

Dynamique sédimentaire d'une petite rivière urbaine, le Morbras

Océane Bunsimma^{1*}, Frédéric Gob², Laurent Lespez³, Thomas Dépret¹, Lucile de Milleville⁴, Nathalie Thommeret³, Cheikh Konta¹

¹ CNRS, Laboratoire de Géographie Physique (UMR 8591)

² Université de Paris I Panthéon-Sorbonne, Laboratoire de Géographie Physique

³ Université Paris Est Créteil Val de Marne, Laboratoire de Géographie Physique

⁴ Université Paris Cité, Laboratoire PRODIG (UMR8586)

* oceane.bunsimma@outlook.fr

Résumé

L'impact de l'urbanisation sur les formes et les sédiments des rivières est reconnu mais fait rarement l'objet d'une analyse approfondie. Cette étude propose de s'intéresser aux unités géomorphologiques du lit du Morbras, un petit cours d'eau d'Île-de-France dont plus de 52 % du bassin versant est urbanisé. Pour cela, un relevé systématique des radiers et des bancs a été effectué, ainsi que des zones d'affleurement de la roche en place qui, sur le Morbras, est le reflet de la disparition récente des alluvions. En complément, la taille des sédiments dans le lit de la rivière a été déterminée en appliquant la méthode de Wolman sur 17 radiers et 25 bancs. Leur mobilité a été estimée en recourant à deux traçages colorimétriques et à des formules de transport solide, permettant de préciser les débits critiques et la fréquence de mise en mouvement de la charge de fond. Une cartographie des puissances spécifiques a également été construite grâce à un MNT au pas de 0,5 m et à l'acquisition antérieure des largeurs à pleins bords. La mise en relation des données de terrain avec les résultats des équations semi-empiriques a permis de caractériser la dynamique sédimentaire du Morbras. Ainsi, on retrouve des formes fluviales sur le fond de la rivière sur l'ensemble du linéaire mais, par endroit, celles-ci sont très peu denses. La roche-mère est affleurante sur 1/6^e du linéaire, traduisant un tarissement sédimentaire généralisé, notamment de la fraction fine. Les sédiments sont donc grossiers et le lit parfois pavé, mais les particules restent mobiles, notamment à l'aval du bassin où les pentes et les puissances spécifiques sont plus importantes. Les formes échantillonnées sont composées d'une part assez importante de matériaux d'origine anthropique souvent plus grossiers que le lit, ce qui pose des questions de gestion du cours d'eau et interroge sur les possibilités de restauration.

Points clefs

- ✓ Impact de l'urbanisation sur les sédiments des rivières ;
- ✓ Relevé systématique des formes – radiers et bancs – et études granulométriques ;
- ✓ Mobilité des sédiments et évolution de la capacité de transport des petits cours d'eau urbains et périurbains.

Abstract

The impact of urbanisation on river forms and sediments is acknowledged but rarely analysed in depth. This study focuses on the geomorphological units of the Morbras, a small watercourse in the Ile-de-France region, where more than 52% of the catchment area is urbanised. To this end, a systematic survey of the riffles and bars was carried out, as well as of areas where bedrock is exposed, which, on the Morbras, reflects the recent disappearance of alluvial deposits. In addition, the size of the sediments in the riverbed was determined by applying the Wolman method to 17 riffles and 25 bars, and their mobility was estimated using two colorimetric tracers and solid transport formulas, making it possible to specify the critical flows and the frequency of movement of the bed load. A map of the specific stream power was also constructed using a 0.5 m DTM and the previously acquired bankfull width measurements. By correlating the field data with the results of the semi-empirical equations, it was possible to characterise the sediment dynamics of the Morbras. Thus, fluvial forms are found on the riverbed along the entire length, but in some places they are very sparse. Bedrock is exposed along 1/6th of the length, reflecting widespread sediment depletion, particularly of the fine fraction. The sediments are coarse and the bed is sometimes paved, but the particles remain mobile, particularly downstream of the basin where the slopes and specific stream powers are greater. The sampled forms are composed of a fairly significant proportion of anthropogenic materials, which are often coarser than the bed, raising questions about river management and the possibilities for restoration.

Key points

- ✓ *Impact of urbanization on river sediments;*
- ✓ *Systematic survey of forms — riffles and bars — and granulometric studies;*
- ✓ *Sediment mobility and changes in the transport capacity of small urban and peri-urban stream.*

Introduction

L'urbanisation des bassins versants peut engendrer des changements hydromorphologiques majeurs dans le lit des cours d'eau. Ils sont la conséquence de l'imperméabilisation des sols mais également de la multiplication des réseaux d'assainissement et de la chenalisation des lits. Ces transformations augmentent les débits de pointe et la fréquence des crues, en limitant l'infiltration et en accélérant l'acheminement de l'eau vers la rivière (Booth, 1990). En réponse, on observe des transformations morphologiques souvent marquées par un élargissement et un approfondissement du chenal qui traduit un déséquilibre entre débits liquide et solide, l'apport alluvial du système ne suffisant pas à compenser l'érosion du fond du lit et des berges. Si ces mutations morphologiques des lits ont souvent été décrites (Booth, 1990 ; Fitzpatrick & Pepler, 2010 ; Chin *et al.*, 2013 ; Vietz *et al.* 2016 ; de Milleville *et al.*, 2023), les dynamiques sédimentaires les contrôlant ont beaucoup moins été étudiées. Pourtant, les perturbations hydrologiques consécutives à l'urbanisation peuvent provoquer une large gamme de réponses sédimentaires qui se déclenchent souvent en cascade et prennent un

caractère parfois irréversible. Ce qui est communément appelé substrat est une variable de réponse de la rivière aux perturbations mais également une variable de contrôle de la dynamique du cours d'eau. La taille des particules, leur abondance et la capacité qu'a le cours d'eau à les transporter sont déterminantes pour l'évolution des lits. Ainsi, la forte incision des lits urbains s'accompagne souvent de la mise en place d'un pavage des lits ou de la disparition parfois complète de la charge caillouteuse et des formes associées, tels les radiers et les bancs (Pinto Martins, 2008 ; Jugie, 2018 ; de Milleville *et al.*, 2023).

Les caractéristiques granulométriques et structurelles des particules présentes dans le fond du lit sont déterminantes dans le fonctionnement hydromorphologique et écologique du cours d'eau. Une meilleure connaissance des conséquences qu'a l'urbanisation sur leur évolution est donc un préalable indispensable à la bonne gestion et à la restauration des cours d'eau évoluant en milieu urbain et périurbain. Cette étude, menée sur le Morbras, un petit cours d'eau périurbain d'Île-de-France, propose de s'intéresser à ces formes fluviales - radiers et bancs - pour mieux comprendre la dynamique sédimentaire résultante de l'urbanisation du bassin.

1. Site d'étude : le Morbras

Le Morbras est un affluent de la Marne d'une longueur de 18 km qui draine un bassin versant de 51 km² (Fig. 1A). Son bassin est périurbain, la rivière traversant en alternance des espaces densément urbanisés, boisés et agricoles. Entre 1960 et 2021, les surfaces urbanisées dans le bassin versant du Morbras ont presque été multipliées par 3, passant de 18,4 à 52,5 % (Institut Paris Region), au détriment des espaces agricoles qui sont passés d'une superficie de 26,5 à seulement 7,6 km². de Milleville *et al.* (2023) ont montré qu'en conséquence le Morbras a érodé son lit, aujourd'hui largement surcalibré par rapport à la taille de son bassin versant. Il présente une largeur et une profondeur moyenne à pleins bords de respectivement 6,30 et 1,40 m. Le lit du Morbras a un style fluvial essentiellement rectiligne mais développe par endroit des trains de méandres assez développés. Son relief est assez peu marqué : prenant sa source à une altitude de 113 m à Pontcarré, il se jette dans la Marne à une altitude de 32 m, à Bonneuil-sur-Marne. Sur les 11 premiers kilomètres de son cours, sa pente est relativement douce (0,3 %), puis s'accroît (0,8 %) à la faveur d'une rupture de pente assez brutale (Fig. 1B). Le Morbras incise progressivement le vaste plateau de Brie, recouvert de « limon des plateaux », matériaux hétérogènes contenant des limons, sables et fragments de meulière. D'amont en aval, il s'écoule ensuite sur des calcaires siliceux très altérés et de la meulière compacte (issus de l'altération des calcaires de Brie), puis sur des argiles vertes, des marnes blanches et bleues, et entaille enfin les calcaires de Champigny (alternance de marnes, calcaires siliceux, meulière et nodules de silex) puis les calcaires de Saint-Ouen au niveau de son exutoire vers la Marne (Fig. 1B).

