

Dynamique hydro-morphologique historique de la Seine dans le secteur de la Bassée aval

David Eschbach^{1,2*}, Laurence Lestel¹

¹ Sorbonne Université, UPMC, CNRS, EPHE, UMR 7619 Metis, 4 place Jussieu, 75005 Paris, France.

² Université de Strasbourg, CNRS, ENGEES, UMR 7362 LIVE, 3 rue de l'Argonne, 67000 Strasbourg, France.

* eschbach.pro@gmail.com

Résumé

Reconstruire l'histoire pluriséculaire de l'hydrosystème est une démarche essentielle pour améliorer la compréhension de son fonctionnement actuel et appréhender les dynamiques d'évolutions futures. L'étude géohistorique menée dans ce travail a permis de montrer qu'au-delà du suivi des évolutions planimétriques couramment utilisé pour analyser les changements de la forme fluviale, l'analyse des cartes anciennes permet également de caractériser le fonctionnement hydrologique d'un hydrosystème à différentes dates. Dans le cas de la Bassée, l'analyse s'est concentrée sur un ensemble de documents de 1839 qui se compose d'un levé planimétrique et d'un profil en long dont la précision et la finesse des éléments cartographiques sont inégales pour cette période.

Deux approches ont été combinées pour analyser le fonctionnement de la Bassée depuis le début du 19^{ème} siècle, c'est-à-dire avant les grands aménagements qui contrôlent aujourd'hui l'ensemble de la dynamique hydro-morphologique de l'hydrosystème : (1) la confrontation entre les cartes anciennes et le MNT actuel a permis d'estimer les imprécisions cartographiques et de préciser les évolutions planimétriques observées, (2) la détermination des largeurs à pleins bords associée à des prospections de terrain (levés de profil en travers par carottages terrestres et subaquatiques) ont permis d'estimer les paléo-débits de pleins bords. Enfin, l'ensemble des modifications observées a été mis en relation avec la chronologie des aménagements et la dynamique hydro-morphologique actuelle de ce secteur. Ce travail a permis de mettre en évidence l'importance des ajustements hydro-morphologiques induits par les forçages anthropiques passés et les temps de réponse associés. Les résultats de cette étude sont une base essentielle pour la construction d'indicateurs de fonctionnement (tolérance de l'hydrosystème aux changements). Ces indicateurs semblent indispensables pour comprendre le fonctionnement de ce milieu complexe et tenter de guider les choix opérationnels futurs des acteurs du territoire.

Points clefs

- ✓ *Reconstruire le fonctionnement hydro-morphologique passé d'un hydrosystème anthropisé à partir des archives documentaires et sédimentaires*
- ✓ *Potentiel d'exploitation et fiabilité des cartes anciennes*
- ✓ *Analyse comparative des méthodes de détermination des paléo-débits de pleins bords*

Introduction

Depuis plusieurs siècles, la Seine fait l'objet de nombreuses études cartographiques, techniques et scientifiques. Voie de communication majeure, le fleuve joue un rôle essentiel dans le développement socio-économique de Paris (Backouche, 2000). Dès le 17^{ième} siècle, l'amélioration de la navigation sur la Seine devient donc une question centrale. Le corps des Ponts et Chaussées, entièrement dévolu au service de l'État, est créé au 18^{ième} siècle. Les ingénieurs des Ponts et Chaussées développent un savoir-faire technique qui permet d'améliorer considérablement les méthodes de cartographie. La carte devient un outil de compréhension du territoire qui permet d'asseoir une autorité ou de développer des projets à l'échelle globale. Si les techniques et les méthodes continuent aujourd'hui de se développer (amélioration des précisions, diminution des temps d'acquisition...), les fonds documentaires anciens, mêmes s'ils présentent des imprécisions, sont des héritages incontournables, véritables supports d'analyse pour améliorer la compréhension du territoire actuel au regard des évolutions passées.

La Bassée, située en amont de Paris, est un territoire investi depuis plusieurs décennies par les chercheurs du PIREN-Seine. On retiendra, entre autres, les importants travaux menés par Bendjoudi *et al.* (2000) dans le cadre du PNRZH qui ont permis « *d'améliorer la compréhension de l'hétérogénéité et du fonctionnement des zones humides, [...] des milieux riverains et de leur évolution sous l'influence des actions anthropiques* ». Cependant, de nombreuses questions restent encore à explorer :

- Quelles informations peut-on extraire des archives documentaires et sédimentaires pour améliorer la compréhension du fonctionnement hydromorphologique passé ?
- Quel est le degré de fiabilité de ces informations ?
- Quelle est la réaction du milieu face aux différents forçages et quels sont les temps de réponse associés ?

Puisque la Bassée est au cœur d'importantes décisions de gestion (diminution du risque inondation, préservation du patrimoine naturel, développement socio-économique...), les recherches actuelles se structurent autour d'un verrou majeur : peut-on évaluer les conséquences des forçages passés pour mieux anticiper les évolutions futures au regard des projets d'action envisagés ?

Au travers de l'analyse géohistorique mené dans ce travail, nous explorons le potentiel des cartes et des plans anciens pour reconstruire la trajectoire pluriséculaire de la Seine dans le secteur de la Bassée. La fiabilité des archives documentaires est interrogée. Le potentiel d'exploitation d'un fond documentaire de 1839 est exploré et une synthèse des évolutions spatio-temporelles de la Seine dans le secteur de la Bassée, en lien avec la chronologie des aménagements, est proposée.

1. La Bassée : contexte et recherches géohistoriques en cours

1.1. Contexte géographique

La Bassée est la plus grande plaine inondable du bassin de la Seine Supérieure et la plus importante zone humide d'Ile-de-France. Classée en Zone Naturelle d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF), la Bassée correspond à un vaste secteur de la vallée de la Seine localisé en amont de Paris entre la confluence Seine-Aube (Romilly-sur-Seine) et la confluence Seine-Yonne (Montereau-Fault-Yonne). Ce secteur présente des enjeux multiples d'un point de vue environnemental (Réserve Naturelle, zone Natura 2000...), social (absorption d'une partie de la croissance démographique francilienne) et économique (navigation, activités agricole et industrielle, production nucléaire...) (Deleplancque, 2016). La Bassée joue également un rôle important dans la gestion des inondations et l'écrêtement des pics de crue (Fustec *et al.*, 2001).

Le secteur étudié correspond au tronçon aval de la Bassée, localisé entre Nogent-sur-Seine et Montereau-Fault-Yonne (Figure 1). Il se caractérise par une importante diversité d'aménagements qui ont permis d'améliorer les conditions de navigation durant plusieurs décennies (Lescure *et al.*, 2011).

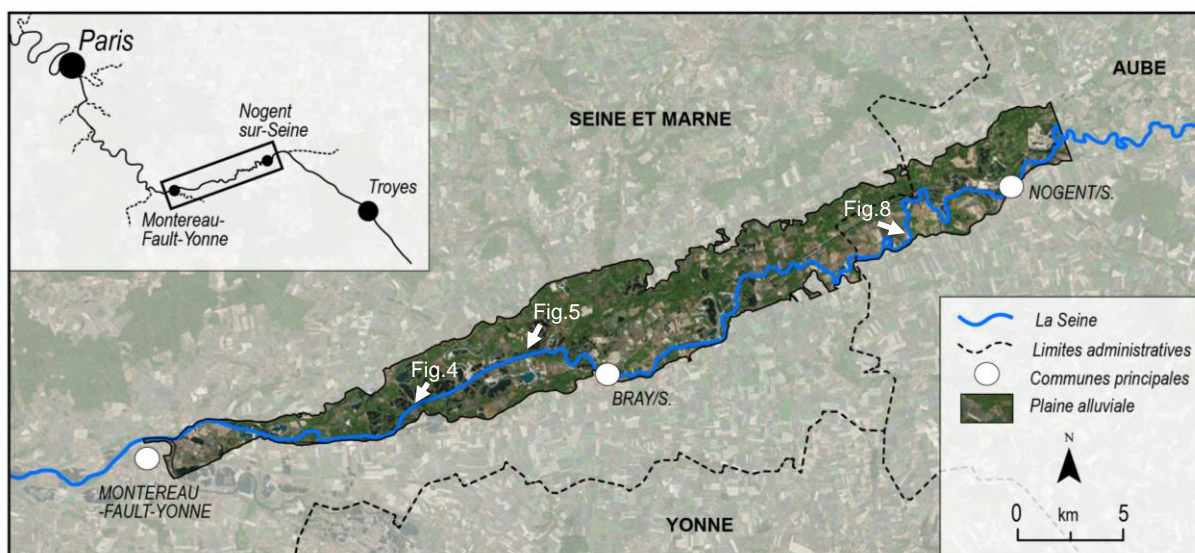


Figure 1. Localisation générale de la zone d'étude entre Troyes et Paris (encadré) et délimitation de la Bassée aval correspondant à la plaine alluviale du tronçon de la Seine situé entre Nogent-sur-Seine (Aube) et Montereau-Fault-Yonne (Seine et Marne).

