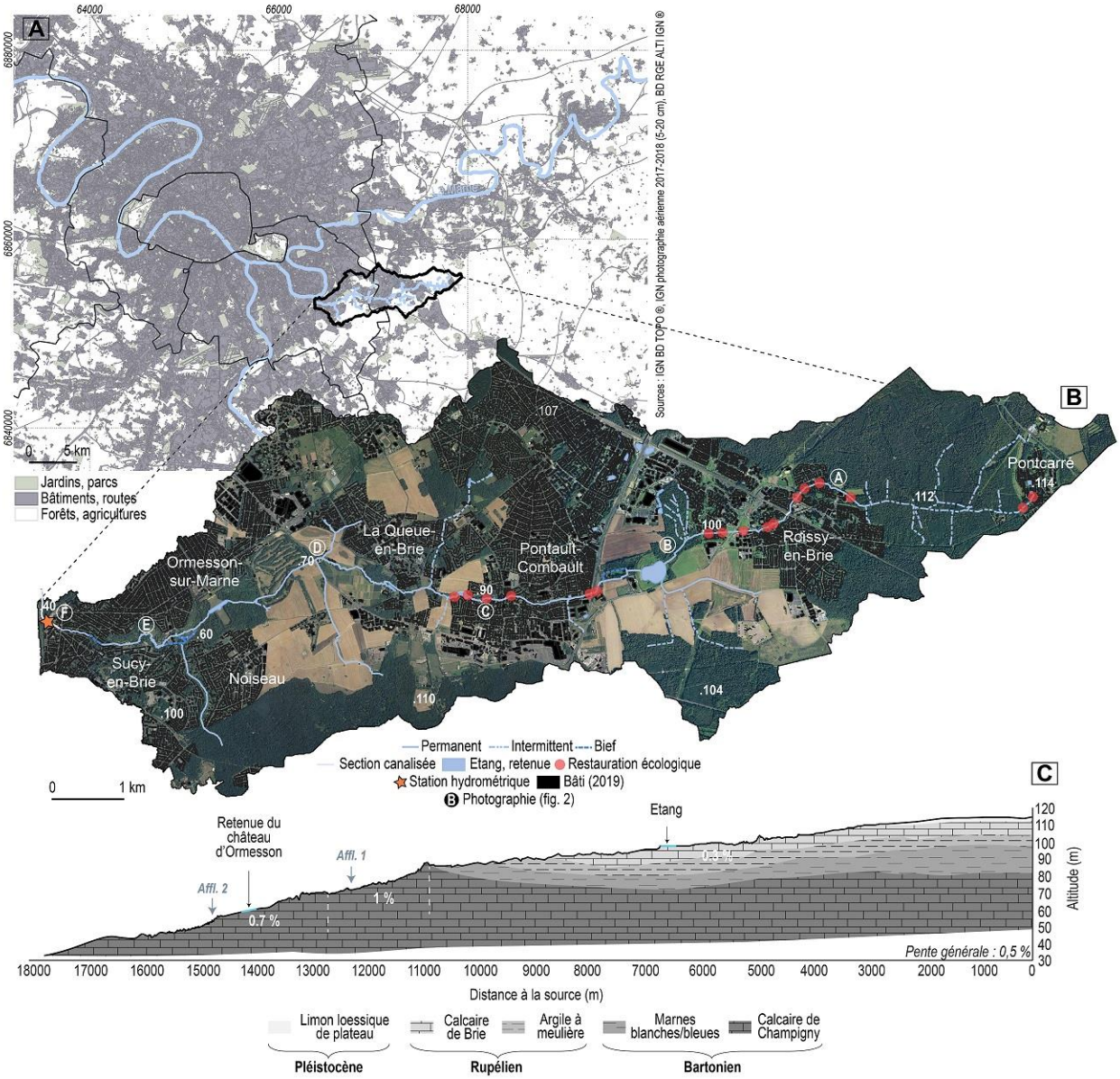

Figure 1. Localisation du site de l'étude. A : région ; B : bassin versant ; C : profil en long couplé à la géologie (BRGM). Les tronçons restaurés entre 2006 et 2015 sont le résultat de projets de restauration de première génération où le chenal a été redessiné avec la création de petites banquettes plantées et la mise en application de techniques de génie végétal (tressage ou fascinage) pour limiter l'érosion des berges.