Le lit caillouteux du Morbras a fait l'objet d'une première étude granulométrique réalisée par de Milleville *et al.* (2023) attestant la présence de sédiments majoritairement grossiers et d'un affleurement fréquent de la roche-mère. La plupart du temps, celui-ci prend la forme d'une dalle argileuse mais parfois aussi de gros blocs de grès. La distribution des radiers et des mouilles le long de son cours est hétérogène, sans pour autant qu'ils aient complètement disparu. Des mesures granulométriques selon la méthode de Wolman ont également été réalisées entre fin 2018 et début 2019, révélant une taille médiane (D_{50}) des particules des matériaux du lit allant de 4 à 57 mm, et un D_{84} de 10 à 172 mm. de Milleville *et al.* (2023) notent également la présence régulière d'éléments d'origines anthropiques tels que des blocs de béton, des briques ou des morceaux de verre, que ce soit dans le fond du lit ou sur les bancs.

Une station hydrométrique installée à Sucy-en-Brie enregistre de manière continue les débits de la rivière (Fig. 1A). Située à l'aval du système, elle couvre 97 % du bassin versant et permet d'estimer le module du Morbras à 0,31 m³/s (calculé à partir d'un cycle de 24 années, de 2000 à 2023). Durant la saison chaude, les orages estivaux entraînent parfois des crues brutales. Le débit peut augmenter très rapidement et régulièrement dépasser 2 ou 3 m³/s, pouvant même atteindre 10 m³/s. Son débit maximum observé sur la période 2000-2023 est de 10,8 m³/s, survenu le 12 juin 2018. Cette crue a provoqué des inondations, touchant notamment le quartier du Grand-Val à Sucy-en-Brie, où le lit du Morbras est chenalisé en contrebas des habitations. Le débit de crue fréquente ($Q_{1,5}$) dans la partie aval de son cours est de 5,3 m³/s, ce qui correspond à une puissance spécifique de 34 W/m².

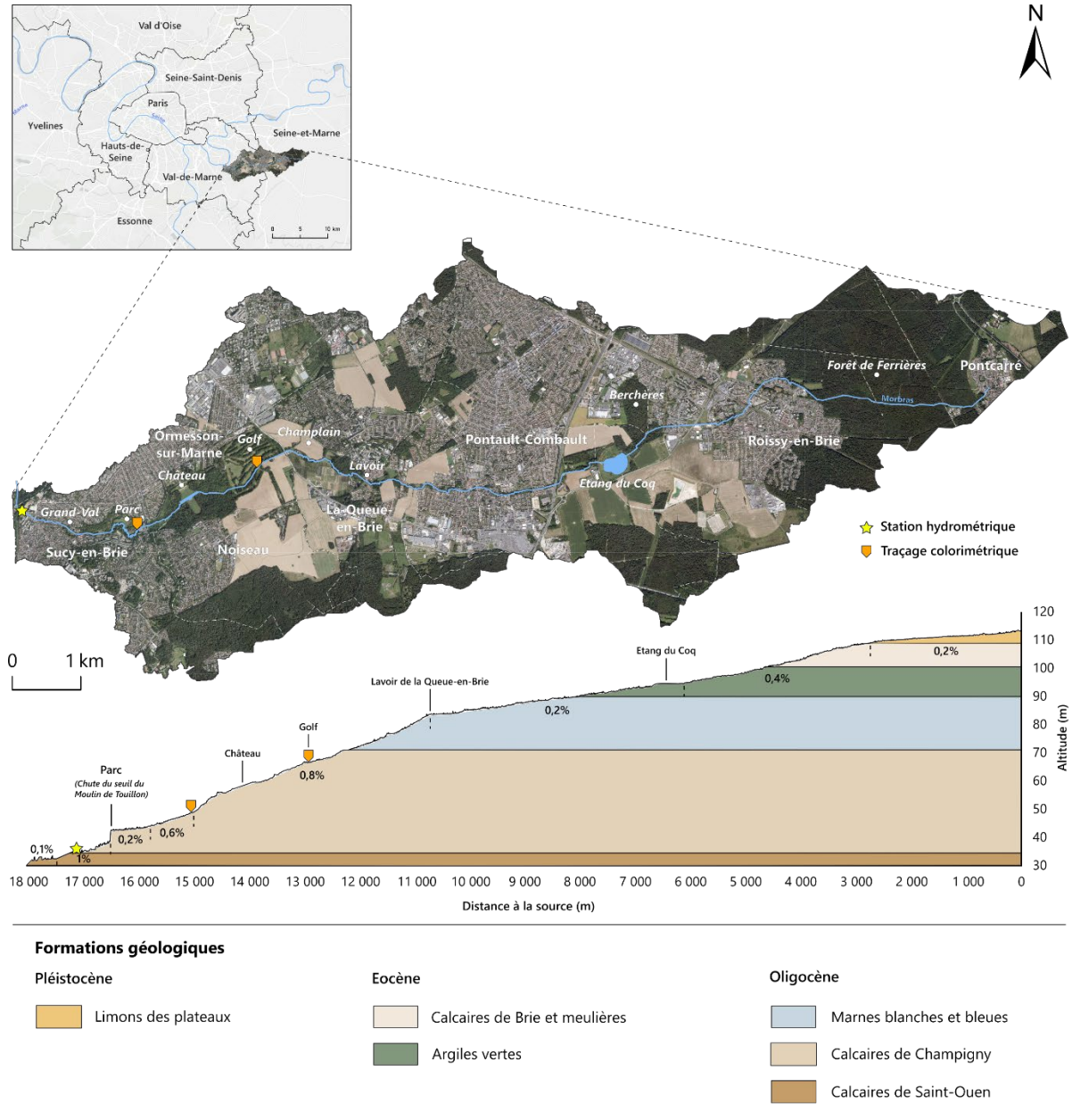


Figure 1. A. Carte de localisation du bassin versant du Morbras dans l'espace francilien. B. Profil longitudinal des formations géologiques et pentes.

2. Méthodes

2.1. Caractérisation de la composition du fond du lit du Morbras

L'entièreté du linéaire accessible a été étudiée en parcourant la rivière à pied, directement dans le chenal. Les radiers et les bancs alluviaux ont fait l'objet de relevés systématiques et ont été géolocalisés grâce à un système GNSS de précision centimétrique. Ces formes sont essentielles pour connaître la composition sédimentaire du lit d'une rivière et comprendre les dynamiques de transport des sédiments. Les radiers sont les lieux de dépôt de la fraction la plus grossière de la charge de fond (Fig. 2A). Ils correspondent aux hauts-fonds et sont généralement caractérisés par une pente de la ligne d'eau plus importante (en basses eaux). Dans

les environnements non perturbés, ils sont théoriquement espacés de 5 à 7 fois la largeur à plein bord (Leopold *et al.*, 1964). Les bancs sont des macroformes mobiles où se stocke temporairement la charge en transit (Malavoi & Bravard, 2010) (Fig. 2B). Ils sont généralement positionnés légèrement au-dessus des radiers. Dans le Morbras, les radiers ont été répertoriés par de Milleville (2023) dans le cadre de ses travaux de thèse. Leur longueur a été mesurée, ainsi que la largeur et la hauteur à pleins bords du chenal au droit de chacun d'entre eux. Les bancs ont été géolocalisés dans le cadre de la présente étude. Leur longueur, largeur et surface ont été relevées. Les affleurements de roche en place, témoignant du départ complet de la charge alluviale, ont également été relevés et la surface de l'affleurement a été mesurée (Fig. 2C).



