

SOMMAIRE

Introduction.....	p.1
I – Les objectifs du reméandrage.....	p.1
II – Analyse des documents de référence	p.2
III – L'étude du reméandrage avec des maquettes	p.3
A) le choix des sites de mesures	p.3
B) L'étude de terrain	p.4
i) Mesure des dimensions de l'Yvette et détermination d'un facteur d'échelle.....	p.4
ii) Mesure de la vitesse et détermination du débit.....	p.4
iii) Mesure de la granulométrie des sédiments et choix du sable de la maquette.....	p.5
C) Mise en œuvre des maquettes.....	p.5
IV – Les mesures réalisés.....	p.5
A) Quantification de la masse de sable érodée	p.5
B) Quantification de l'érosion par la mesure de la profondeur de sable.....	p.6
V. Résultats de nos expériences	p.7
VI- Les limites de nos expériences et du modèle	p.8
Conclusion	p.8

Introduction

La gestion des risques liés à l'eau est un enjeu majeur sur nos territoires. Ces risques sont accentués par le contexte du changement climatique, entraînant des précipitations irrégulières avec des pluies violentes provoquant d'importantes inondations. L'augmentation des risques hydrologiques comprend également un risque plus important d'érosion des berges et de glissement de terrain.

En outre, ces phénomènes sont accentués par la « canalisation » des cours d'eau possédant peu de méandres, c'est-à-dire l'enfoncement du cours d'eau dans son lit en creusant de plus en plus profondément et en s'accroissant. Une des solutions envisagées à ce problème est la renaturation des cours d'eau, dont le reméandrage est un des outils. Ainsi, nous nous sommes demandés :

Dans quelle mesure le reméandrage permet-il de limiter les risques hydrologiques ?

Nous chercherons donc à savoir si le reméandrage est une solution satisfaisante pour limiter l'érosion des berges et la levée du cours d'eau, répondant ainsi à des enjeux concrets et actuels de notre société, en particulier dans le contexte d'un dérèglement progressif du climat planétaire, s'intensifiant d'années en années.

Pour cela, nous étudierons le reméandrage à plusieurs échelles. Premièrement nous aborderons un cas concret de reméandrage puis nous étudierons ce phénomène à échelle réduite grâce à des maquettes. Enfin, nous présenterons nos résultats ainsi que les limites de ce modèle.

I – Les objectifs du reméandrage

Le reméandrage d'un cours d'eau est une technique de restauration écologique qui consiste à redonner à une rivière ou un ruisseau son tracé naturel sinueux, après qu'il ait été rectifié ou canalisé par l'homme.

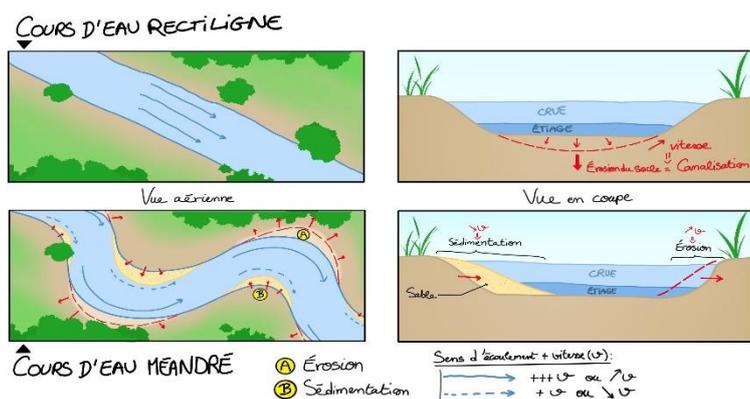


Figure 1 : présentation des différences entre un cours d'eau rectiligne et un cours d'eau avec des méandres

Ce processus vise plusieurs objectifs : restaurer la biodiversité en recréant des habitats variés pour la faune et la flore aquatiques, améliorer la qualité de l'eau en favorisant l'autoépuration naturelle, limiter les risques d'inondation en ralentissant le flux de l'eau, et reconstituer les dynamiques naturelles du paysage. Le reméandrage permet ainsi de redonner aux cours d'eau leur fonctionnement écologique optimal tout en apportant des bénéfices aux territoires environnants.

Dans notre TIPE, nous nous sommes intéressés aux avantages mécaniques du reméandrage : la réduction de l'érosion et une répartition plus naturelle des sédiments ainsi que la réduction du risque de crues en aval du méandre.

II-Analyse des documents de référence

Le reméandrage est largement utilisé sur tout le territoire. Nous avons choisi de nous concentrer sur le reméandrage de l'Yvette à St Rémy-Lès-Chevreuse pour réaliser une étude de terrain concrète. Nous avons ainsi contacté des hydrauliciens ayant travaillé sur le projet de renaturation de l'Yvette par l'intermédiaire de la mairie de St Rémy-Lès-Chevreuse et du SIAVHY (Syndicat Intercommunal pour l'Aménagement Hydraulique de la Vallée de l'Yvette).

Afin de choisir la meilleure solution, plusieurs tracés ont été étudiés par le SIAVHY lors des études pré-travaux. Ces études, dans le cadre du PPRI, comportaient des simulations de la hauteur d'eau et de la vitesse lors de crues effectuées au niveau du site du moulin de Bretèche à Saint-Rémy-lès-Chevreuse, dont les résultats sont présentés ci-dessous.