1.2. Positionnement du travail et objectifs de recherche

Ce rapport synthétise les premiers résultats de l'analyse géohistorique menée depuis janvier 2018 sur la base des recensements documentaires d'[ArchiSeine](#). L'étude s'inscrit dans la poursuite de travaux initiés en 2016 (Phase VII) et dont l'objectif principal visait à identifier et à quantifier les principaux changements hydromorphologiques induits par les aménagements (Steinmann *et al.*, 2016). Ce premier travail a également permis de mettre en exergue deux perspectives de recherche qui visent (1) à évaluer la pertinence des sources anciennes et (2) à reconstruire la dynamique hydrologique passée pour affiner la compréhension du fonctionnement actuel de la Bassée. Dans le présent travail, ces perspectives ont été traduites en objectifs de recherche. Plus précisément, il s'agit (1) d'évaluer le degré de fiabilité des cartes anciennes pour optimiser la quantification des évolutions géomorphologiques passées de la Bassée et (2) d'élaborer une démarche permettant de reconstruire les paléo-débits de pleins bords. L'analyse s'est appuyée sur un ensemble de documents datant de 1839 (carte et profil en long dont la précision et la finesse sont inégalées pour cette période) et sur des prospections de terrain.

Plus largement, l'objectif général de ce travail est de reconstruire la trajectoire temporelle pluriséculaire de l'hydrosystème. Si la principale difficulté réside dans la taille du territoire considéré, rendant l'interprétation des évolutions complexe au regard de l'importance et de la diversité des changements anthropiques (endiguements, rescindements de méandres, recalibrage ...), construire un modèle de réponse de l'hydrosystème aux différents types de forçages est néanmoins envisageable en mettant en parallèle les évolutions hydromorphologiques diachroniques (changements planimétriques et verticaux) avec la chronologie des aménagements.

2. Le fond documentaire de 1839 : un support historique de référence pour affiner la compréhension du fonctionnement passé de l'hydrosystème

Plusieurs documents cartographiques anciens ont été récoltés sur la Bassée lors de recensements aux Archives Nationales, Départementales et à la Bibliothèque Nationale de France (BNF). Ils ont fait l'objet d'une analyse planimétrique diachronique menée en 2016 (Steinmann *et al.*, 2016). Un fond documentaire d'une extrême finesse a été identifié lors de ces recensements. Il est daté de 1839 et se compose d'une carte et d'un profil en long. L'intérêt d'étudier ce document est double. Il s'agit premièrement du seul fond documentaire ancien présentant des informations planimétriques et verticales complètes couvrant l'intégralité du linéaire de la Seine dans la Bassée. Deuxièmement, ces documents offrent un aperçu de l'hydrosystème à l'état [quasi] naturel, c'est-à-dire avant les grandes phases d'aménagement.

2.1. Potentiel d'exploitation et fiabilité des données historiques

2.1.1. Exploitation et validation des données planimétrique

Contexte et objectif - Le fond cartographique de 1839 se compose de sept feuilles. Il se trouve sur le site Richelieu de la BNF, mais au moment où nous avons décidé de l'exploiter (mars 2016), des travaux étaient en cours de démarrage, rendant le document inaccessible pour une durée indéterminée. Compte tenu de l'importance du document pour le travail en cours, il avait été décidé de photographier l'ensemble des feuilles en plusieurs clichés afin d'éviter les déformations et conserver la meilleure résolution. Un long travail de redressement, de mosaïquage et de géoréférencement de l'ensemble des clichés avait été réalisé pour pouvoir reconstruire le support cartographique, essentiel à l'analyse diachronique. En 2018, nous avons pu obtenir ce même fond au format numérique. Un nouveau travail de cartographie est lancé sur le fond numérisé, ce qui offre aujourd'hui la possibilité de comparer deux supports identiques issus de modes d'acquisition différents.

Au regard de l'importance du fond de 1839 pour reconstruire la dynamique d'évolution du territoire de la Bassée, il est essentiel que le traitement cartographique soit le plus précis possible, d'autant plus qu'une erreur de géoréférencement sur un territoire aussi vaste peut induire des déformations locales importantes et biaiser considérablement les résultats. Dans notre cas, il s'agit de déterminer quelle est la part des changements planimétriques observés correspondant aux imprécisions des traitements cartographiques de celle correspondant aux évolutions morphologiques (migration latérale des méandres). Pour cela, les objectifs sont : (1) affiner le traitement du fond cartographique, (2) évaluer le degré d'incertitude liée au mode d'acquisition ainsi qu'aux méthodes de traitement et (3) valider, à l'aide du MNT, l'information cartographique historique.

Méthode – Pour affiner le traitement du fond cartographique et évaluer le degré d'incertitude lié au mode d'acquisition, l'analyse consiste à comparer les talwegs cartographiés, le premier ayant été digitalisé sur le support cartographique issu de l'acquisition photographique et le second provenant d'une digitalisation réalisée sur le support numérisé. L'échelle de digitalisation est comprise entre 1 : 2 500 et 1 : 4 000. Le travail de cartographie s'est appuyé sur une typologie permettant de discriminer les différents types d'unité surfacique et linéaire qui composent la carte. Des points équidistants de 10 m sont créés sur l'un des deux talwegs (talweg 1) puis projetés sur le second (talweg 2) perpendiculairement au talweg 1, à l'aide de l'outil *d'analyse des proximités* d'ArcGis (ESRI v.10.3). Cette méthode permet de déterminer les distances entre les deux talwegs. La mesure de ces distances de projection permet d'obtenir une estimation des imprécisions entre les deux talwegs sur l'ensemble du linéaire. La dernière étape consiste à valider l'information cartographique historique à l'aide du MNT (données fournies par Seine Grand Lac et utilisée dans la thèse de Deleplancque, 2016).

Résultats & perspectives - Les imprécisions évaluées sur la base du calcul des distances entre les deux talwegs présentent une variabilité longitudinale importante (Figure 2). L'imprécision maximale atteint 188 m au niveau du kilomètre 9. Cette valeur représente un extrême affectant un seul point, ce qui a tendance à augmenter légèrement la valeur moyenne des imprécisions (moyenne = 27.5 m pour une médiane égale à 19,3m). Les imprécisions moyennes sont dans notre cas plus élevées que la marge d'erreur acceptable, déterminée en fonction de l'emprise de la carte (Conolly et Lake, 2006) et dont l'estimation varie autour de 20 ± 2 m. Cependant, les imprécisions moyennes semblent raisonnables au regard de l'importance de la zone d'étude considérée et de l'âge du document traité. Ces résultats montrent que seules les évolutions observées supérieures à 27.5 m peuvent être interpréter. Sur le plan méthodologique, ces résultats montrent l'importance de procéder au traitement cartographique sur le support qui nécessite le moins de traitement préalable. Dans le cadre d'une analyse diachronique (comparaison de l'évolution planimétrique entre deux dates), il semble essentiel de croiser ce résultat (variabilité longitudinale des imprécisions) avec les évolutions observées afin de déterminer précisément si les évolutions correspondent à une dynamique morphologique (migration latérale du chenal entre deux dates) ou non.

Si l'imprécision générée par le mode d'acquisition du support cartographique est relativement simple à quantifier, l'identification de l'origine de l'imprécision reste une démarche complexe. Elle nécessite de tenir compte à la fois du contexte historique du levé et des contraintes matérielles qui ont pu causer les imprécisions. Cela implique une connaissance précise des imprécisions liées à l'acquisition de terrain. Certaines archives documentaires peuvent nous renseigner sur ces imprécisions mais les sources restent difficiles à identifier. Dans le cas de la Bassée, l'ouvrage de Lallemand et Prévot (1927), récemment repéré, s'intéresse à la question des erreurs et des imprécisions liées aux campagnes de levés. L'exploitation de ce document permettrait d'affiner notre approche. Une autre source d'erreur est liée aux points d'ancrages utilisés lors du géoréférencement des documents anciens. Ces erreurs (RMSE) sont facilement quantifiables car mesurées directement par le logiciel de cartographie. La principale contrainte réside dans le fait que l'erreur est une erreur moyenne lissée sur l'ensemble du territoire étudié. Il est alors difficile de connaître précisément l'erreur qui affecte une portion définie de l'objet d'étude (Grosso, 2011).

Confronter les résultats cartographiques avec la topographie actuelle est donc indispensable pour évaluer le degré de fiabilité des cartes anciennes. En ce sens, le MNT fournit une base de travail capitale pour valider l'information planimétrique historique, puisque les formes et les reliefs issus des évolutions morphologiques passées sont enregistrés dans la topographie actuelle. Cette approche qualitative permet d'évaluer plus précisément la qualité du tracé de 1839. Dans certains cas le tracé du chenal actif de 1839 se superpose aux formes actuelles (Figure 3 - gauche) et/ou aux paléo-formes facilement identifiables sur le MNT (Figure 3 - droite). Par exemple, sur la figure 3, l'île présente dans le chenal actuel correspond à une île déjà présente en