Le Morbras s'écoule, à l'amont, sur les argiles à meulière de la Brie (Rupélien supérieur) recouvertes de limons lœssiques du Pléistocène, il s'incise ensuite progressivement dans les calcaires de Brie (Rupélien inférieur), puis dans les argiles vertes et les glaises à Cyrènes (Rupélien inférieur). En s'enfonçant dans le plateau, la rivière traverse ensuite des Marnes blanches et bleues (Bartonien inférieur) 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 du profil en long (Fig. 1). 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 (Fig. 1). Les alluvions

présentes dans le lit sont majoritairement caillouteuses, bien que, très fréquemment, le *bedrock* affleure, lequel est constitué soit de dalles d'argiles, notamment à l'amont du système qui présente les plus faibles valeurs, soit de gros blocs de grès. Le D_{50} et le D_{84} des matériaux qui composent le lit varient respectivement entre 4 et 57 mm et 10 et 172 mm sur l'ensemble du linéaire (Tab. 1).

Entre 1949 et 2017, le taux de surface urbanisée du bassin versant a presque été multiplié par trois (de 15 % à 43 % de la surface totale) au détriment des surfaces agricoles. Cet accroissement a considérablement augmenté l'imperméabilisation des sols et s'est accompagné du développement des drains artificiels.

Le régime hydrologique du Morbras est de type pluvio-évaporal. Il est directement influencé par le climat océanique dégradé. Les précipitations annuelles moyennes sont comprises entre 650 et 721 mm. Si des crues d'orage sont régulièrement observées l'été, les hautes eaux surviennent habituellement en hiver, entre décembre et mars, et les étiages sont essentiellement atteints à la fin de l'été, entre août et septembre. Le Morbras est équipé d'une station hydrométrique à Sucy-en-Brie, installée par le département du Val-de-Marne à la fin des années 1980 (seule une chronique étendue sur 19 ans a pu être utilisée). Le débit moyen annuel du Morbras à Sucy-en-Brie (97 % du BV soit 50.9 km²) est de 0,33 m^3/s, soit un débit spécifique d'environ 4,7 l/s/km². Sur une période de 19 ans (2000-2019), le débit maximum observé est de 10,76 m^3/s en 2018 et correspond à une crue de fréquence de retour de 20 ans, alors que le débit minimum enregistré est de 0,01 m^3/s. Le débit moyen observé en hiver (octobre-avril) est de 0,37 m^3/s, alors que celui d'été (mai-septembre) est légèrement plus bas : 0,27 m^3/s. Cette petite rivière périurbaine peut être considérée comme une rivière de moyenne énergie, sa puissance spécifique est de 34 W/m² à l'aval du bassin (Tab. 1).

Tableau 1. Résumé des principales caractéristiques du Morbras. Les mesures de débit ont été réalisées à partir d'une série chronologique de 19 ans (1980-2019). À partir du diagramme de Gumbel, la période de retour de 1,5 an a été calculée et utilisée comme débit à plein bord (4,9) ; elle a permis de calculer la puissance spécifique du cours d'eau.

Caractéristiques du bassin	
Bassin versant (km²)	51,0
Linéaire (km)	17,7
Artificialisé ouvert (%)	10,8
Artificialisé fermé (%)	43,6
Nombre de rejet potentiel / km	13,3
Agricole (%)	15,5
Forêt (%)	30,0
Caractéristiques morphologiques moyennes	
Largeur à plein bord moyenne (m)	6,4
Profondeur à plein bord moyenne (m)	1,4
Rapport L/P moyen (m)	4,7
Pente du talweg (m/m)	0,005
D_{50} (mm)	4 à 57
D_{84} (mm)	10 à 172
Indice de sinuosité	1,2
Caractéristiques hydrologiques à la station de Sucy en Brie (50,9km²)	
Débit moyen annuel (m^3/s)	0,3
Débit à plein bord (m^3/s)	4,9
Débit max observé (m^3/s)	10,76
Puissance spécifique (W/m^2)	34