Figure 2. A. Radier du Morbras (Roissy-en-Brie) ; B. Banc de convexité du Morbras (Sucy-en-Brie) ; C. affleurement du substrat marneux (Pontault-Combault)

Certains bancs et radiers ont également fait l'objet de relevés granulométriques selon la méthode de Wolman (1954). Pour chacune de ces formes échantillonnées, l'axe intermédiaire (axe b) de 100 particules a été mesuré à l'aide d'un pied à coulisse. La nature des éléments échantillonnés a également été précisée au travers d'une typologie simplifiée comptant 5 classes : meulière, calcaire, silex, grès (calcaires siliceux) et matériaux d'origine anthropique (Fig. 3). Ces derniers peuvent être de nature différente : brique, faïence, verre, tarmac, métaux, etc. Ces éléments anthropiques ont été considérés lorsqu'ils étaient pleinement intégrés dans les sédiments du fond du lit. Ils présentaient généralement un certain émoussé (Fig. 3E). La présence de biofilm ou de mousse sur chacune des particules mesurées a été relevée comme indice de leur faible mobilité. Chaque élément mesuré était classé selon deux modalités de végétalisation : présence ou absence.



Figure 3. Nature des sédiments présents sur le fond du lit du Morbras. A. Grès (Calcaire siliceux) ; B. Calcaire ; C. Silex ; D. Meulière ; E. Élément d'origine anthropique (1. Métaux, 2. Matériaux de construction, 3. Verre).

2.2. Évaluation de la mobilité de la charge de fond

Afin d'étudier la mobilité de la charge de fond et d'évaluer les débits seuils de mise en mouvement des particules, deux placettes d'un mètre carré ont été marquées à la peinture (Fig. 4A). Ces marquages ont été effectués sur deux bancs : l'un situé au Golf d'Ormesson-sur-Marne et l'autre dans le Parc départemental de Sucy-en-Brie (Fig. 1). Le comptage des particules avant et après mobilisation a été réalisé sur photographie après la mise à l'échelle du cliché (Fig. 4B). Pour obtenir les caractéristiques granulométriques des placettes, un échantillonnage a été réalisé grâce à un maillage déterminé à partir de l'axe b (qui correspond sur photographie au plus petit axe visible) de la plus grosse particule de la placette. L'axe b de 100 particules situées sous les nœuds de la grille a ensuite été mesuré afin de constituer notre échantillon.

La puissance spécifique permet de quantifier la capacité de travail d'un cours d'eau et caractérise ses potentialités dynamiques. Elle est très utilisée pour estimer la force dont dispose la rivière pour modifier la forme de son lit et s'ajuster aux perturbations (Malavoi & Bravard, 2010). La puissance spécifique se calcule grâce à la formule suivante :

$$\omega = \frac{\rho g Q S}{W}$$

Avec : ω = la puissance spécifique (W/m^2)
 ρ = la masse volumique de l'eau ($1\ 000\ kg/m^3$)
 g = l'accélération de la gravité ($9,8\ m/s^2$)
 Q = le débit à pleins bords (m^3/s)
 S = la pente de la ligne d'énergie (m/m)
 W = la largeur à pleins bords (m)

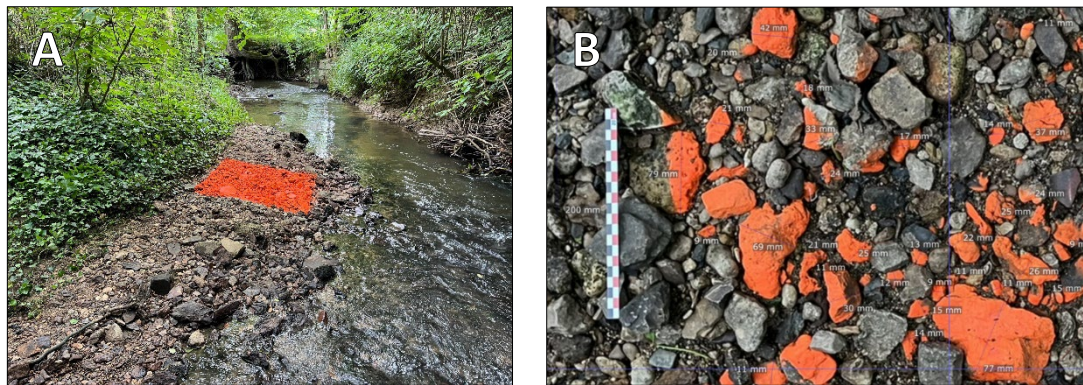


Figure 4. A. Installation de la placette au Parc départemental de Sucy-en-Brie.
 B. Comptage et mesure de l'axe b des particules sur photographie.

La pente du cours d'eau a été obtenue par interpolation de la ligne d'eau sur un modèle numérique de travail (MNT) d'une résolution de 0,5 m. Le profil longitudinal ainsi obtenu nous a permis d'identifier 8 tronçons de pentes homogènes (Fig. 1). Pour le calcul des puissances, la pente locale a été mesurée pour chaque radier sur le MNT sur une longueur de 12 fois la largeur à pleins bords. Les largeurs à pleins bords, issues de Milleville (2023), ont été mesurées sur le terrain au décimètre au droit de chaque radier. Les débits sont issus de la station de Sucy-en-Brie et recalculés en tout point du bassin en fonction de la superficie drainée. Plutôt que de considérer le débit à pleins bords qui varie considérablement en fonction de l'incision du lit, la crue annuelle déterminée à partir de la courbe des débits classés a été considérée pour évaluer l'énergie de la rivière.

Le transport solide débute lorsqu'un certain seuil est dépassé et que les particules se mettent en mouvement. Ce seuil est le plus souvent défini à partir des contraintes de cisaillement et du critère adimensionnel de Shields. La contrainte de cisaillement représente la force exercée par l'écoulement sur les sédiments du lit et est telle que :

$$\tau = \rho g S d \quad (\text{eq. 1})$$

Avec : τ = la contrainte de cisaillement (N.m²) S = la pente de la ligne d'eau (m/m)
 g = l'accélération de la pesanteur (9,81 m/s²) d = la profondeur moy. ou la hauteur d'eau (m)
 ρ = la masse volumique de l'eau (1000 kg/m³)

Recking (2010) a proposé une formule qui permet de calculer la contrainte critique de cisaillement (ou nombre critique de Shields) (τ^*_c) qui représente le seuil au-delà duquel une particule de diamètre D_i est mise en mouvement. Celle-ci est telle que :

$$\tau^*_c = (1,32S + 0,037) \left(\frac{D_i}{D_{50}} \right)^{-0,93} \quad (\text{eq.2})$$

Avec : τ^*_c = la contrainte critique de cisaillement (N.m²)
 S = la pente de la ligne d'eau (m/m)
 D_i = la taille d'une particule donnée (m)

Dans le cadre de cette étude, nous avons cherché à déterminer les débits seuils de mise en mouvement (Q_c). En connaissance de τ^*_c calculé à partir de la formule précédente, nous avons cherché pour quel débit τ^* était équivalent - en pratique légèrement supérieur - à τ^*_c pour une taille de particule donnée. Cela permet de déterminer le débit seuil critique au-delà duquel ladite particule est mise en mouvement. Ainsi, d'après la formule de Recking (2013) :

$$\tau^* = \frac{\tau}{(\rho_s - \rho) g D_x} \quad (\text{eq.3})$$

Avec : ρ_s = la densité du grain (2,65 pour les matériaux naturels)
 ρ = la densité de l'eau

Grâce à l'utilisation de ces différentes équations, des débits seuils critiques de mise en mouvement ont pu être calculés pour différents centiles caractéristiques (D_{10} , D_{16} , D_{25} , D_{50} , D_{75} , D_{84} , D_{90}). Les débits seuils obtenus ainsi de façon semi-empirique ont pu être comparés aux débits seuils obtenus à l'aide des traçages colorimétriques.