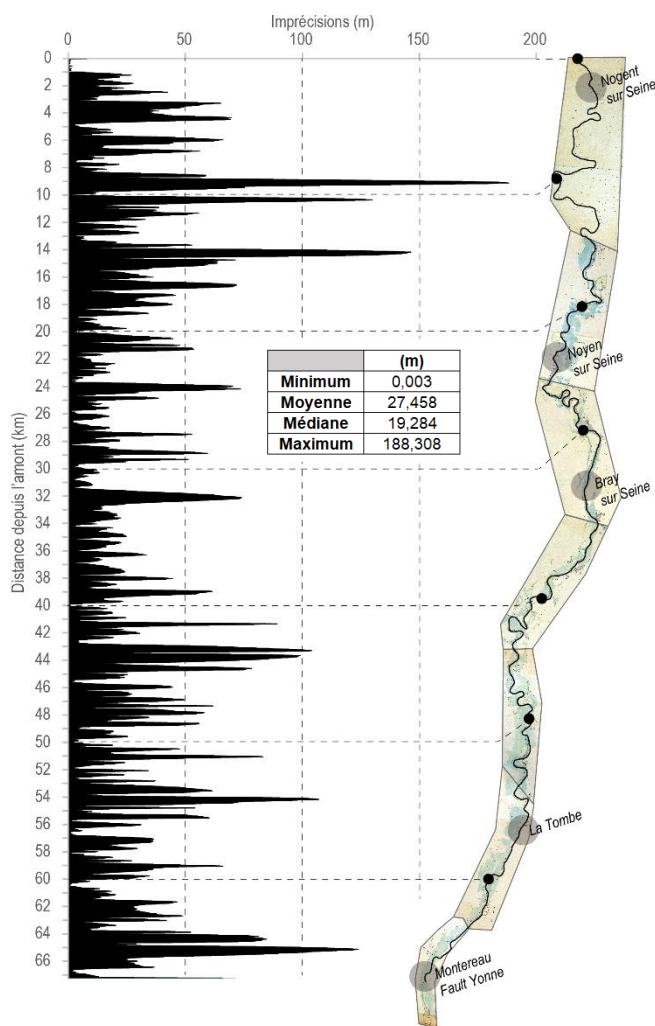


Figure 2. Imprécisions planimétriques liées au mode d'acquisition du support cartographique (photos et scan). Les imprécisions correspondent à la distance entre les talwegs de 1839 cartographiés sur deux supports différents : 1.- mosaïque d'images photographiques et 2.- fond cartographique scanné, et avec deux transformations différentes.

1839 et le chenal secondaire situé au droit de l'île se superpose également à la forme actuelle. Ces observations permettent de valider l'information cartographique de 1839. Tenant compte de ces éléments, il est possible d'affirmer que le décalage de la rive gauche correspond à une migration naturelle du chenal survenue entre 1839 et le début des aménagements.

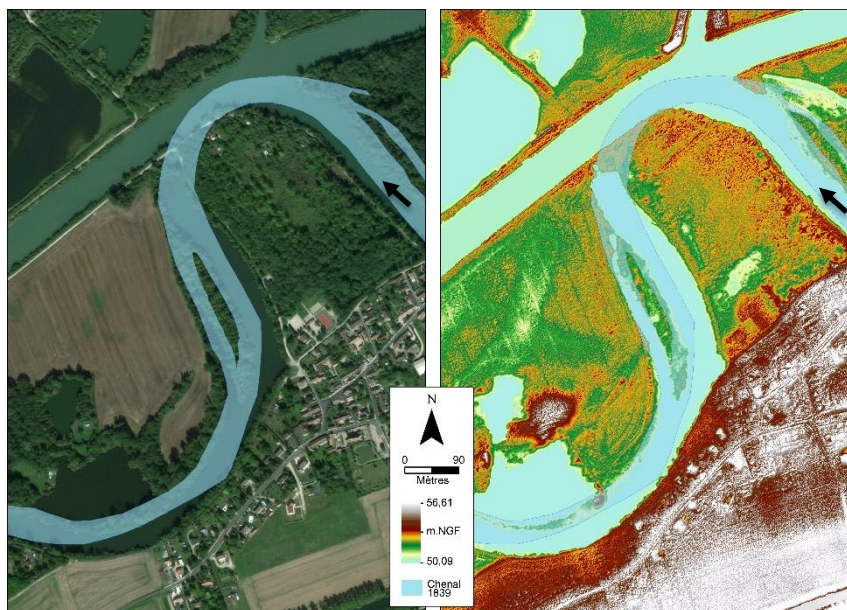


Figure 3. Secteur de Gravon (Fig. 1). Confrontation du tracé de 1839 avec l'orthophoto (gauche) et le MNT (droite) actuels.

À l'inverse, la figure 4 présente une situation où la superposition invalide l'information portée par la carte de 1839. Dans la partie aval, un témoin topographique semble correspondre au tracé de 1839, mais présente un décalage de 50 m environ. Mis à part ce secteur, aucune autre paléo-forme ne semble correspondre à l'extension du chenal de 1839 et prouve que la carte historique présente un décalage décimétrique avec la situation actuelle et cela même en tenant compte des erreurs de géoréférencement. Dans ce cas, l'interprétation des évolutions planimétriques à l'aide du support historique semble impossible.

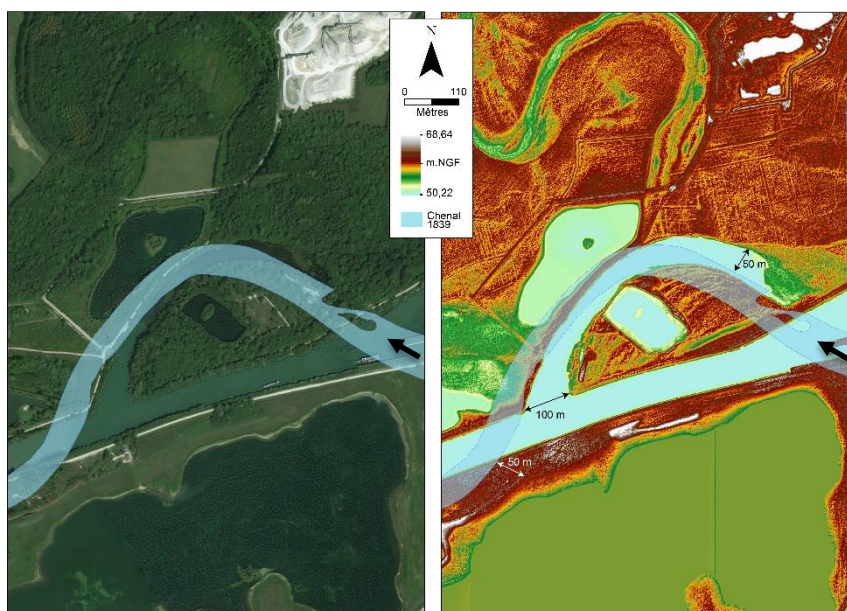


Figure 4. Secteur aval de la Grande Bosse (Fig. 1). Confrontation du tracé de 1839 avec l'orthophoto (gauche) et le MNT (droite) actuels.

L'analyse comparative des données historiques et des données topographiques actuelles (MNT) sera poursuivie, dans la prochaine phase du PIREN-Seine. Il semble nécessaire de trouver une méthode permettant d'identifier les secteurs lacunaires et de quantifier précisément les erreurs. L'analyse, réalisée jusqu'à maintenant sur le fond de cartes de 1839, pourra être étendue à l'ensemble des cartes utilisées pour l'analyse diachronique menée en 2016. Cette méthode permettra d'améliorer l'interprétation des évolutions

observées pour l'ensemble de la période considérée (1839-2010). Une première approche permettant d'affiner les comparaisons inter-dates est d'ores et déjà présentée dans la dernière section de ce rapport (voir section 3.1).

2.1.2. Exploitation et validation des données altimétriques

Contexte et objectif – Aux cartes anciennes de 1839 est associé un profil en long d'une grande précision. Le document, composé de 10 feuilles, recense l'ensemble des altitudes du fond de la Seine, des berges et des bornes kilométriques qui ponctuent le tracé entre Nogent et Montereau. Le profil en long offre la possibilité de compléter les données planimétriques (XY) avec des données verticales (Z). Cette base d'informations en trois dimensions est essentielle pour évaluer l'importance des ajustements induits par les aménagements de ce tronçon de la Seine. L'objectif est de rassembler et de spatialiser toutes les informations (planimétrique et verticale) du fond documentaire de 1839 sous SIG. Ces informations permettront dans un premier temps de reconstruire des profils en travers élémentaires historiques (3 points) qui serviront de données de validation et qui pourront être complétés lors des prospections de terrain (voir section 2.2.3).

Méthode - Les altitudes du profil en long, reportées sur une coupe longitudinale par les ingénieurs des Ponts et Chaussées, ont fait l'objet d'une spatialisation sous SIG à l'aide de l'outil de *référencement linéaire* d'ArcGis. Plus précisément, cela consiste à convertir une ligne de référence (ici le talweg) en un itinéraire sur lequel on définit un point de départ (extrémité amont du linéaire) et un point d'arrivée (extrémité aval du linéaire). À l'aide du tableau de retranscription, dans lequel ont été reportées les altitudes ainsi que les distances qui séparent chaque points (Steinmann *et al.*, 2016), il est possible d'importer la référence du point à spatialiser, son altitude et la distance par rapport au point de départ en utilisant la fonction « *générer une couche d'événements d'itinéraire* » d'ArcGis. Cette manipulation permet de répartir l'ensemble des points sur un même axe de référence (le talweg) qui correspond à l'axe longitudinal du profil en long (Figure 5-a). Les points correspondants au fond du chenal sont répartis sur le talweg tandis que les points correspondants à chaque berge sont projetés sur ces dernières perpendiculaire au talweg à l'aide de l'outil *d'analyse des proximités* (Figure 5-b). Finalement, les coordonnées XY de chaque point sont déterminées et une jointure est créée pour construire une table attributaire dans laquelle figure l'ensemble des informations XYZ associées à chaque point.