2. Méthodes

2.1. Données de terrain

Plutôt que de travailler à l'échelle ponctuelle des stations, comme c'est couramment le cas sur les systèmes urbains (e.g. Hammer, 1972 ; Pizzuto, 1994 ; Colosimo et Wilcock, 2007 ; Hawley et al., 2013 ; 2020 ; Russell et al., 2018), nous avons fait le choix de caractériser l'ensemble du linéaire par un relevé à haute fréquence des morphologies intra-chenal et des objets anthropiques qui engendrent de possibles modifications du chenal. Pour ce faire, l'intégralité du linéaire a été parcourue et plus de 357 profils en travers ont été réalisés.

La méthode mise en place consiste à parcourir l'ensemble du linéaire du cours d'eau pour identifier les unités morphodynamiques élémentaires qui structurent longitudinalement le chenal : la succession des radiers et mouilles et la présence d'objets construits ponctuels (seuils, rejets potentiels d'eau pluviale, ponts, etc.). Un transect est réalisé à chaque radier, et des transects intermédiaires sont ajoutés lorsque les radiers sont trop éloignés afin d'avoir un espacement entre deux profils en travers inférieur à 180 m (pour un espacement moyen de 50 m). Une mesure de la largeur et de la hauteur à plein bord est réalisée sur chaque transect, la taille du substrat et le faciès d'écoulement sont évalués, et la nature des berges est renseignée. Chaque transect réalisé sur le cours d'eau est considéré comme un point de mesure élémentaire (PME) du réseau hydrographique. La longueur des radiers a été mesurée à l'aide d'un décamètre, le type de faciès d'écoulement a été défini à partir de la typologie simplifiée en quatre classes de Malavoi et Souchon (2002), les berges et la nature du substrat alluvial ont été décrits qualitativement à partir de la codification simplifiée du protocole de caractérisation hydromorphologique des cours d'eau Carhyce (Gob et al, 2014 ; Baudoin et al., 2017). Ce sont les classes granulométriques les plus présentes qui ont été signalées pour chaque PME.

Les aménagements présents dans le lit de la rivière ont été relevés de façon exhaustive, précisément localisés et caractérisés : le diamètre des rejets potentiels d'eaux pluviales a été mesuré et leur position (rive gauche ou droite) a été renseignée ; les ouvrages transversaux (*i.e.* ponts, passerelles, routes et seuils) ont été décrits et la hauteur des seuils mesurée.

2.2. Variables construites

À partir du jeu de données relevées sur le terrain, douze variables de synthèse ont été calculées pour décrire la morphologie de la rivière. Chacune de ces variables est disponible pour les 357 PME. Certaines d'entre elles sont directement mesurées sur le terrain, d'autres sont calculées à partir de ces mesures. Elles peuvent être déterminées : (i) à l'échelle du transect considéré ou du radier correspondant, (ii) à l'échelle de tronçons longs de 15 ou 50 fois la largeur plein bord du transect considéré ou (iii) à l'échelle d'une fenêtre glissante regroupant un PME et les 9 PME situés directement en amont (Tab. 2). Le choix de travailler avec une fenêtre glissante regroupant 10 PME a pour but de limiter la variabilité naturelle de la géométrie du chenal, de limiter la variabilité inhérente aux données ponctuelles et ainsi mieux cerner les évolutions longitudinales significatives (Navratil, 2005; Gob et al., 2014). Cela permet aussi de mieux prendre en compte les objets recensés à l'amont des PME.

Douze variables hydromorphologiques ont été calculées (Table 4) : largeurs ($\overline{L_{pb}}$) et hauteurs maximales ($\overline{H_{pb}}$) moyennes à plein bord, largeurs ($\overline{L_{pb*}}$) et hauteurs maximales ($\overline{D_{bf*}}$) moyennes à plein bord spécifiques, le rapport largeur/hauteur moyen à plein bord ($\frac{L_{pb}}{H_{pb}}$), le nombre de radiers, la longueur des radiers, la pente, la sinuosité et trois variables relatives à la nature du substrat (gradient blocs-fines, oppositions *bedrock* argile/sable et la nature du fond max).