3. Résultats

3.1. Caractéristiques de la charge de fond

3.1.1. Distribution spatiale des radiers et des bancs

de Milleville *et al.* (2023) ont montré que le Morbras s'était fortement incisé et élargi au cours de ces dernières décennies suite à l'urbanisation de son bassin versant. La Figure 5 montre que cette évolution ne s'est pas accompagnée d'une disparition complète de la charge grossière puisque pas moins de 248 radiers et 145 bancs ont été répertoriés le long du cours. À l'exception de la traversée de la forêt de Ferrières dans les 2,5 premiers kilomètres du cours, ceux-ci sont présents sur quasiment tout le linéaire (Fig. 5). Leur distribution n'est toutefois pas uniforme. On trouve ainsi relativement peu de radiers dans la première moitié du bassin, voire même très peu dans certains secteurs (densité inférieure à 5 radier/km dans la partie amont de Roissy-en-Brie, autour de l'étang du Coq et dans la partie rectiligne du parc de Sucy-en-Brie). Ils sont en revanche assez abondants (densité supérieure à 20 radier/km) dans la cuvette de Champlain, la traversée du golf et l'amont du parc départemental. Leur longueur est très variable, allant de 0,5 m à 49 m. À Roissy-en-Brie, que ce soit dans le secteur urbanisé ou dans le secteur forestier, les radiers sont plus courts et tous inférieurs à 5 m

de long. Les plus étendus se situent majoritairement dans la traversée du Golf, dans le secteur méandrique du parc de Sucy-en-Brie et dans le quartier du Grand-Val (Fig. 1).

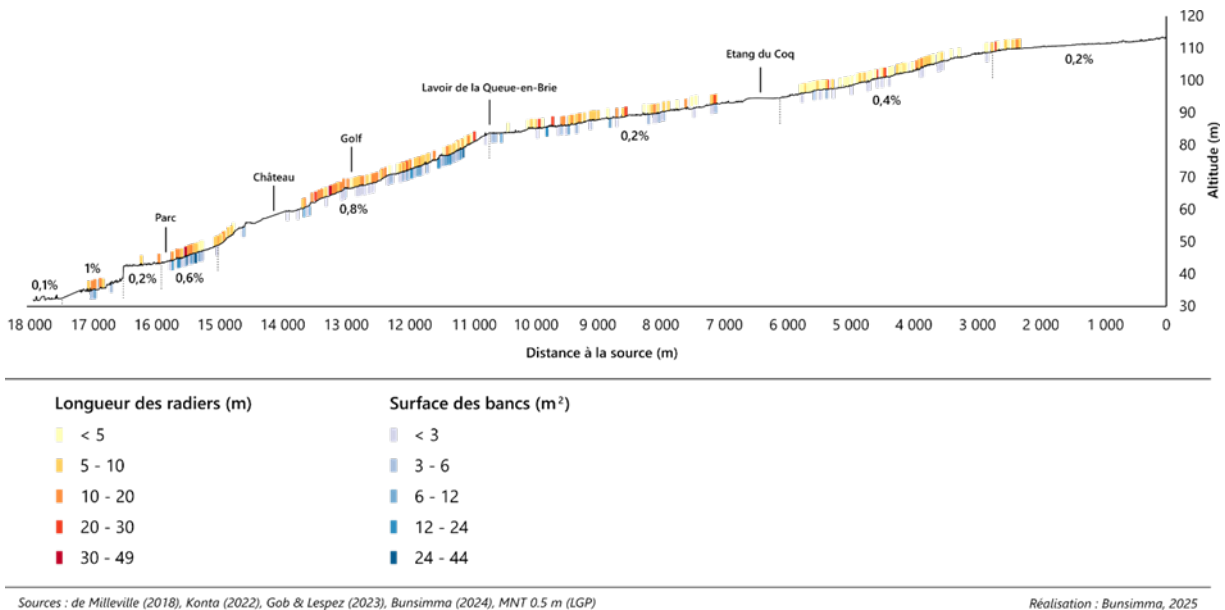


Figure 5. Longeur des radiers et surface des bancs le long du profil longitudinal

La présence de banc et de radier est relativement corrélée. On recense en moyenne 8 bancs par kilomètre sur le Morbras mais leur répartition le long du profil est, comme les radiers, très hétérogène : ils sont complètement absents de la forêt de Ferrières, présents ponctuellement dans les zones urbaines de Roissy-en-Brie, Pontault-Combault et Sucy-en-Brie - avec une densité de 1 à 10 bancs par kilomètre - et sont 2 à 3 fois plus abondants dans les parties plus sinueuses de la cuvette de Champlain et du parc de Sucy-en-Brie.

Si la longueur de ces formes semble répondre à une logique amont-aval, avec un allongement moyen qui suit l’élargissement du lit vers l’aval, la densité et l’espacement entre les radiers (et entre les bancs) ne peuvent être expliqués aussi facilement. À la lecture de la Figure 5, on pourrait être tenté de faire un lien entre la présence des radiers et la pente du cours d’eau, mais la densité élevée des radiers pourrait également être corrélée avec les affleurements de calcaire de Brie et de Champigny (le nombre de radiers diminue plutôt sur les terrains marneux et argileux - Fig.1). Il semble que c’est toutefois le caractère préservé des tronçons qui est prépondérant dans la présence des radiers et des bancs. C’est en effet dans les secteurs identifiés par de Milleville *et al.* (2023) et Lespez *et al.* (2025) comme les moins incisés et présentant les formes fluviales les plus diversifiées (sinuosité, diversité de largeur et profondeur, nature des berges, etc.) que l’on compte la densité la plus élevée de radiers et de bancs. Il faut également souligner le rôle que pourrait jouer le ru de la Fontaine de Villiers en termes de recharge sédimentaire. Cet affluent très pentu connaît en effet une érosion très importante de son lit et apporte jusqu’au Morbras une charge grossière importante. Il rejoint le Morbras juste à l’amont du Parc départemental de Sucy-en-Brie.

Entre les radiers et les bancs, on retrouve des zones plus profondes que sont les mouilles et des secteurs plats, plus ou moins courants. Dans ces secteurs, le lit est généralement couvert par un substrat caillouteux mais compte également de nombreuses zones plus ou moins longues où affleure le substratum géologique (argile ou, de façon plus exceptionnelle, blocs de calcaire siliceux). Ces affleurements ont été observés sur plus de 3 100 m de long, ce qui représente en cumulé 1/6^e du linéaire cours d’eau. On en retrouve sur presque l’ensemble du tracé à l’exception des quatre premiers kilomètres dans la forêt de Ferrière et la traversée de la ville de Roissy-en-Brie (Figure 6). Ils peuvent être très courts et n’occuper qu’une partie du lit (ex. Fig. 2C) ou s’étendre sur plusieurs dizaines de mètres et occuper l’entièreté du fond du lit, comme c’est le cas dans le Bois de Berchère où le Morbras s’écoule sur une dalle d’argile. Leur omniprésence est révélatrice de la faible

épaisseur de la nappe caillouteuse sur laquelle s'écoule le Morbras. Cette nappe de cailloux est par ailleurs également assez peu visible dans les berges puisqu'un relevé systématique de celles-ci n'a révélé que 1 573 mètres cumulés de cours d'eau présentant des berges dont la composition granulométrique comptait des particules grossières (gravier, caillou, pierre ou bloc). Ces particules ne se présentent d'ailleurs pas sous la forme de nappe à la base de la berge, mais plutôt comme des *patches* localisés d'une longueur moyenne de seulement 11,5 m.