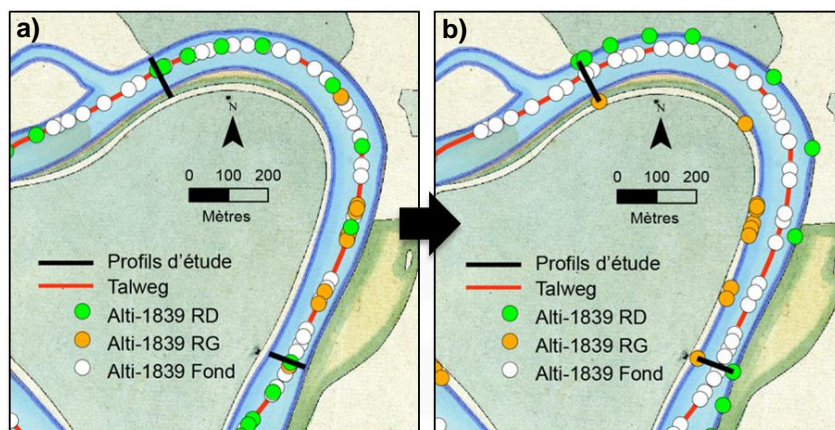


Figure 5. a) Répartition des altitudes le long d'un axe de référence (ici le talweg de 1839). b) Projection des altitudes de chaque rive (orange = rive gauche ; vert = rive droite) sur les berges correspondantes.

Résultats et perspectives – Ce travail préliminaire a permis de rassembler dans un même espace de traitement l'ensemble des informations planimétrique et verticale du fond documentaire de 1839. À chaque point est associé des coordonnées géographiques et la valeur d'altitude historique. Ce support cartographique est une base de travail indispensable. Il permet de localiser précisément les secteurs à prospector pour quantifier les changements morphologiques survenus entre 1839 et aujourd'hui. Toutefois, une validation de la répartition des altitudes de 1839 semble nécessaire. Pour cela, dans les secteurs correspondants au tracé de 1839, une confrontation des altitudes actuelles des berges avec celles de 1839 pourra être envisagée afin de valider la répartition des altitudes de 1839. L'analyse des évolutions verticales pourra être réalisée dans les secteurs correspondants à une déconnexion postérieure à 1839. Enfin, une comparaison entre les données

altimétriques correspondantes au fond du chenal de 1839 et les données de terrain (données actuelles) pourra être envisagée qu'après la réalisation des prospections subaquatiques (délimitation du fond historique et des épaisseurs de colmatage dans les paléo-chenaux ; détails méthodologique ; voir section 2.2.3). Cette dernière étape vise également à déterminer la véracité de l'information historique.

2.2. Dynamique hydrologique historique

Contexte et Objectifs – L'analyse des cartes anciennes permet d'extraire différents paramètres morphométriques qui caractérisent le cours d'eau : longueur, pente, sinuosité, largeurs à pleins bords... De nombreux auteurs se sont appuyés sur ces paramètres pour estimer les vitesses et les débits des cours d'eau (Carlston, 1965 ; Chow, 1959 ; Williams, 1978). Bjerklie *et al.* (2003, 2005, 2007) s'est particulièrement intéressé à ces questions en développant une relation simple permettant d'approximer le débit à pleins bords d'un cours d'eau méandrique en fonction des largeurs. Ces dernières étant faciles à déterminer sur la carte de 1839, nous avons cherché à estimer les paléo-débits de pleins bords afin de reconstruire la dynamique hydrologique de la Seine du début du 19^{ème} siècle. Sachant qu'il ne s'agit que d'une approximation, nous avons cherché à (1) estimer le degré d'incertitude de l'équation sur un cas d'étude indonésien déjà bien documenté (Bengawan Solo River) et (2) affiner l'estimation sur la base de prospections terrestre et subaquatique. Nous présentons dans cette sous-partie les résultats issus des estimations basées sur les largeurs (équation de Bjerklie), les résultats préliminaires d'une estimation réalisée sur un profil en travers levé dans le paléo-méandre de 1839 (équation de Chézy-Manning), ainsi que les perspectives envisagées dans le cadre des sondages subaquatiques.

2.2.1. Estimation des débits à pleins bords sur les largeurs

Méthode - Les estimations sont réalisées sur la base des profils en travers sélectionnés lors de l'analyse cartographique (voir section 2.1.2). Ces profils en travers présentent deux avantages : (1) ils correspondent aux secteurs où trois altitudes sont connues (deux sommets de berges et le fond), et (2) la largeur des profils en travers correspond aux largeurs à pleins bords définies par interprétation cartographique de la carte de 1839. L'estimation des paléo-débits à pleins bords a été réalisée sur la base de la relation suivante, définie par Bjerklie *et al.* (2007) :

$$Q = 0.24W^{1.64}$$

où W correspond à la largeur à pleins bords du cours d'eau.

Cette première approche permet d'estimer la variabilité longitudinale du débit à pleins bords en 1839. Il s'agit donc d'une approche uniquement spatiale, la variabilité temporelle ne pouvant être prise en compte ici car la carte représente un état du milieu à un moment donné. Pour combler cette lacune et analyser la pertinence du résultat, une analyse temporelle a été réalisée sur une rivière indonésienne. Le choix s'est porté sur ce cours d'eau car (1) il fait actuellement l'objet de travaux de télédétection permettant d'obtenir des mesures de largeurs à différent pas de temps (thèse de Filsa Bioresita, *in prep.*), et (2) la présence de barrage est faible le long du linéaire. Or ces derniers induisent des remous hydrauliques qui rendent impossible l'utilisation de la relation de Bjerklie sur la Seine actuelle où sont présents de nombreux barrages. Une comparaison entre les débits estimés et les débits mesurés a été réalisée sur une année complète (Bjerklie *et al.*, 2018).

Résultats – Les estimations réalisées à l'aide de l'équation de Bjerklie *et al.* (2007) sur les largeurs de 1839 présentent des variations importantes, d'un facteur 10 (min = 122 m³.s⁻¹ ; max = 1015 m³.s⁻¹ ; *Figure 6*). Si les valeurs extrêmes ne présentent ici qu'un intérêt limité car fortement dépendantes des conditions locales, la valeur moyenne permet quant à elle d'obtenir un premier ordre de grandeur du paléo-débit de pleins bords. Cette valeur est de 298 m³.s⁻¹, ce qui semble cohérent au regard des débits maximums actuels mesurés lors des dernières crues (*Tableau 1*).

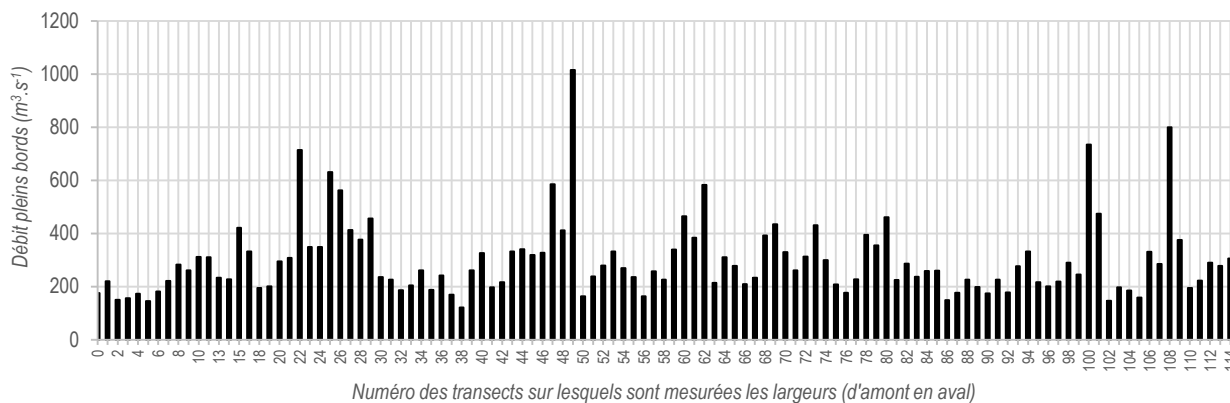


Figure 6. Variation spatiale des paléo-débits de pleins bords (1839) estimés sur les largeurs.

Tableau 1. Débits maximums enregistrés dans le secteur de la Bassée lors des dernières crues.

Date	Lieu	Débit max (m ³ .s ⁻¹)	Référence
23.04.2001	Bazoches-les-Bray	350	Vigicrue
14.05.2013	Bazoches-les-Bray	330	Vigicrue
17.11.2013	Bazoches-les-Bray	295	Vigicrue
14.06.2016	Pont-sur-Seine	274	Seine Grands Lacs

L'estimation des débits sur Bangawan Solo River a fait l'objet d'une confrontation avec des données de débits réels, moyennées au mois. On observe dans ce cas une surestimation systématique des données estimées à l'aide de l'équation par rapport aux données réelles (Figure 7. Variation temporelle des débits mesurés et des débits estimées à l'aide de l'équation de Bjerklie et al. (2007), sur Bengawan Solo River.). Cette rapide comparaison nous indique que l'estimation des paléo-débits de pleins bords réalisés sur les largeurs de la carte de 1839 peut également présenter une surestimation. Au regard de ces résultats, il semble nécessaire de réaliser des investigations supplémentaires pour reconstruire de manière plus précise la dynamique hydrologique historique de la Seine dans le secteur de la Bassée.