Les premières variables décrites sont celles de la géométrie à plein bord. Ces dernières permettent de caractériser la morphologie générale du lit. Les variables de géométrie spécifique sont essentielles pour la classification puisqu'elles permettent de limiter l'effet de la taille du bassin versant amont (Tab. 2). Le ratio largeur/hauteur est couramment utilisé en tant qu'indicateur de l'activité hydrodynamique d'un cours d'eau. Cette variable a été calculée pour chaque transect à partir des données brutes (Tab. 2). L'alternance radier-mouille est l'unité morphodynamique élémentaire des rivières. Elle indique les conditions physiques optimales dans la dissipation de l'énergie et est présente dans les cours d'eau à lit grossier à la fois rectiligne et méandriforme. Ces alternances sont prises en compte sur des tronçons longs de 15 fois sa largeur plein bord. La longueur des radiers correspond à la longueur moyenne de ces radiers. Cette façon de faire permet *a priori* de décrire deux séquences radier-mouille (Navratil et al., 2004 ; Gob et al., 2014) (Tab. 2). Pour caractériser l'énergie moyenne de la rivière, la pente est calculée sur un tronçon long de 50 fois la largeur plein bord centré sur le PME considéré. La sinuosité est calculée de la même façon afin de caractériser l'évolution du style fluvial. La nature du substrat alluvial est une variable essentielle à la compréhension des dynamiques fluviales. Les données de présence/absence de chaque classe granulométrique acquises sur le terrain ont été synthétisées

pour dégager des profils granulométriques, à l'aide d'une ACM (analyse des correspondances multiples). Les deux premiers axes conservés résument 61 % de la variance. L'axe (1) identifie la classe granulométrique majoritaire (la taille granulométrique augmente, des limons aux blocs, quand la valeur de l'axe diminue) et l'axe (2) qualifie la mobilité des sédiments alluviaux (la part des sédiments alluviaux mobiles, du *bedrock* aux sables, augmente quand la valeur de l'axe diminue).

Tableau 2. Liste des 12 variables hydromorphologiques

	Thème/ compartiment	***Variables***	***Méthode(s) de calcul / équation***	***Unité de calcul***
Variable hydromorphologique	**Géométrie à plein bord**	$\overline{L_{pb}}$ $\overline{H_{pb}}$ $\overline{L_{pb*}}$ $\overline{H_{pb*}}$	Moyennes calculées sur la somme des transects du PME et des 9 transects situés à l'amont, divisées par le ln de la taille du bassin au PME Avec V égale à la largeur ou la hauteur à plein bord	10 transects
	Rapport Largeur/Hauteur	L_{pb}/H_{pb}	Calculé pour chaque transect Lpb/Hpb	Au transect
	Radier	Nombre de radier Longueur des radiers	Nombre de radiers et longueur moyenne cumulée des radiers sur un tronçon de *15 x Lpb* en amont du point.	*15* x *Lpb*
	Pente du talweg	Pente	Coefficient directeur de la droite de régression (Z~distance à la source). Altitudes (Z) prises sur le MNT (5m, IGN) au niveau du point du réseau hydrographique dans une zone tampon de 50 x Lpb centrée sur le point	50 x Lpb
	Sinuosité	Sinuosité	Longueur réelle développée/longueur directe entre les deux extrémités sur une zone tampon de 50 x Lpb centrée sur le point	50 x Lpb
	Nature du substrat	Gradient blocs-fines Opposition *bedrock* argile/sable	Les deux premiers axes d'une ACM réalisée sur les mesures de la nature du fond du chenal	Au transect
		Nature du fond max	Correspond à la classe à la plus grossière présente	

2.3. Analyse des données

À l'instar de Bizzy et al. (2018), les données de géométrie du chenal du Morbras ont été comparées à des modèles régionaux de géométrie hydraulique issus d'un programme français de caractérisation hydromorphologique des cours d'eau (Carhyce) (Gob et al., 2014). Ces modèles ont été établis à partir d'un jeu de plusieurs centaines de stations considérées comme référentielles (i.e. peu altérées par les activités anthropiques) à l'échelle des hydroécorégions françaises (Tamisier et al., 2017). Le Morbras est situé dans l'hydroécorégion « Tables calcaires » (Wasson et al., 2004), qui rassemble 41 stations de référence (Fig. 4).