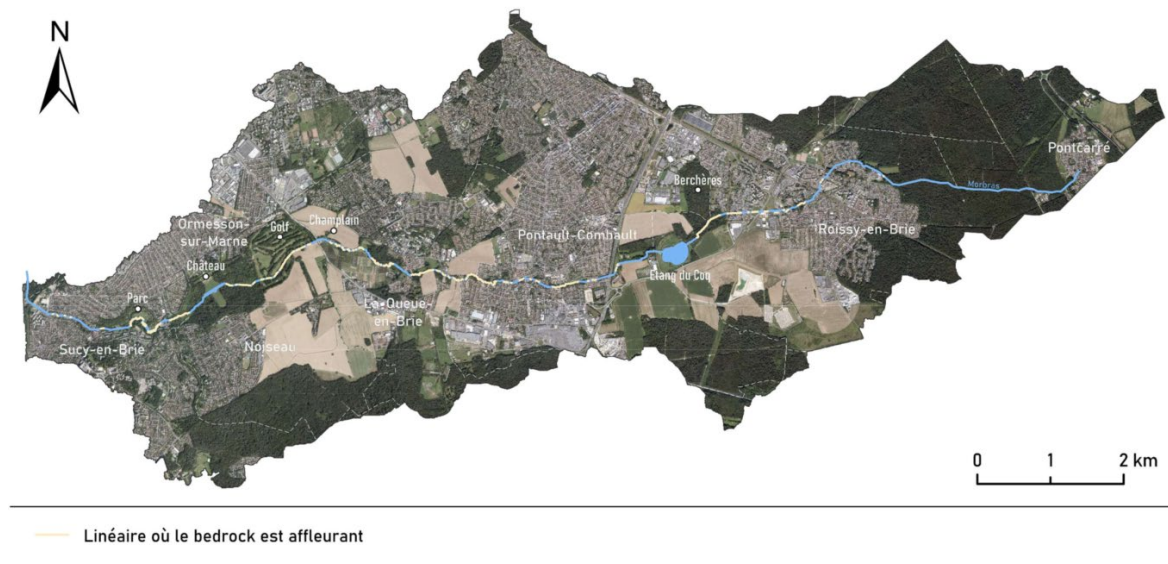
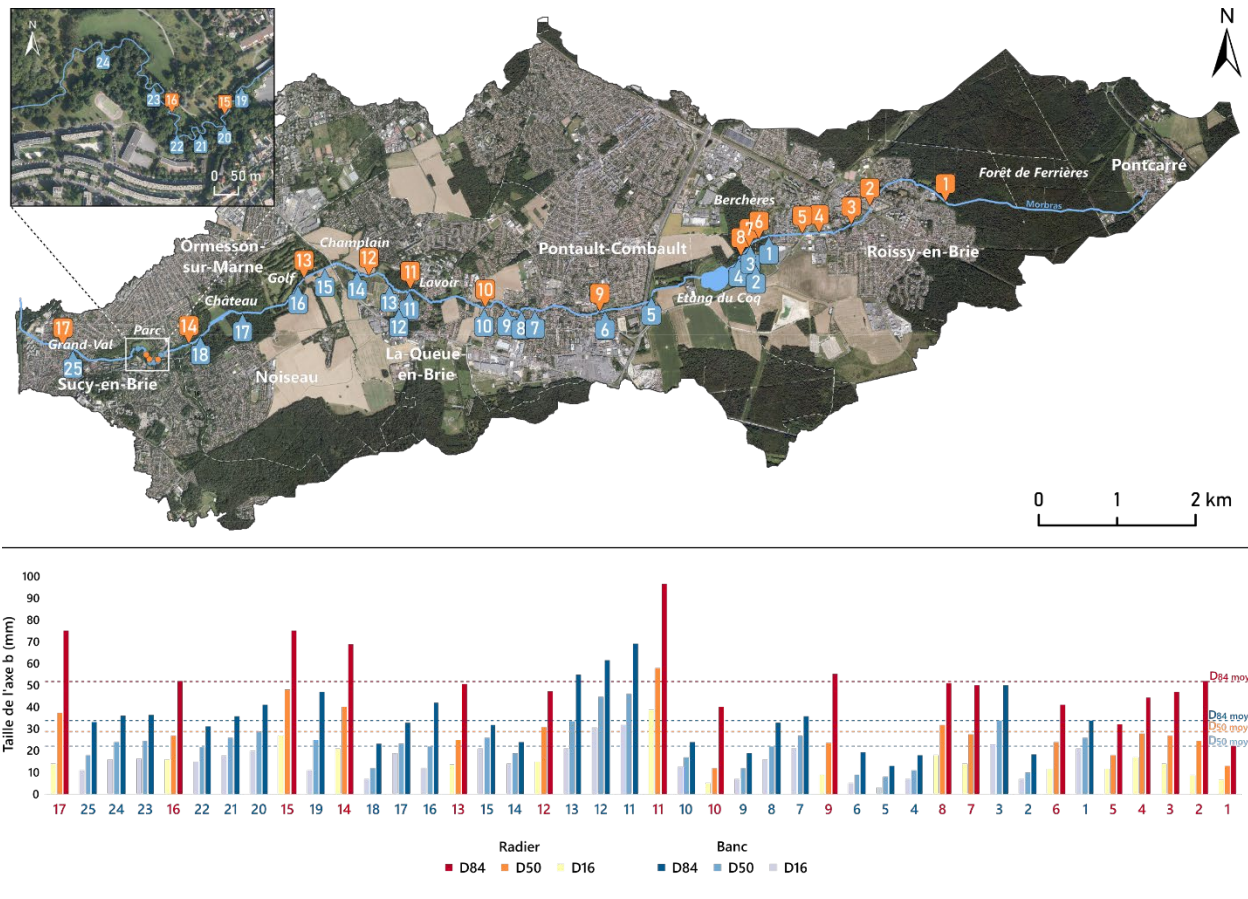


Figure 6. Carte de localisation des affleurements de roche-mère

3.1.2. Caractéristiques granulométriques et nature des particules

Des mesures granulométriques de bancs et de radiers ont été réalisées sur l'ensemble du linéaire. Le protocole de Wolman a été appliqué à 25 bancs et 17 radiers (Fig. 7). Aucun banc n'a pu être échantillonné à l'amont du système à cause de leur trop faible taille (voir Fig. 5). Sur la Figure 7, le diagramme de la distribution granulométrique des bancs et des radiers échantillonnés représente les centiles caractéristiques D_{16} , D_{50} et D_{84} de chaque échantillon. La composition granulométrique des deux séries est assez hétérogène, les écarts entre chaque centile sont parfois importants. Il existe donc une différence assez marquée entre la taille des plus petites particules et celle des plus grosses, mais ces écarts sont plus faibles sur les bancs qui sont mieux triés que les radiers. En effet, la différence entre le D_{16} et le D_{84} moyen des bancs est de 20 mm, contre 30 mm pour les radiers. Lorsqu'un banc et un radier ont été échantillonnés l'un à côté de l'autre, on note également que les radiers sont systématiquement plus grossiers que les bancs. Les D_{50} et D_{84} moyens des radiers sont ainsi supérieurs à ceux des bancs : $D_{50\text{moy}}$ de 29 mm sur les radiers et de 23 mm sur les bancs ; $D_{84\text{moy}}$ de 53 mm sur les radiers et 35 mm sur les bancs. Enfin, la lecture de la Figure 7 révèle que la distribution granulométrique des particules ne suit pas de logique amont/aval qui voudrait que la taille des sédiments diminue progressivement le long du profil. Dans la première moitié du cours (jusqu'au banc n°10), on voit plutôt des particules de petite taille qui composent les bancs et les radiers (presque toujours inférieur aux D_{50} et D_{84} moyens). Dans la seconde moitié du cours, en aval du lavoir de la Queue en Brie qui marque la rupture de pente du profil en long, la tendance s'inverse. Le secteur le plus pentu (pente $> 0,6\%$) compte ainsi les particules les plus grossières tant sur les radiers que sur les bancs (D_{50} moyen des radiers 23 mm à l'aval et 18 mm à l'amont ; D_{50} moyen des bancs 38 mm à l'aval et 26 mm à l'amont).