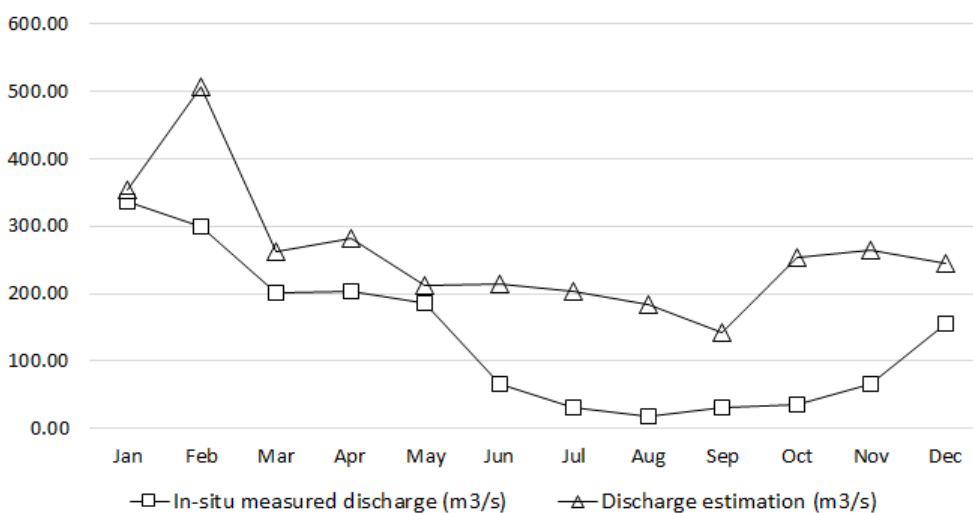


Figure 7. Variation temporelle des débits mesurés et des débits estimées à l'aide de l'équation de Bjerklie et al. (2007), sur Bengawan Solo River.

2.2.2. Estimation des paléo-débits de pleins bords sur la base de l'équation de Chézy-Manning

Méthode - En complément des premières estimations de débits, des prospections de terrain ont été réalisées afin de reconstruire des profils en travers datant de la période de déconnexion. Pour cela, l'analyse cartographique a permis de localiser les secteurs hors d'eau (favorable à une prospection pédestre) correspondant aux tronçons déconnectés du chenal de 1839. Le postulat initial est le suivant : la paléo-forme de la Seine au moment de la déconnexion est conservée sous les sédiments fins (sédiments correspondants au comblement post-déconnexion). À l'aide d'un carottier manuel (tarière), nous avons pu déterminer l'épaisseur des sédiments fins et donc la profondeur du toit de gravier qui matérialise le fond du paléo-chenal (au moment où le chenal était encore actif). Les épaisseurs de colmatage sont mesurées et les points topographiques hauts, qui permettent de déterminer le niveau de pleins-bords, sont levés. La section obtenue présente l'avantage d'offrir un panel de paramètres essentiels à l'estimation du paléo-débit. L'équation de Chézy-Manning (Vayssière *et al.*, 2016) est utilisée pour cette estimation :

$$Q = K.S.R^{2/3}.i^{1/2}$$

où K est le coefficient de rugosité (déterminé par un abaque), S la section mouillée (m^2), R le rayon hydraulique (m) et i la pente (m/m). Le coefficient de rugosité est paramétré à 30, ce qui correspond à une « rivière de plaine, large, caractérisée par une végétation peu dense » (Degoutte, 2012).

Résultats - La prospection de terrain a permis d'identifier un seul secteur hors d'eau pouvant correspondre au paléo-chenal de 1839. Le secteur se situe en rive droite de la Seine actuelle, dans le secteur de la Ferme d'Isle localisée à proximité de La Motte-Tilly (*Figure 8-a*). Dans ce secteur, l'extension du chenal de 1839 présente un léger décalage par rapport au témoin topographique identifié sur le MNT (inférieur à 1 m). Le secteur a toutefois pu être retenu pour la prospection car le décalage est compris dans la marge d'erreur déterminée par lors de l'analyse cartographique. Cinq carottages ont été réalisés le long d'un transect pour estimer l'épaisseur du comblement et identifier le toit de gravier correspond au fond du chenal de 1839. L'épaisseur du comblement varie entre 1.72 et 2.31 m (*Figure 8-b*). Il se caractérise par une matrice sédimentaire fine dominée par des sables et la présence de limons pour la couche supérieure. Le toit de gravier est quant à lui déterminé par la présence de particules plus grossières (graviers hétérométriques de petites tailles).

Le profil en travers obtenu nous a permis d'identifier les points hauts pouvant correspondre aux sommets de berges de 1839. Si la rive droite du paléo-chenal est caractérisée par un talus d'environ 3 m de hauteur, la rive gauche est située 1 m plus bas (soit 60 m.NGF). La rive gauche est donc le point qui contrôle le niveau de pleins de bords du paléo-chenal. Le paléo-débit de pleins bords déterminé sur la base de ce profil en travers avec l'équation de Chézy-Manning est de $457 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, soit $159 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ plus élevés que l'estimation préliminaire réalisée à l'aide des largeurs. Étant donné que l'analyse de la variation temporelle réalisée sur Bengawan Solo River présente une surestimation systématique (également soulignée par Bjerklie *et al.* (2007)), le débit estimé sur le profil en travers par l'équation de Chézy-Manning semble donc erroné car il est supérieur aux ordres de grandeurs définis précédemment. En outre, une comparaison entre les profondeurs mesurées sur le terrain et les profondeurs du talweg de 1839 indiquées sur le profil en long montrent un décalage important, pouvant atteindre localement 2 m. Cette observation remet également en question la pertinence de ce profil en travers pour l'estimation des paléo-débits de pleins bords. À ce stade, il semble donc essentiel de poursuivre les prospections pour valider nos hypothèses. Ces résultats préliminaires doivent être renforcés et validés par des profils en travers subaquatiques, levés dans les paléo-méandres de la Bassée. Ce type de prospection offre la possibilité de déterminer la géométrie de la Seine à différentes périodes correspondantes au moment de la déconnexion des paléo-méandres.

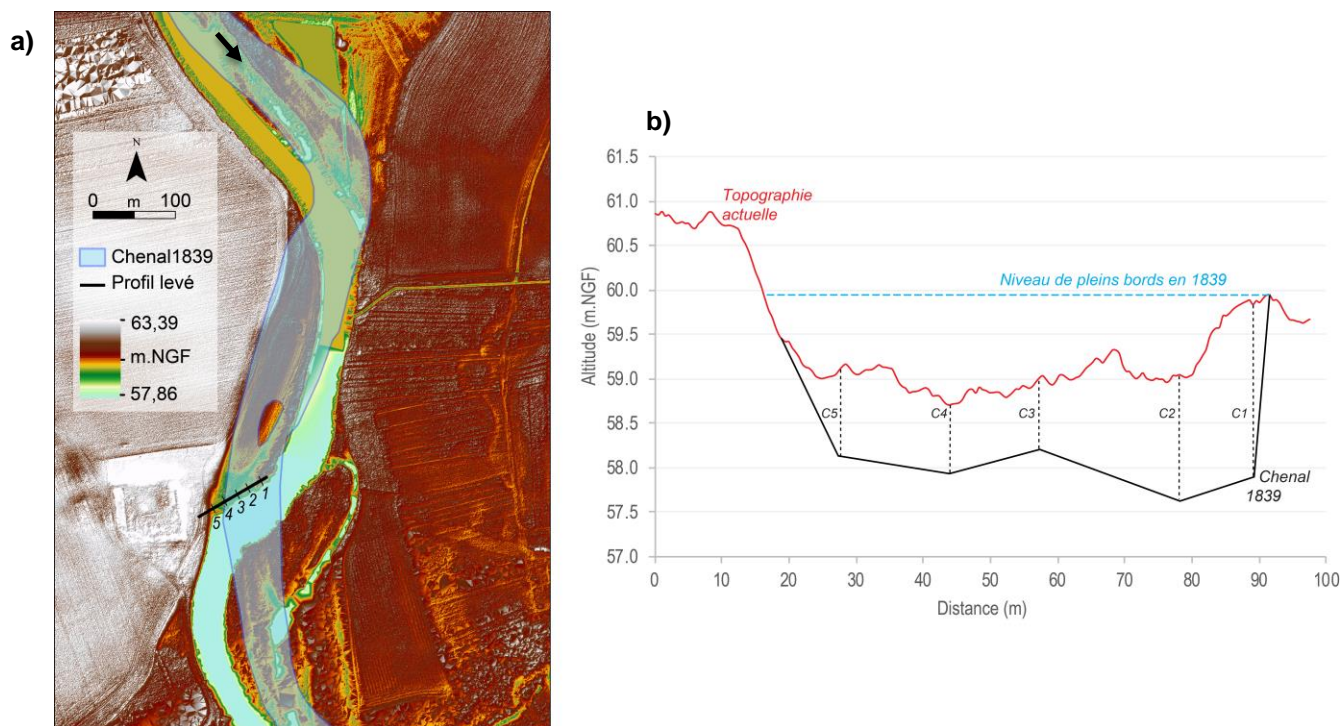


Figure 8. a) Localisation du profil en travers et des points de carottages réalisés dans le paléo-méandre de 1839 (Fig. 1). Superposition du chenal de 1839 sur le MNT. b) Profil en travers du chenal de 1839, épaisseur du colmatage mesurée à l'aide des carottages et délimitation du niveau à pleins-bords de 1839.