Une carte éditée entre 1964 et 1965, dans le cadre de la mise en place d'un collecteur d'eaux usées dans la plaine alluviale, a été trouvée aux archives départementales du Val-de-Marne (AD, réf. : 3582W54). Elle repose sur une unique série de profils dotés d'un ou plusieurs points d'altitude sur les berges et le fond du chenal (Ali, 2016). Comparées à celle de nos relevés, ces mesures sont moins précises et les localisations des profils sont approximatives (notamment la profondeur maximale). Néanmoins, cette carte a permis une comparaison diachronique (1964-2017) pour 34 profils en travers, sur une zone de 2,4 km, rassemblant les parties médiane et aval du secteur de la Queue-en-Brie (Fig. 1B).

3. Résultats

La campagne de mesures a été menée entre octobre 2018 et février 2019. Elle a permis de caractériser et localiser 357 PME, 236 rejets potentiels et 129 ouvrages transversaux (dont 50 seuils) — néanmoins, certains tronçons privés n'ont pu être prospectés, ce qui explique l'absence de données sur certains secteurs : 3,3 km soit 18,6 % du linéaire total.

3.1. Description et caractérisation générale de la morphologie du lit

Dans la partie amont du bassin (Roissy-en-Brie), le chenal est étroit et peu large mais présente de fréquentes marques d'érosion latérale, les berges sont dissymétriques, la ripisylve est clairsemée et les alluvions présentes sont essentiellement des sables, des graviers et quelques galets (Fig. 1 et Fig. 2A).

Le secteur à l'amont de l'étang du Coq est caractérisé par un chenal étroit et profond, avec des marques profondes d'érosion latérale et d'incision ; les berges sont verticales et le profil en travers du chenal symétrique. Bien que la rivière s'écoule en forêt, on ne trouve pas à proprement parler de ripisylve (les quelques arbustes présents sont perchés et déconnectés du chenal) ; et les alluvions sont quasi-inexistantes. Le chenal

incise le substrat argileux et forme par endroits, des dépressions profondes décimétriques (jusqu'à 80 cm de profondeur) (Fig. 1 et Fig. 2B).

Dans le secteur médian (Pontault-Combault), le chenal est plus large et plus profond, les berges sont symétriques, la ripisylve est en bosquets éparses et les alluvions présentes sont parfois constituées de gros blocs de grès locaux ou d'éléments déplacés artificiellement, de gravier et de petits cailloux (Fig. 1 et Fig. 2C).

Dans le secteur de la Queue-en-Brie, le chenal est large, profond et plutôt sinueux. La ripisylve est en bosquets épars et les alluvions présentes sont constituées de sables, de graviers et de galets (Fig. 1 et Fig. 2D).

Dans le secteur du golf d'Ormesson, le chenal est large et profond et la ripisylve est clairsemée, voire parfois quasiment inexistante, et les alluvions présentes sont grossières.

Dans le secteur du parc départemental du Morbras, le chenal est très large et profond, plutôt méandriforme. Les berges sont dissymétriques et parfois très érodées. La ripisylve est semi-continue et les alluvions présentes sont des sables, graviers, galets, et, parfois, de gros blocs de grès issus du *bedrock* (Fig. 1 et Fig. 2E).

À l'aval du bassin (Sucy-en-Brie), le chenal devient étroit et peu profond. La ripisylve est dense et les alluvions sont quasi-inexistantes car le chenal correspond à une cunette en béton (Fig. 1 and Fig. 2F).