Sources : de Milleville (2018), Konta (2022), Bunsimma (2023, 2024), BD Ortho, BD Topo (IGN)

Réalisation : Bunsimma, 2025

Figure 7. Localisation des bancs et des radiers échantillonnés par la méthode de Wolman (en haut) et D_{16} , D_{50} et D_{84} des distributions granulométriques de ces bancs et radier (en bas)

La nature des particules échantillonnées ne présente pas de distribution particulière puisque les trois principales lithologies, calcaire, calcaire siliceux et meulière, sont présentes sur l'ensemble du linéaire. La part importante de matériaux d'origine anthropique dans la composition des dépôts (en moyenne 14 % des bancs et 10 % des radiers) est en revanche particulièrement remarquable. Il s'agit essentiellement de matériaux dédiés à la construction, mais aussi de morceaux de verre ou de céramique. Le banc n° 4, situé au Bois des Berchères, et le radier n° 18, situé dans le quartier du Grand-Val, en sont composés pour 1/3. Le banc n° 18, localisé juste à l'aval du Château d'Ormesson-sur-Marne, présente même 50 % de particules anthropiques. De plus, sur les trois quarts des bancs et plus de la moitié des radiers, l'axe b des particules d'origine anthropique est supérieur ou égal au D_{50} du dépôt. Pour 5 bancs et 1 radier, leur diamètre égale ou dépasse même le D_{84} .

3.2. Transport de la charge de fond

Le profil longitudinal de la Figure 8 montre que le Morbras est une rivière à faible énergie dans la partie amont de son cours, là où les pentes sont les plus douces. La puissance spécifique de la crue $Q_{1,5}$ est presque partout inférieure à 25 W/m^2 et très souvent inférieure à 10 W/m^2 . Le cours d'eau devient plus puissant à partir du lavoir de La Queue-en-Brie, lorsque la pente s'accroît. À partir de ce point d'inflexion du profil, les puissances spécifiques dépassent 35 W/m^2 et peuvent même atteindre plus de 50 W/m^2 pour des crues fréquentes ($Q_{1,5}$). Bien que faibles, ces puissances peuvent être suffisantes pour transporter les particules de petite taille qui caractérisent le lit du Morbras. Dans des rivières aux caractéristiques comparables, Petit *et al.* (2005) montrent en effet que des puissances spécifiques de 10 à 30 W/m^2 sont nécessaires pour mettre en mouvement des particules de diamètre de 20 mm et des puissances spécifiques de 30 à 70 W/m^2 pour mobiliser

des particules de diamètre de 50 mm. Les débits seuils de mise en mouvement et les fréquences de charriage ont été calculés plus précisément au droit des 17 radiers à partir du calcul des contraintes critiques présentés plus haut. Dans la première partie du cours, les fréquences de mobilisation des centiles D_{50} et D_{84} sont assez faibles. Entre les radiers 1 et 10, elles varient de 0 à 3,8 jours/an. Elles augmentent ensuite significativement lorsque la pente s’accroît. À partir du radier 12, les fréquences de mobilisation du D_{50} varient alors de 28,4 à 58,8 jours/an.

La présence de mousse ou d’un biofilm sur les particules qui composent les bancs et les radiers tempère quelque peu ces résultats et montre qu’une part non négligeable de la charge de fond semble ne participer que peu fréquemment au transport. En effet, si la part de particules végétalisées est en moyenne de 16,7 % sur les bancs du Morbras, témoignant d’une mobilisation assez fréquente, elle est, pour les radiers, bien plus importante. Elle atteint en moyenne 38,7 % et sur certains radiers dépassent largement 50 % de particules colonisées par la végétation. Le radier n° 11, localisé dans la partie boisée de la cuvette de Champlain, compte même plus de 85 % de particules végétalisées. Avec une moyenne proche de 40 %, il semble ainsi qu’une partie importante des particules des radiers soit rarement mobilisée par le cours d’eau.

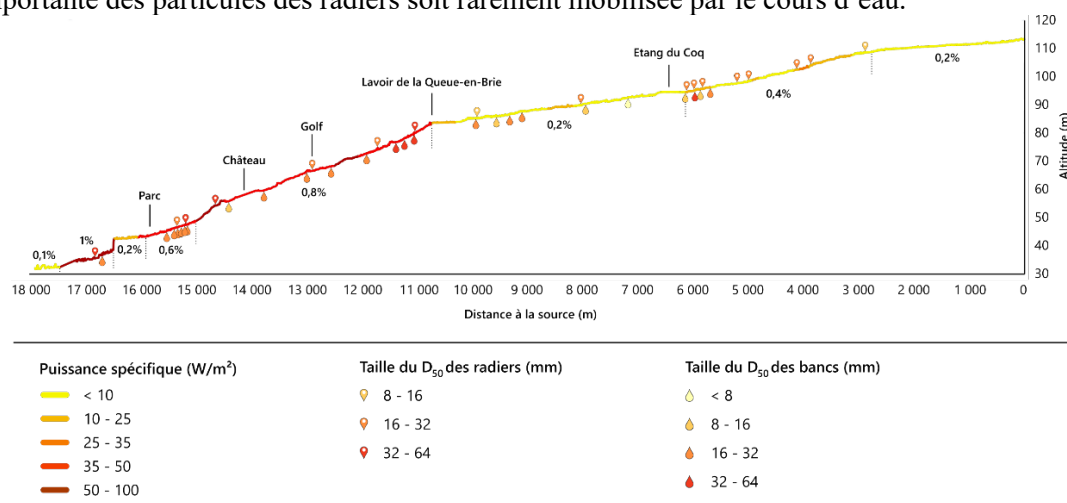


Figure 8. Profil longitudinal des puissances spécifiques de période de retour $T=1,5$ an et localisation des bancs et des radiers, en fonction de la taille de leur D_{50}

Pour mieux évaluer la puissance de la rivière, deux bancs ont fait l’objet de marquages colorimétriques, l’un situé au Golf d’Ormesson-sur-Marne (n° 16) et l’autre dans le Parc départemental de Sucy-en-Brie (n° 19). La chronologie des événements hydrologiques a été retracée sur la Figure 9. Elle présente l’hydrogramme des débits maximums enregistrés à la station de Sucy-en-Brie, combiné au hétérogramme de la station météorologique de Paris-Orly, distante de 12 km. Les deux placettes ont été installées en 2024, le 10 juin au Golf et le 06 juin au Parc. Dans les jours qui ont suivi, un épisode pluvieux important est survenu entre le 13 et le 18 juin, où 23,4 mm de pluie cumulés sont tombés en 6 jours. À la suite de cet événement, un débit maximal instantané de 2,6 m^3/s a été enregistré le mardi 18 juin à la station de Sucy-en-Brie. Il correspond à une fréquence de dépassement de 0,01 : il s’agit donc d’une crue que l’on peut qualifier de fréquente, survenant quelques jours par an. Les résultats figurent dans le Tableau 1 et permettent de constater que la crue a mobilisé un peu moins de la moitié des particules marquées sur les deux placettes. Les particules ont toutefois été transportées sur de faibles distances qui n’ont pas dépassé 4 m sur les deux sites. Si les plus gros cailloux déplacés ont un diamètre supérieur à

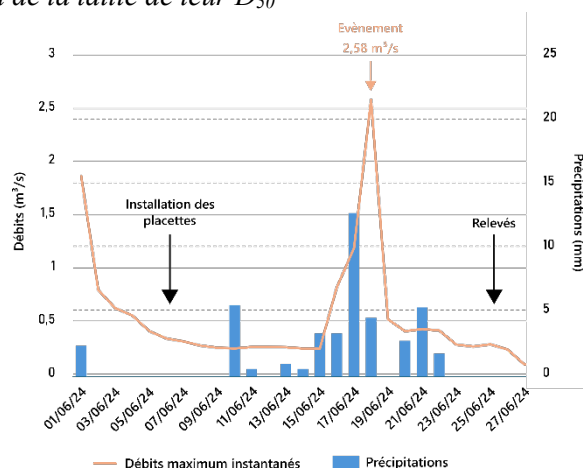


Figure 9. Chronologie des événements liés aux traçages colorimétriques

40 mm dans le Parc et 60 mm au Golf, le diamètre médian des particules mobilisées est presque deux fois inférieur aux particules restées en place. Il est de 12 mm dans le Parc et de 13 mm dans le Golf alors que les D_{50} des bancs correspondants sont de 18 et 19 mm. Alors que l'on se trouve dans la partie la plus dynamique de la rivière, ces résultats très préliminaires montrent que cette petite crue n'a été capable de mobiliser qu'une petite fraction des particules présentes dans le lit de la rivière.