2.2.3. Perspectives

La première campagne de terrain a permis d'identifier plusieurs secteurs hors d'eau correspondants à des paléo-chenaux du 19^{ème} siècle. Ces secteurs sont essentiellement présents en bordure du chenal actuel. Dans la plupart des cas, une seule rive est visible, la seconde étant située dans le chenal actuel de la Seine. Cette situation a considérablement limitée le nombre de site à prospector et finalement un seul site a pu faire l'objet d'un levé complet (Figure 8). Afin de confronter et valider les résultats préliminaires, de nouvelles prospections sont donc envisagées directement dans les paléo-méandres recoupés par les aménagements. Dans ces secteurs, nous savons que les berges actuelles correspondent aux berges de la Seine au moment de la déconnexion ; différentes périodes peuvent donc être analysées. Les altitudes des sommets de berges pourront être validées à l'aide du profil en long de 1839. Étant donné que l'ensemble des paléo-méandres sont en eau, il est nécessaire de réaliser des prospections subaquatiques. Ces prospections doivent permettre (1) de reconstruire des profils en travers historiques en tenant compte de l'épaisseur du comblement postérieure à la déconnexion, et (2) de calculer les paléo-débits de pleins bords pour reconstruire la dynamique hydrologique historique du secteur d'étude à différente période.

Les secteurs ont été sélectionnés en fonction des périodes et du type de déconnexion (amont, aval, amont et aval). Les prospections subaquatiques seront réalisées avec la participation du GRAS (Groupement de Recherches en Archéologies Subaquatiques). Les levés bathymétriques seront complétés de levés topographiques réalisés au théodolite. Une acquisition avec un drone flottant équipé d'un pénétrateur à sédiment est envisagée. Cette méthode non invasive permettrait de valider les résultats de la prospection manuelle et diminuerait considérablement les temps d'acquisition. Les discussions sont en cours, les prospections sont prévues au premier trimestre 2019. En parallèle, le travail aux archives nationales et départementales permettra d'améliorer la compréhension de l'histoire des sites retenus.

3. Trajectoire temporelle longue à l'échelle du lit mineur

Cette partie s'appuie sur une synthèse documentaire multi-sources (archives, cartes, plans, textes) pour reconstruire l'évolution du territoire de la Bassée depuis le début du 19^{ième} siècle. Pour cela, nous avons tenu compte des évolutions planimétriques, verticales et temporelles pour identifier les facteurs de contrôles et les temps de réponses des changements observés sur la Seine (lit mineur) dans le secteur de la Bassée.

3.1. Chronologie des aménagements

Jusqu'au début du 19^{ième} siècle, la Seine est la voie privilégiée pour le transport des marchandises et l'acheminement du bois par flottage. Des documents d'archives attestent des premiers aménagements entrepris de façon sporadique dans le secteur de la Bassée avant le 17^{ième} siècle. L'objectif principal est d'améliorer les conditions de navigation et de flottage de bois de chauffage (Dzana, 1997). Les premiers travaux d'aménagement sont menés au cours du 17^{ième} et 18^{ième} siècles. Il s'agit notamment de travaux d'endiguement, de création de barrages ou d'arasement de seuils. Dans la première moitié du 19^{ième} siècle, des ouvrages anti-érosifs sont construits pour stabiliser les berges. Cependant, les aménagements restent très localisés et ne s'intègrent pas dans un projet global. Avec l'essor du réseau routier et du chemin de fer, l'importance de la navigation va péricliter et les infrastructures hydrauliques ne seront plus entretenues. Les conditions de navigation et de flottage se dégradent, notamment en période de basses eaux.

La seconde moitié du 19^{ième} siècle est marquée par un regain d'intérêt de l'utilisation des voies d'eau. À l'amélioration des conditions de navigation s'ajoute les objectifs de protection des terres agricoles, qui s'étendent à cette époque jusqu'au lit mineur. Les aménagements se matérialisent essentiellement par la construction d'ouvrages anti-érosifs (1848) et de canaux de dérivation d'une dizaine de kilomètres de long. Il s'agit plus précisément du canal de Beaulieu à Villiers construit en 1885 et du canal de Bray à La Tombe construit en 1899 (*Figure 9*). Ce dernier sera abandonné en 1979.

Les aménagements se poursuivent au XX^e siècle et s'intensifient dans les années 1970 pour faciliter la navigation des grands gabarits. Dans le secteur de la Bassée aval (de *La Grande Bosse* à *Montereau-Fault-Yonne*), les travaux correctifs affectent directement le lit de la Seine : rescindement des boucles de méandres, curages et reprofilage des berges. Ces aménagements « lourds » ont pour conséquences un remodelage total du cours d'eau dans ses trois dimensions (Dzana, 1997). Les rescindements de méandres impactent la longueur du cours d'eau et modifient considérablement la pente tandis que les curages-reprofilages modifient la largeur et la profondeur du lit naturel. Les années 1970 sont également marquées par la construction des grands barrages-réservoirs en amont du bassin de la Seine qui représentent une contrainte indirecte sur la dynamique hydrologique actuelle de la Bassée.

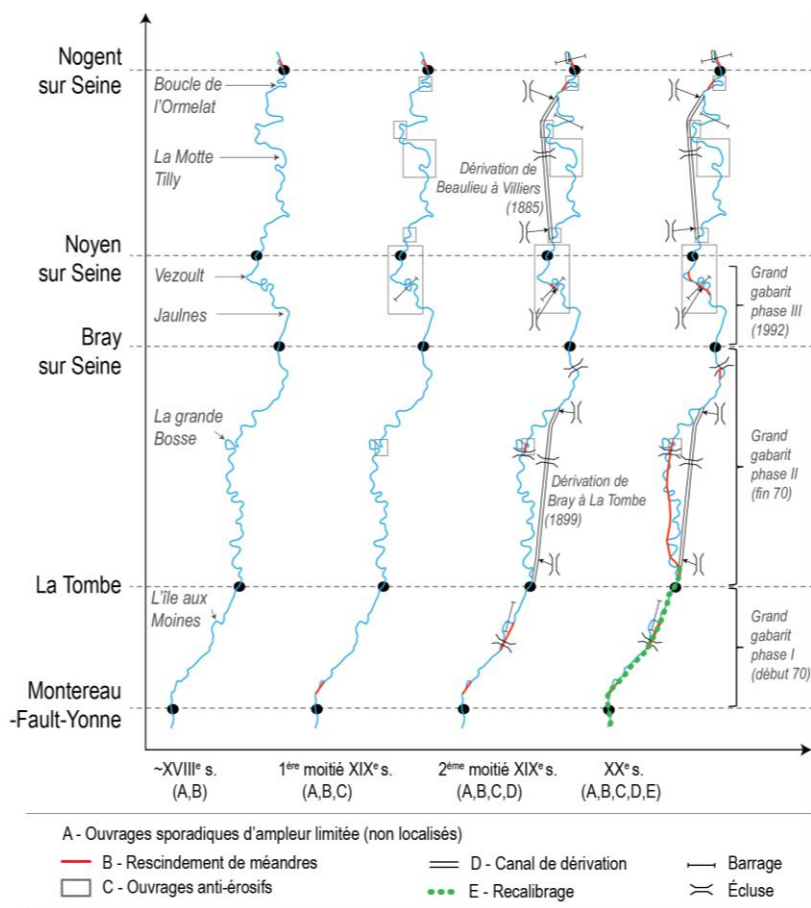


Figure 9. Synthèse des aménagements réalisés depuis le 17ème siècle sur le lit mineur de la Seine entre Nogent-sur-Seine et Montereau-Fault-Yonne.

L'analyse des évolutions en plan et l'amélioration de la précision de la cartographie, grâce notamment à la numérisation de la carte de 1839, a permis de quantifier les évolutions globales qui ont affectées le lit mineur. La surface du lit mineur a diminué de 49 ha (402 ha en 1839 contre 353 ha en 2010) soit 12% de la surface de 1839. Ce changement s'explique notamment par la réduction des largeurs et la stabilisation des berges. D'autre part, la comparaison du tracé historique avec le tracé actuel montre une diminution de la distance de 10 km (68 km en 1839 contre 58 km en 2010), soit 14 % de la longueur de 1839. Cette tendance a également été soulevée par les travaux de Steinmann *et al.* (2016) qui montre une forte diminution de la sinuosité entre ces deux dates. Il s'agit d'une conséquence directe des rescindements de méandres dont l'objectif est de simplifier le tracé pour faciliter la navigation.

Une analyse plus fine, faisant appel à la même base méthodologique développée pour analyser les imprécisions cartographiques (voir section 2.1.1 - Méthode), permet de mettre en lumière l'importance des ajustements planimétriques par tronçon de 10 m (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Tenant compte des erreurs moyennes issues de la comparaison des cartes de 1839 et de la confrontation des résultats cartographiques avec les MNT (erreurs comprises entre 27 et 50 m), on observe des changements importants au droit des secteurs aménagés, compris entre 200 et plus de 600 m.

Les contraintes les plus importantes imposées au lit mineur correspondent aux secteurs ayant fait l'objet de rescindements de méandres (Km 4, 25, 27, 29). Le tronçon de recoupement (du km 42 au km 57) présente les changements les plus marqués considérant l'ensemble du linéaire.

De nos jours, les aménagements contrôlent le fonctionnement hydromorphologique sur l'ensemble de ce territoire. Les formes fluviales sont pour la plupart fixées et le fonctionnement hydrologique est essentiellement contrôlé par les grands lacs situés sur l'Aube et la Seine amont (Lacs d'Amance, du Temple

et d'Orient). Si l'analyse planimétrique donne une première image des changements survenus sur le lit mineur depuis le début du 19^{ième} siècle, le croisement avec les données verticales doit permettre de compléter l'analyse.