Figure 2. Photographies de six secteurs du Morbras. A : marque d'érosion latérale ; B : bedrock *argileux apparent ; C : rejets caractéristiques des eaux pluviales identifiés sur le Morbras (>1 m) et blocs ; D : incision et sapement d'un bâtiment ; E : érosion latérale ; F : Section canalisée.*

3.2. Comparaison avec les modèles de référence et définition de l'altération morphologique

Malgré la diversité longitudinale des variables morphologiques, la comparaison des mesures de hauteurs avec les modèles de référence permet de quantifier l'altération morphologique du chenal du Morbras. Sur la figure 3, les 41 losanges noirs correspondent aux stations de références qui ont permis de construire la droite de régression du modèle (Fig. 3). Les points gris correspondent à l'ensemble des données collectées avec différents degrés d'altération grâce au protocole Carhyce de l'HER 4. La droite de régression des 357 profils suit la même tendance que son modèle régional. Les deux droites sont parallèles, ce qui indique une augmentation moyenne de la géométrie du chenal concordant avec l'augmentation de la taille du bassin versant (Fig. 3). Le positionnement des profils est presque partout largement au-dessus du modèle pour les hauteurs à plein bord. Seuls les points les plus bas sont très proches ou légèrement en-dessous, là où la profondeur moyenne ne dépasse pas 1 m. De même, quelques points sont positionnés dans la partie haute du nuage de points utilisé pour construire le modèle, respectivement des valeurs de profondeur avoisinant 1,80 m.

Si la majorité des points obtenus se situe dans la variabilité du modèle « HER 4 table Calcaire », l'ensemble de ces observations montre que la rivière est surcalibrée par rapport aux stations de référence : le lit y est plus

profond d'environ 0,43 m (soit 6 %) (Fig. 3). Ces résultats confirment les observations de terrain qui suggéraient une incision du lit à de nombreux endroits.

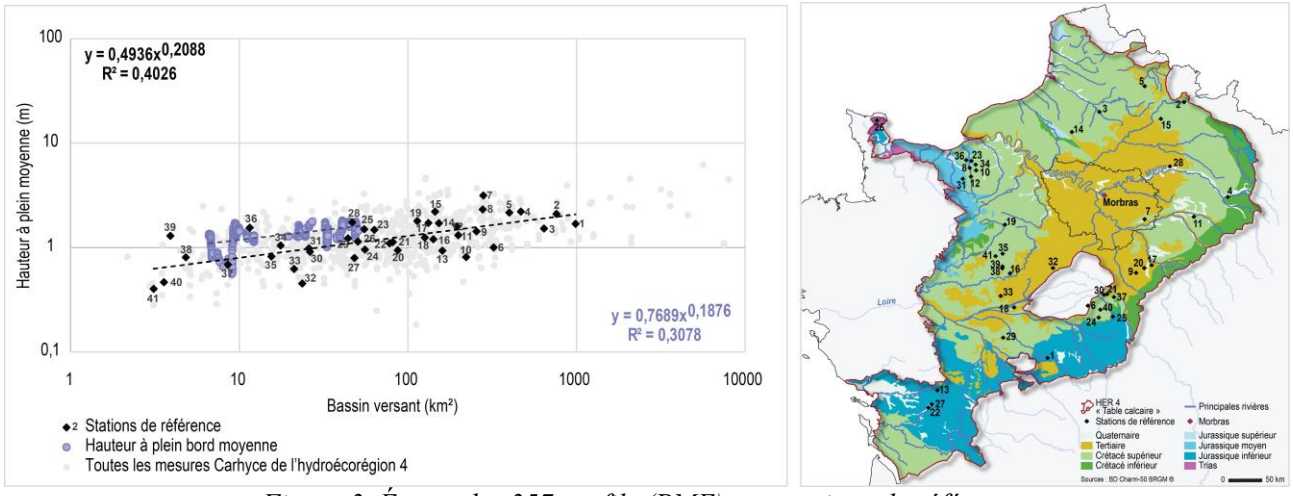

Figure 3. Écarts des 357 profils (PME) aux stations de référence.

D'après la diachronie des 34 profils transversaux, de 1964 à 2017, en 52 ans, le lit s'est élargi de 0,15 à 3,10 m, et incisé de 0,07 à 1,05 m. L'incision positive moyenne est de 0,39 m et l'élargissement positif moyen de 0,75 m. Le lit étant alors (en 1964) moins large et moins profond, ces ajustements morphologiques sont donc contemporains de l'évolution de l'occupation du sol du bassin.