Les débits critiques de mobilisation théoriques calculés à partir de eq. 1 à 3 sur les deux sites sont beaucoup plus faibles que la crue de juin 2024, respectivement 0,6 et 1,2 m^3/s pour le D_{50} et 0,6 et 1,4 m^3/s pour le D_{84} . Ces débits critiques suggèrent une mobilisation fréquente de la charge de fond à mettre en regard avec les résultats du marquage. Les particules au diamètre inférieur ou égal au D_{84} du banc situé au Golf auraient en effet une fréquence de charriage théorique de 24,3 jours et celles du Parc de 57 jours par an. Le débit observé en juin 2024 sur nos placettes marquées est plus du double des débits critiques calculés à partir des contraintes de cisaillement et la majorité des particules sont pourtant restées immobiles. Les contraintes critiques théoriques surestiment donc probablement le transport dans le Morbras, qui s'il est bien réel, notamment dans le tronçon le plus pentu, reste relativement limité (particulièrement pour les crues les plus fréquentes).

Tableau 1. Résultats obtenus suite à la mobilisation partielle des particules des placettes

Commune	Nom de la placette	Intervalle d'observation	Débit max observé à la station (m^3/s)	Nb de particules encore en place	Nb de particules mobilisées retrouvées	D_{50} initial (mm)	D_{50} des particules en place (mm)	D_{50} des particules mobilisées (mm)
Ormesson-sur-Marne	Golf	Entre le 10 et le 27 juin	2,577	277	223	19	22	13
Sucy-en-Brie	Parc	Entre le 06 et le 25 juin	2,577	490	276	18	20	12

Tableau 2. Débits seuils critiques pour les diamètres D_{50} et D_{84} et fréquences annuelles de mobilisation

Commune	Nom de la placette	Centile	Diamètre (mm)	Q_c (m^3/s)	Fr. annuelle de mobilisation (j)
Ormesson-sur-Marne	Golf	D_{50}	19,00	1,20	26,46
		D_{84}	51,32	1,40	24,33
Sucy-en-Brie	Parc	D_{50}	18,00	0,517	62
		D_{84}	46,36	0,550	57

4. Discussion et conclusion

Les résultats présentés dans ce rapport sont préliminaires mais montrent que l'évolution rapide de la morphologie du chenal du Morbras suite à l'urbanisation de son bassin s'est accompagnée d'une transformation des caractéristiques sédimentaires du fond de son lit. Bien que la situation pré-urbanisation ne soit pas connue avec précision, on peut affirmer avec une relative certitude qu'une partie des matériaux grossiers qui devaient tapisser le lit a été emportée hors du bassin versant. de Milleville *et al.* (2023) ont en effet mesuré une incision de plusieurs dizaines de centimètres sur la quasi-totalité du cours, ne laissant aucune place pour la sédimentation. Les nombreux affleurements de roche en place cartographiés, associé à la faible densité de radiers et bancs témoignent d'une disparition au moins partielle de la charge grossière. La réduction du nombre de radiers, telle qu'observée sur le Morbras, semble être un caractère commun à de nombreuses rivières urbaines (Booth *et al.*, 2016; Booth & Bledsoe, 2009; Hawley *et al.*, 2013 ; Jugie *et al.*, 2018 ;

Medupin, 2020 ; Pizzuto *et al.*, 2000 ; Vietz *et al.*, 2016). Dans les secteurs où la rivière a conservé une certaine sinuosité, un espace de liberté latérale et une diversité dans la forme en travers du chenal, le lit présente toutefois des formes fluviales bien marquées avec des alternances de seuil et de mouille et la présence de bancs sédimentaires, notamment dans les convexités et les points d'inflexion des méandres. C'est dans les secteurs très urbains et les tronçons les plus incisés que les radiers sont les plus espacés et beaucoup plus courts. Sur une quarantaine de tronçons de rivière du Kentucky, Hawley *et al.* (2013) ont observé la même tendance avec une réduction de la longueur des radiers de 15 cm/an pour une augmentation annuelle de 1 % des surfaces imperméabilisées.

L'analyse de la taille des particules présentes sur les radiers et les bancs, croisée avec la puissance spécifique de la rivière, montre que dans l'état actuel des choses le Morbras est une rivière à faible énergie mais qui conserve une certaine dynamique sédimentaire. La faible végétalisation des particules qui composent les bancs montre que celles-ci sont transportées assez régulièrement, tant dans la partie amont peu pentue du cours que dans la partie aval. Les marquages ont toutefois montré que le transport régulier ne concernait que les particules de petite taille (20-30 mm) et que les particules les plus larges étaient quant à elles beaucoup moins mobiles. C'est également ce que montre la végétalisation d'une part importante des particules des radiers. Ils sont composés d'éléments plus grossiers qui sont manifestement beaucoup plus rarement transportés. Le suivi beaucoup trop court des placettes marquées ne nous permet pas d'évaluer précisément la vitesse de déplacement des particules sur le fond du Morbras mais l'on voit que, pour une crue fréquente comme celle de juin 2024, les particules les plus rapides n'ont parcouru que quelques mètres.

On peut s'interroger sur le caractère contradictoire de ces résultats : le transport de la charge de fond semble aujourd'hui limité mais les formes fluviales témoignent d'une intense dynamique sédimentaire consécutive à l'urbanisation du bassin. Comment la charge grossière a-t-elle pu être évacuée du bassin pour arriver à la situation actuelle ? Pour atteindre l'exutoire, les particules caillouteuses les plus éloignées ont dû parcourir jusqu'à une quinzaine de kilomètres en une soixantaine d'années, c'est-à-dire se déplacer à des vitesses moyennes devant atteindre jusqu'à 250 m/an. Cette valeur est surprenante, car dix à cent fois supérieure aux quelques vitesses virtuelles de déplacement de la charge de fond disponibles dans des contextes de faible énergie de plaine (Houbrechts *et al.*, 2015 ; Tamisier *et al.*, 2023 ; Rollet *et al.*, 2024). Nous ne pouvons pour l'instant pas totalement expliquer cette contradiction, mais plusieurs éléments d'explication peuvent d'ores et déjà être avancés. Le premier concerne le transport relativement limité observé actuellement. Il est en effet contrôlé par les caractéristiques morpho-sédimentaires héritées de 5 à 6 décennies d'urbanisation. Or ces caractéristiques devaient être toutes autres il y a 50 ans, lorsque le régime des crues a commencé à changer. Comme l'a montré Jugie (2018) sur la Mérantaise, le lit du Morbras a dû d'abord s'inciser sans s'élargir, augmentant ainsi la capacité du chenal avant débordement et les contraintes de cisaillement sur le fond du lit. Dans les secteurs du Parc et du Golf, la comparaison de profils en travers des années 1960 avec la situation actuelle a montré que la rivière s'est incisée en moyenne de 39 cm et, par endroit de plus de 1 m. Un peu plus tard, lorsque l'incision a été ralentie par les affleurements de roche en place et/ou la mise en place d'un pavage, le lit s'est élargi. Les mêmes profils montrent que la rivière s'est élargie en moyenne de 75 cm et, par endroit, de plus de 3 m (Ali, 2017 ; de Milleville *et al.*, 2023). Cela implique une puissance spécifique du Morbras avant l'élargissement supérieur de plus de 10 % (en moyenne) par rapport aux puissances actuelles. Enfin, même si l'on ne connaît pas précisément la composition du fond du lit pré-urbanisation, ses caractéristiques actuelles pourraient indiquer qu'un pavage s'est mis en place suite à la disparition des fractions moyennes et fines de la charge. On peut donc imaginer que le lit du Morbras devait compter une part de gravier et de sable plus importante qu'à l'heure actuelle. La mise en mouvement plus fréquente de cette charge plus fine consécutivement aux évolutions hydrologiques puis morphologiques, a dû faciliter le transport de la charge caillouteuse plus grossière. La présence de sable dans la charge de fond est en effet reconnue comme facilitatrice du transport de la charge plus grossière (Dépret *et al.*, 2021).