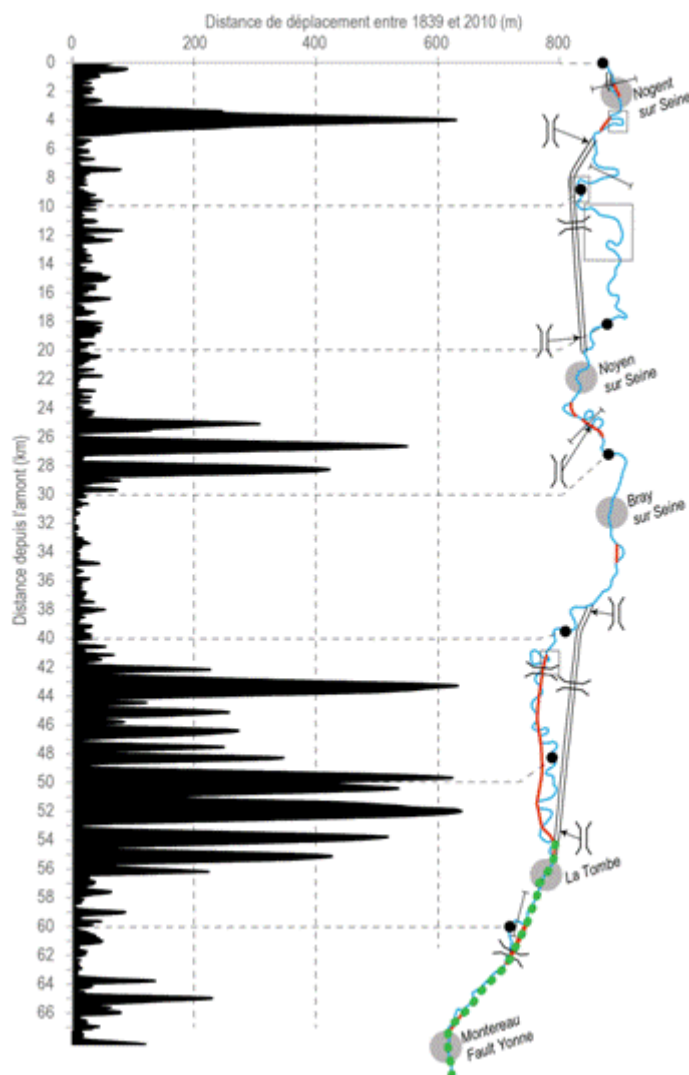


Figure 10. Distance de déplacement du talweg entre 1839 et 2010

3.2. Synthèse des évolutions à l'échelle du lit mineur

Le secteur d'étude a été divisé en deux sous-secteurs pour l'analyse des évolutions verticales. Le secteur amont, qui s'étend de Nogent-sur-Seine à Bray-sur-Seine, correspond à un tronçon impacté essentiellement par des rescindements de méandres sporadiques. Le second secteur, qui s'étend de Bray-sur-Seine à Montereau-Fault-Yonne, est caractérisé par une plus grande diversité d'aménagements qui comprend, outre un important tronçon de recouplement de méandres (La Grande Bosse – La Tombe ; *Figure 9*), un tronçon ayant fait l'objet de travaux de recalibrage (La Tombe – Montereau ; *Figure 9*).

Sur le plan vertical, le secteur amont est caractérisé par un exhaussement important de la ligne d'eau dont le niveau a été augmenté de + 3 m depuis le 19^{ième} siècle (*Figure 12* - AMONT). Cette élévation est d'autant plus marquée que le fond du lit s'est enfoncé d'un mètre, assurant un tirant d'eau d'environ 5 m. Le secteur aval présente la situation inverse avec une ligne d'eau surélevée de moitié par rapport au secteur amont (+ 1.5 m ; *Figure 12* – AVAL). Un enfoncement de quasiment 2 m affecte le fond du lit. Dans ce secteur, le tirant est donc maintenu à plus de 4 m.

Sur le plan latéral, il est intéressant d'observer une diminution globale des largeurs sur l'ensemble du secteur d'étude. Alors que les largeurs moyennes du secteur aval étaient plus faibles que celles du secteur amont en

1839, la situation est inversée en 2010 (largeurs moyennes du secteur aval plus élevées que celles du secteur amont). La diminution des largeurs s'explique essentiellement par la fixation des formes fluviales (endiguements, rescindements, création de tronçons dont les sections sont artificielles).

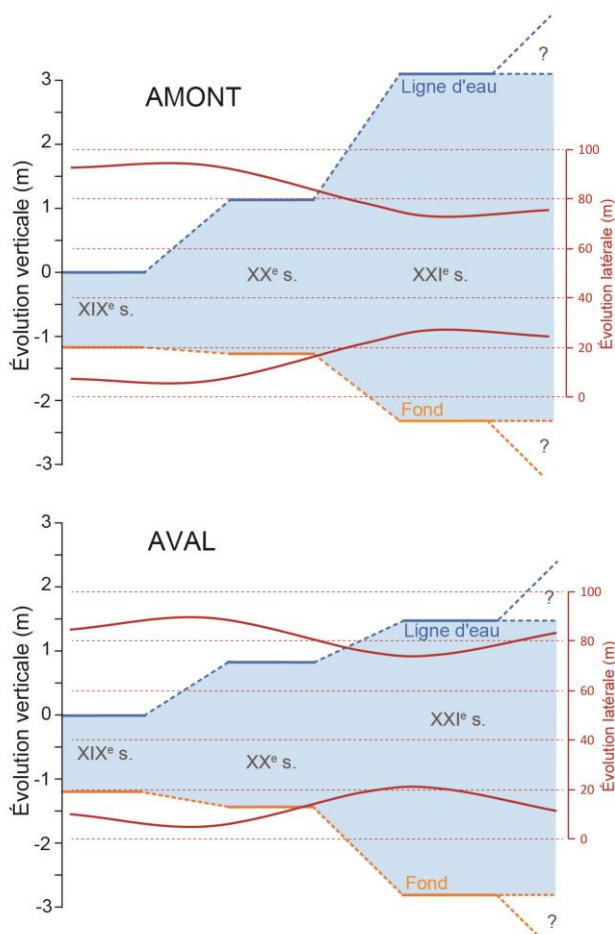


Figure 11 – Synthèse des évolutions verticales et latérales du secteur Nogent – Bray (AMONT) et Bray – Montereau (AVAL).

L'élévation artificielle du niveau d'eau dans le secteur amont permet donc de compenser un approfondissement moins important par rapport au secteur aval. Néanmoins, les faibles largeurs semblent présenter une contrainte majeure au passage (ou du moins au manœuvrage) des grands gabarits. Dans le secteur aval, le recalibrage induit un nouvel élargissement au 21^{ème} siècle et explique pourquoi la ligne d'eau présente un rehaussement plus faible que dans le secteur amont. Le creusement du fond, également prévu par les travaux de recalibrage, ont donc pour objectif de compenser l'exhaussement limité de la ligne d'eau liée aux élargissements. Dans les deux cas, les objectifs des aménagements sont atteints, à savoir maintenir un tirant d'eau supérieur à 4 m pour faciliter la navigation. Néanmoins, les conséquences sur l'hydrosystème sont importantes et irréversibles.

4. Conclusion – Perspectives

Les évolutions hydromorphologiques mises en évidence par l'étude géohistorique sont essentiellement d'origine anthropique. Les principales évolutions identifiées correspondent à des réponses directes ou indirectes liées aux aménagements qui s'intensifient considérablement dans la Bassée à partir de la première moitié du 19^{ème} siècle.

Sur le plan horizontal, ces modifications se traduisent par une simplification du tracé de la Seine. Les rescindements et recoupements de méandres ont contribué à raccourcir le linéaire de la Seine. Sur le plan vertical, la modification du tracé est à l'origine d'un enfoncement du lit, qui, dans le secteur aval a été volontairement exacerbé par les travaux de recalibrage. Ces derniers sont également à l'origine d'une ré-augmentation des largueurs dans ce secteur. Un tirant d'eau d'environ 4 m est maintenu artificiellement par les ouvrages hydrauliques pour pérenniser la navigation sur l'ensemble de la Bassée. Si nous savons que la dynamique hydrologique est contrôlée par les grands lacs depuis le milieu du 20^{ème} siècle, les analyses en cours, qui vise à reconstruire la dynamique hydrologique passée, nécessite des données supplémentaires pour valider les premières estimations des paléo-débits de pleins bords.

Sur le plan méthodologique, la première étape (des plus fastidieuses) a consisté à interroger et à compiler les sources anciennes. Mais reconstruire l'histoire de l'hydrosystème nécessite de respecter certaines étapes supplémentaires :

Analyser et traiter les documents anciens - Puisque les cartes et plans ne sont pas produits en fonction des objectifs de nos recherches, le degré de fiabilité des documents anciens pour l'étude géohistorique doit être estimé. Il s'agit de définir le contexte et l'objectif du document mais aussi la qualité, la précision et la pertinence des jeux de données en fonction des objectifs de la recherche. Les séquences temporelles et la surface d'étude doivent être définies pour optimiser les traitements et rendre les cartes comparables entre-elles. Pour cela, les premiers traitements consistent à géoréférencer / projeter les jeux de données dans un système de coordonnées géographiques unique. Des méthodes doivent être développées et adaptées aux contraintes des secteurs d'étude (tailles, styles fluviale, qualité de la donnée...) pour quantifier les évolutions et évaluer l'importance des ajustements passés.