3.3. Organisation longitudinale : exemple des hauteurs à plein bord spécifiques

Les hauteurs spécifiques varient entre 0,25 m et 0,76 m (Fig. 4). L'amont du bassin (jusqu'à l'étang du Coq) concentre à la fois les plus faibles et les plus fortes valeurs de hauteurs spécifiques. On observe d'une part que la répartition longitudinale des géométries spécifiques ne suit pas de tendance amont-aval, et d'autre part que des groupements de transects se dessinent, certains groupes ayant des hauteurs spécifiques fortes et d'autres plus faibles (Fig. 4). Les hauteurs spécifiques sont en effet réparties de façon très hétérogène, alternant entre des valeurs fortes et des valeurs faibles. Le secteur entre l'étang et la retenue du château d'Ormesson concentre des hauteurs spécifiques moyennes à faibles ; le même constat vaut pour les pressions très localisées et l'hétérogénéité de la distribution (Fig. 4). Le lit y est plus large et plus profond qu'attendu selon les modèles. Enfin, l'organisation hydrogéomorphologique longitudinale du Morbras est complexe et marquée par une diversité de formes du chenal.

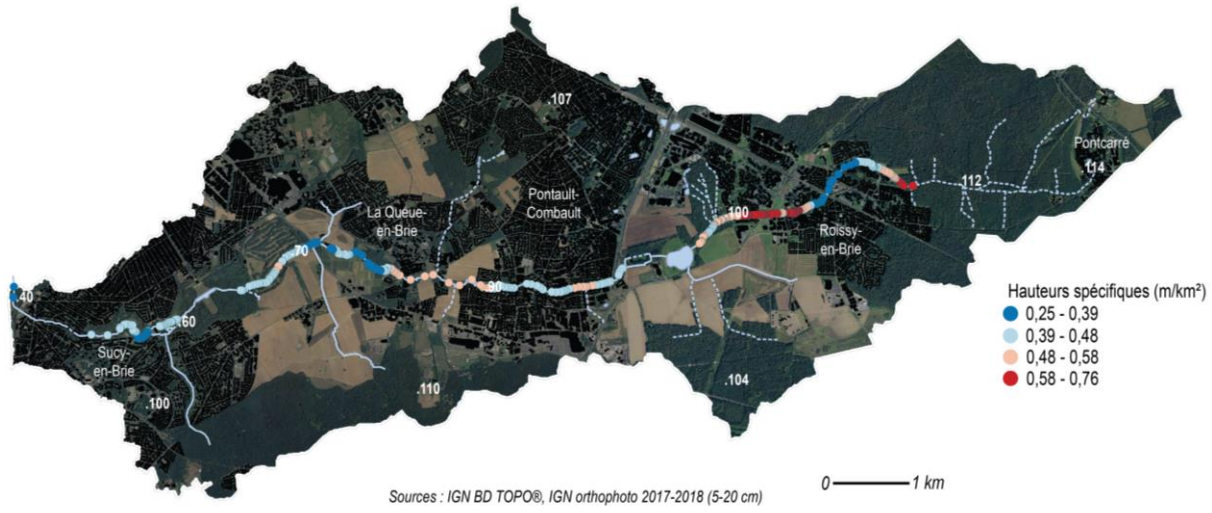

Figure 4. Distribution longitudinale des hauteurs spécifiques

Conclusions provisoires

Grâce à l'étude systématique des formes fluviales d'un petit cours d'eau périurbain, le Morbras, nous avons mesuré l'évolution du lit consécutive aux transformations qu'a subi son bassin ces dernières décennies. Les résultats montrent une incision généralisée sur l'ensemble du linéaire du Morbras d'en moyenne 0,50 m en profondeur (localement plus de 1 m). Ces résultats soulignent également la très grande diversité morphologique longitudinale des cours d'eau urbains.