Le transport actuel relativement limité s'explique en partie par la présence d'éléments grossiers, voire très grossiers, sur le fond du lit dont une part non négligeable est d'origine anthropique. Ces apports externes sont loin d'être négligeables dans le lit du Morbras qui compte en moyenne 10 à 15 % de morceaux de briques, de béton, de verre ou de métal. Il s'agit d'une caractéristique qui semble commune aux environnements urbains

puisque Grable & Harden (2006) ont montré que, dans un cours d'eau du Tennessee, la part de particules d'origine anthropique dans la charge de fond variait entre 2 et 21 %. Russel (2021) a quant à lui montré sur un cours d'eau australien que cet apport était plus étroitement lié au réseau de drainage connecté à la rivière plutôt qu'à l'imperméabilisation du bassin à proprement parler. Comme dans ces deux études, ces apports anthropiques contribuent sur le Morbras à accroître la taille du diamètre médian des bancs et des radiers. Ils ne compensent en revanche pas la faiblesse des apports internes de la plaine alluviale. Ceux-ci sont en effet limité par les contraintes latérales qui empêchent l'érosion et par le caractère très discontinu de stock alluvial caillouteux dans les berges. Plus de 17 % des berges sont ainsi protégées par des enrochements, du génie végétal ou des fascines et à peine 5 % du linéaire de berge libre compte de la charge caillouteuse.

Ces résultats préliminaires continueront à être développés pour mieux comprendre les dynamiques qui se sont succédées pour arriver à la situation actuelle, pour étudier plus précisément les processus qui contrôlent aujourd'hui le transport des sédiments et pour dégager les possibilités de restauration de ces milieux fortement modifiés.

Bibliographie

- Ali L. (2017). *Étude de la dynamique hydromorphologique du Morbras*. Mémoire du Master 2 Dynarisk, Université Paris Est Créteil, 152 p.
- Booth D.B. (1990). Stream-channel incision following drainage-basin urbanization. *Journal of the American Water Resources Association*, 26, 407-417.
- Booth D.B. et Bledsoe B.P. (2009). Streams and Urbanization. In: Baker L. (Ed.), *The water environment of cities*. Boston, MA: Springer US, 93-123.
- Booth D.B., Roy A.H., Smith B. et Capps K.A. (2016) - Global Perspectives on the Urban Stream Syndrome. *Freshwater Science*, 35 (1), 412-420.
- Chin A., O'Dowd A. et Gregory K. (2013). Urbanization and River Channels. In: *Fluvial geomorphology, vol. 9 of treatise on geomorphology*. San Diego, CA, USA : Academic Press, 809–827.
- de Milleville L. (2023). *Trajectoire fonctionnelle (hydromorphologie, biologie) des petites rivières périurbaines d'Île de France : l'exemple du Morbras, de la Mérantaise et de la Biberonne*. Thèse de doctorat de Géographie, Université Paris-Est Créteil, 417p.
- de Milleville L., Gob F., Thommeret N., Lespez L., Tales E., Zahm, A. et Girondin M. (2023). The heterogeneity of the hydromorphological responses of a stream to the urbanization of its basin. *Earth Surface Processes and Landforms*, 48(4), 735–755.
- Dépret T., Virmoux C., Gautier E., Piégay H., Doncheva M., Plaisant B., Ghamgui S., Mesmin E., Saulnier-Copard S., de Milleville L., Cavero J. et Hamadouche P. (2021). Lowland gravel-bed river recovery through former mining reaches, the key role of sand, *Geomorphology*, 373, 107493.
- Fitzpatrick F.A. et Pepler 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 p.
- Grable J.L. et Harden C.P. (2006). Geomorphic Response of an Appalachian Valley and Ridge Stream to Urbanization. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31 (13), 1707-1720.
- Hawley R.J., MacMannis K.R. et Wooten M.S. (2013). Bed coarsening, riffle shortening, and channel enlargement in urbanizing watersheds, Northern Kentucky, USA. *Geomorphology*, 201, 111–126.
- Houbrechts, G., Levecq, Y., Peeters, A., Hallot, E., Campenhout, J.V., Denis, A.C. et Petit, F. (2015). Evaluation of long-termbedload virtual velocity in gravel-bed rivers (Ardenne, Belgium). *Geomorphology*, 251, 6–19.
- Jugie M. (2018). *Trajectoire hydrogéomorphologique d'un petit cours d'eau périurbain francilien*.

- Aménagement, « désaménagement » ?* Thèse de doctorat de Géographie, Université Paris 1 PanthéonSorbonne, 471 p.
- Leopold L.B., Wolman M.G. et Miller J.P. (1964). *Fluvial Processes in Geomorphology*. W.H. Freeman, San Francisco, 522 p.
- Lespez I., Germaine Marie-Anne, Gob F., Tales E., Thommeret N., de Milleville L., Archaimbault V. et Letourneur M. (2025). A new tool to characterise the socio-environmental dimensions of urban rivers: Urban river socio-environmental index. *Landscape and Urban Planning*, 261, 105388.
- Medupin C. (2020). Spatial and temporal variation of benthic macroinvertebrate communities along an urban river in greater Manchester, UK. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 84, 20p.
- Malavoi J.-R. et Bravard J.-P. (2010). *Eléments d'hydromorphologie fluviale*. Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA), Ministère en charge de l'Environnement, 228 p.
- Petit F., Gob F., Houbrechts G. et Assani A.A. (2005). Critical unit stream power in gravel-bed rivers. *Geomorphology*, 69 (1-4), p. 92-101.
- Pinto Martins D. (2008). *Aménagements hydroélectriques et impacts sur la dynamique des flux d'eau et de sédiments. Le cas du haut Parana, Brésil* (Thèse), Doctorat de Géographie, Université Lyon 2, 304 p.
- Pizzuto J., Hession W. et McBride M. (2000). Comparing gravel-bed Rivers in paired urban and rural catchments of southeastern Pennsylvania. *Geology*, 28(1), 79 p.
- Recking A. (2010). A comparison between flume and field bed load transport data and consequences for surface-based bed load transport prediction. *Water Resources Research*, 46 p.
- Recking A. (2013). Simple method for calculating reach-averaged bed-load transport. *Journal of Hydraulic engineering*, 139, 70-75.
- Rollet A.J., Reulier R., Fantino G. et Glais A. (2024). Investigating the influence of weirs and small dams on coarse sediment connectivity in low-energy rivers: A case study of the Orne and Vire rivers in Normandy, France, *Geomorphology*, 465, 109356.
- Russell K. (2021). Potential Sediment Supply Fluxes Associated with Greenfield Residential Construction. *Anthropocene*, 35, 100300.
- Tamisier V., Gob F., Dépret T., Gautier E., Virmoux C. et Gilet L. (2023). *Etude de la Continuité Sédimentaire autour des Seuils en rivière grâce aux scories de la métallurgie ancienne et au suivi du transport actuel (haute Marne et Normandie)*. Rapport AESN, 68p.
- Vietz, G., Rutherford I., Fletcher T. et Walsh C.J. (2016). Thinking outside the channel: Challenges and opportunities for protection and restoration of stream morphology in urbanizing catchments. *Landscape and Urban Planning*, 145, 34–44.
- Wolman M.G. (1954). A method of sampling coarse river-bed material. *Transactions, American Geophysical Union*, 35, 951–956.