Quantifier les changements - Trois dimensions ont été prises en compte. Les évolutions planimétriques (dimensions X & Y) ont été suivies à l'aide des cartes anciennes. Les évolutions verticales (dimension Z) ont pu être déterminées grâce au profil en long historique. Dans le cas de la Bassée, l'ensemble des données a été regroupé dans un même espace de travail afin de faciliter les comparaisons. L'estimation des paléo-débits de pleins bords a fait l'objet d'une comparaison de méthodes qui a mis en évidence une surestimation systématique des résultats. Le nombre de secteurs hors d'eau favorable aux prospections pédestres étant très limité, il semble essentiel de réaliser des prospections subaquatiques pour affiner les résultats.

Tenir compte de la chronologie des aménagements - Une étape essentielle pour déterminer l'impact des aménagements sur l'hydrosystème consiste à identifier les périodes de travaux (forçages) et à différencier les types d'aménagement. Les documents d'archives manuscrits comme les témoignages, les récits, ou les rapports d'ingénieur fournissent généralement ces informations. Associé à une identification des structures sur les cartes anciennes et au recensement des ouvrages actuels, il est alors possible de dresser une cartographie diachronique précise.

Lier les périodes d'aménagement avec les évolutions du milieu - Les forçages environnementaux liés à l'anthropisation du milieu entraînent des ajustements morphologiques que l'analyse des paramètres morphométriques permet de mettre en évidence. Croiser les périodes d'ajustements avec la chronologie des aménagements permet d'évaluer le temps de réponse du milieu aux différents forçages.

L'implication de ce travail dans les thématiques du PIREN-Seine vise à renforcer la compréhension de la trajectoire d'évolution historique de l'hydrosystème (*Figure 12 – Diagnostic*). Une interaction avec les équipes qui travaillent à l'amélioration de la compréhension du fonctionnement physique actuel est nécessaire pour fournir un modèle de réponse du fleuve à différents types de forçages (*Figure 12 – Résultats*). À plus long terme, une réflexion pourra être menée pour identifier précisément les indicateurs qui contrôlent le fonctionnement actuel du milieu au regard des évolutions passées. Enfin, l'élaboration de scénarios sur la base de ces réflexions devrait permettre d'anticiper, à moyen et long termes, les évolutions du milieu par rapport aux projets d'action envisagés sur la Bassée (Protection des zones humides, gestion des inondations, extraction de granulats, mise à grands gabarits).

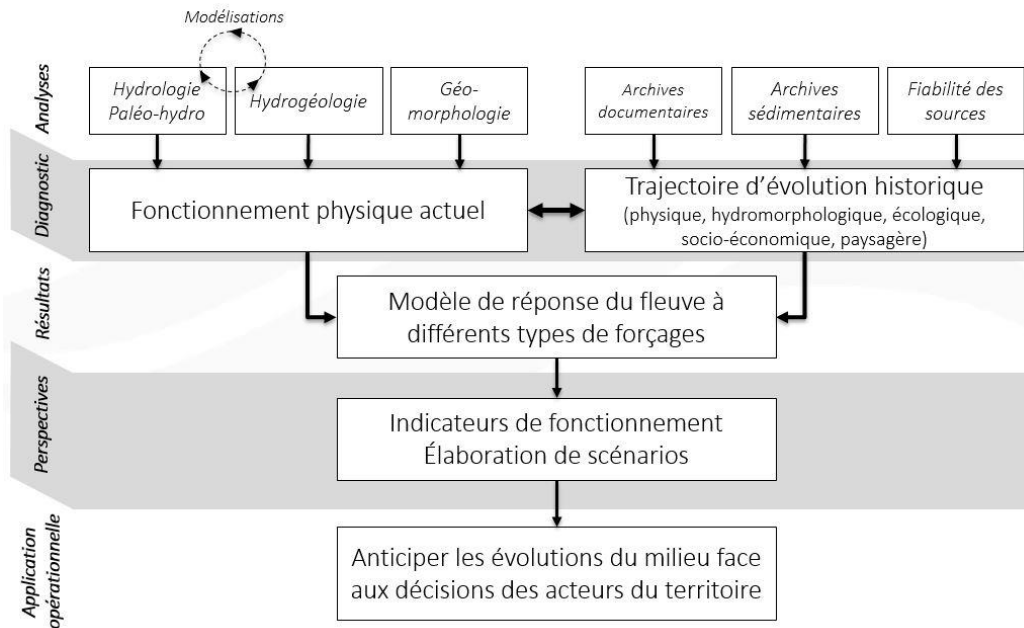


Figure 12. Positionnement global des travaux géohistoriques menés sur la Bassée dans la phase VII, liens interdisciplinaires et perspectives envisagées dans le cadre de la phase VIII.

Bibliographie

- Backouche, I. (2000). *La trace du fleuve. La Seine et Paris (1750-1850)*. EHESS. 430 p.
- Bendjoudi, H., et al. (2000). *Fonctionnement des zones humides riveraines du cours moyen des rivières - Analyse et modélisation de la genèse des hétérogénéités structurales et fonctionnelles - Application à la Seine moyenne (Rapport final PNRZH)*. Paris, 140 p.
- Bioresita, F. in prep. *Exploitation de séries temporelles d'images multi-sources pour la cartographie des surfaces en eau*. Université de Strasbourg, Strasbourg.
- Bjerklie, D.M. (2007). *Estimating the bankfull velocity and discharge for rivers using remotely sensed river morphology information*. *Journal of hydrology*. **341** (3–4), pp. 144–155. doi:[10.1016/j.jhydrol.2007.04.011](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.04.011)
- Bjerklie, D.M., Lawrence Dingman, S., Vorosmarty, C.J., Bolster, C.H., Congalton, R.G. (2003). *Evaluating the potential for measuring river discharge from space*. *Journal of hydrology*. **278** (1–4), pp. 17–38. doi:[10.1016/S0022-1694\(03\)00129-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00129-X)
- Bjerklie, D.M., Moller, D., Smith, L.C., Dingman, S.L. (2005). *Estimating discharge in rivers using remotely sensed hydraulic information*. *Journal of hydrology*. **309** (1–4), pp. 191–209. doi:[10.1016/j.jhydrol.2004.11.022](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.11.022)
- Bjerklie, D.M., Birkett, C.M., Jones, J.W., Carabajal, C., Rover, J.A., Fulton, J.W., Garambois, P.-A. (2018). *Satellite remote sensing estimation of river discharge: Application to the Yukon River Alaska*. *Journal of hydrology*. **561** pp. 1000–1018. doi:[10.1016/j.jhydrol.2018.04.005](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.04.005)
- Carlston, C.W. (1965). *The relation of free meander geometry to stream discharge and its geomorphic implications*. *American journal of science*. **263** (10), pp. 864–885. doi:[10.2475/ajs.263.10.864](https://doi.org/10.2475/ajs.263.10.864)
- Chow, V.T. (1959). *Open-channel hydraulics*. McGraw-Hill Book Co, New-York.
- Conolly, J., Lake, M. (2006). *Geographical Information Systems in Archaeology*, Collection Cambridge Manuals in Archaeology. ed, 338p.
- Degoutte, G. (2012). *Diagnostic, aménagement et gestion des rivières : hydraulique et morphologie fluviales appliquées*. Tec & doc : Lavoisier, 490p.
- Deleplanque, B. (2016). *Caractérisation des hétérogénéités sédimentaires d'une plaine alluviale: Exemple de l'évolution de la Seine supérieure depuis le dernier maximum glaciaire (PhD Thesis)*. Paris Sciences et Lettres.
- Dzana, J.-G. (1997). *Le lit de la Seine de Bar à Montereau : étude morphodynamique et rôle des aménagements*. Paris 1, 325 p.
- Fustec, E., Bendjoudi, H., Gaillard, S., Weng, P., Boyer, F., Boët, P., Shannen, O., Crognec, S., Billen, G., (2001). *Fonctionnement du Territoire 'Bassée'* 58 p.
- Grosso, E. (2011). *SEREDONA: a web platform to integrate historical geographic data into current georeferenced frameworks*. Ruas, Anne. (Ed.), *Advances in cartography and giscience*. volume 2. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 117–128 pp. 117–128. doi:[10.1007/978-3-642-19214-2_8](https://doi.org/10.1007/978-3-642-19214-2_8)
- Lescure, S., Arnaud-Fassetta, G., Cordier, S. (2011). *Sur quelques modifications hydromorphologiques dans le Val de Seine (Bassin parisien, France) depuis 1830 : quelle part accorder aux facteurs hydrologiques et anthropiques ?* *EchoGéo*. (18), . doi:[10.4000/echogeo.12658](https://doi.org/10.4000/echogeo.12658)
- Steinmann, R., Lestel, L., Dumont, A., (2016). *Approche géohistorique de la Seine dans la Bassée durant les deux derniers siècles (PIREN-Seine)* 31 p.

Vayssière, A., Depret, T., Castanet, C., Gautier, E., Virmoux, C., Carcaud, N., Garnier, A., Brunstein, D., Pinheiro, D. (2016). *Etude des paléoméandres holocènes de la plaine alluviale du Cher (site de Bigny, moyenne vallée du Cher)*. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*. **22** (2), pp. 163–176. doi:[10.4000/geomorphologie.11369](https://doi.org/10.4000/geomorphologie.11369)

Williams, G.P. (1978). *Bank-full discharge of rivers*. *Water resources research*. **14** (6), pp. 1141–1154. doi:[10.1029/WR014i006p01141](https://doi.org/10.1029/WR014i006p01141)