Le relevé haute fréquence de la géométrie du lit, de la structure du fond, des berges et de la ripisylve permettra de spatialiser les ajustements morphosédimentaires, de les quantifier et de mieux comprendre les processus qui les régissent. La suite de cette recherche s'appuiera sur des mesures quantitatives de la relation entre les différentes variables (rejets, structures et seuils) et les morphologies distinguées dans le cours d'eau. Cette seconde approche permettra d'intégrer la dimension temporelle et, ainsi, de comprendre les héritages morphosédimentaires dans le fonctionnement contemporain du Morbras. Au vu de la diversité hydromorphologique d'un cours d'eau comme le Morbras, il est nécessaire d'identifier systématiquement les contraintes locales qui s'imbriquent dans tout le bassin versant. Les cours d'eau urbain sont sans doute les systèmes fluviaux les plus dégradés (Francis, 2014), aussi les projets de restauration doivent, encore plus qu'ailleurs, prendre en compte l'ensemble du linéaire et les spécificités de chaque site.

Bibliographie

Ali L., 2016 - Étude de la dynamique hydromorphologique du Morbras. Mémoire Master 2, Université Paris-Est Créteil, 154 p.

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, AFB, 52 pp.

Colosimo, M.F., Wilcock, P.R., 2007. Alluvial Sedimentation and Erosion in an Urbanizing Watershed, Gwynns Falls, Maryland. *Journal of the American Water Resources Association* 43, 499– 521pp. https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2007.00039.x.

Fitzpatrick, F.A., Peppler, M.C., 2010. Relation of urbanization to stream habitat and geomorphic characteristics in nine metropolitan areas of the United States, *Scientific Investigations Report 2010-5056*, U.S. Geological Survey, 29 pp. https://doi.org/10.3133/sir20105056.

Francis, R.A., 2014. Urban rivers: novel ecosystems, new challenges: Urban rivers as novel ecosystems. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water 1, 19–29. https://doi.org/10.1002/wat2.1007.

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. https://doi.org/10.4000/geomorphologie.10497.

Hammer, T.R., 1972. Stream channel enlargement due to urbanization. Water Resources Research 8(6), 1530–1540 pp. https://doi.org/10.1029/WR008i006p01530.

Hawley, R.J., MacMannis, K.R., Wooten, M.S., 2013. Bed coarsening, riffle shortening, and channel enlargement in urbanizing watersheds, northern Kentucky, USA. Geomorphology 201, 111–126 pp. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.06.013.

Hawley, R.J., MacMannis, K.R., Wooten, M.S., Fet, E.V., Korth, N.L., 2020. Suburban stream erosion rates in northern Kentucky exceed reference channels by an order of magnitude and follow predictable trajectories of channel evolution. Geomorphology 352, 106998 pp.
https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106998.

Malavoi, J.R., Souchon, Y., 2002. Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : clé de détermination qualitative et mesures physiques. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 357–372 pp.
https://doi.org/10.1051/kmae:2002040.

Navratil, O., 2005. Débit de pleins bords et géométrie hydraulique : une description synthétique de la morphologie des cours d'eau pour relier le bassin versant et les habitats aquatiques. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 308 pp.
⟨tel-02586430⟩

Navratil, O., Albert, M.-B., Boudard, C., Grésillon, J.M., 2004. Using a 1D steady flow model to compare field determination methods of bank-full stage. Second International Conference on Fluvial Hydraulics, River flow, Naples, 7 pp.
⟨hal-02583850⟩.

Pizzuto, J.E., 1994. Channel adjustments to changing discharges, Powder River, Montana. Geological Society of America Bulletin 106, 1494–1501 pp.
https://doi.org/10.1130/0016-7606(1994)106<1494:CATCDP>2.3.CO;2.

Russell, K.L., Vietz, G.J., Fletcher, T.D., 2018. Urban catchment runoff increases bedload sediment yield and particle size in stream channels. Anthropocene 23, 53–66 pp.
https://doi.org/10.1016/j.ancene.2018.09.001.

Tamisier, V., Gob, F., Bilodeau, C., Thommeret, N., 2017. Caractérisation hydromorphologique des cours d'eau français (Carhyce). Valorisation des données Carhyce pour la construction d'un outil d'aide à la gestion des cours d'eau, AFB, Paris, 142 pp.
https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24504.80643.

Wasson, J.G., Chandesris, A., Pella, H., Blanc, L., 2004. Les hydroécorégions : une approche fonctionnelle de la typologie des rivières pour la directive cadre européenne sur l`eau. Ingénieries eau-agriculture-territoires, Lavoisier, IRSTEA, 10 pp.