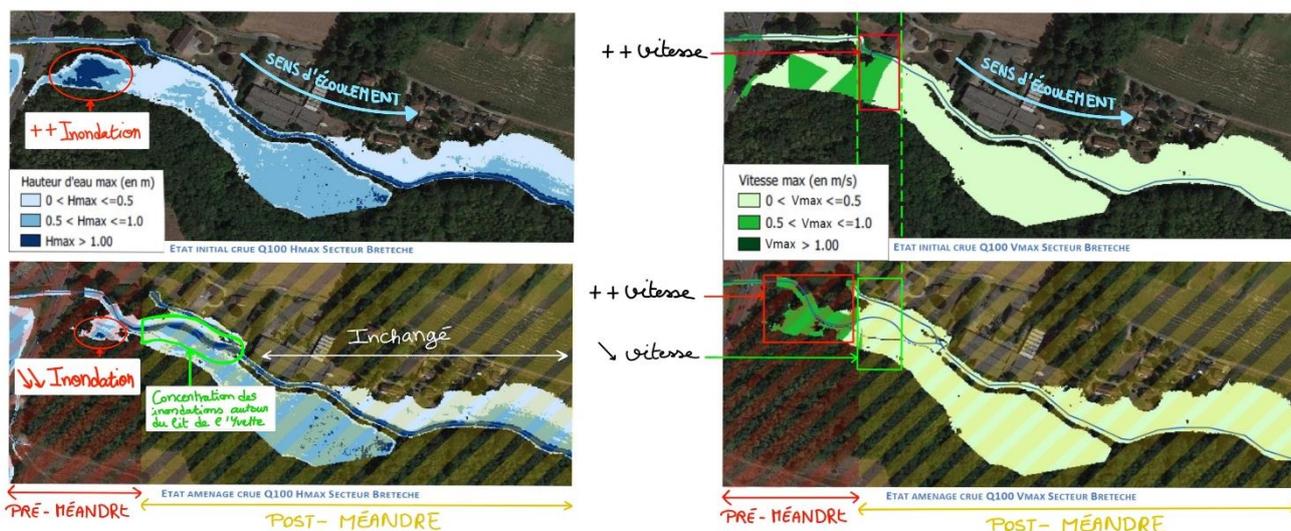


Figure 2 : Simulations de la hauteur d'eau et de la vitesse maximale en période de crue avant et après reméandrage. Source : SIAVHY (5)b, légendées par nous

En les analysant, on observe que les changements se produisent principalement dans la zone reméandree, où la montée des eaux en période de crue semble être diminuée de quelques centimètres à un mètre.

Seule une zone semble être soumise à une augmentation du niveau de l'eau. Cependant, cette augmentation se concentre autour du bras méandré construit et ne touche plus les zones habitées. Cela semble être une prévision satisfaisante.

On observe ainsi, que le cours d'eau est fortement freiné par le premier méandre, évitant ainsi la situation pré-reméandrage où la vitesse maximale est atteinte à proximité des habitations, d'où une diminution de la vulnérabilité et donc du risque d'inondation.

Par ailleurs, la hauteur d'eau ainsi que la vitesse influent l'aléa selon les modalités suivantes présentés sur la figure 4b. En combinant les 2 simulations, et avec les modalités précédentes, une nouvelle prévision portant sur l'aléa a été effectuée.

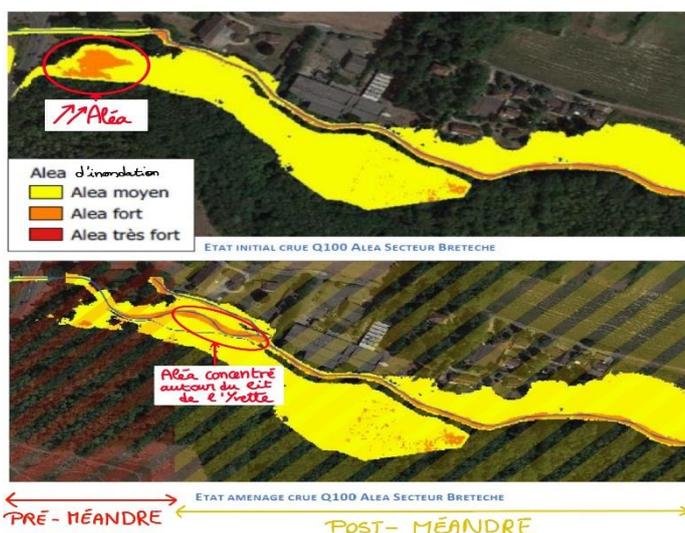


Figure 3a : Simulation l'aléa en période de crue avant et après reméandrage. Source : SIAVHY (5)b, légendée par nous

Vitesses	Vitesses supérieures à 1 m/s	Vitesses comprises entre 0,5 et 1 m/s	Vitesses inférieures à 0,5 m/s
	Hauturs d'eau supérieures à 1 m	Aléa très fort	Aléa fort
Hauturs d'eau inférieures à 1m	Aléa fort	Aléa moyen	Aléa moyen

Figure 3b : Tableau récapitulatif des simulations. Source : SIAVHY (5)b

La hauteur d'eau étant le principal facteur déterminant l'aléa, on observe, sans grande surprise, une diminution de l'aléa dans la zone où le niveau de l'eau diminue.

En outre, nous avons analysé les résultats des travaux réalisés sur l'Yvette lors de la renaturation du cours d'eau dont un tableau récapitulatif des données nous intéressant se trouve ci-dessous :

Tracé	Rectiligne	Sinueux
Pente	0,76 %	0,69 %
Débit de plein bord (m ³ /s)	4,55	4,34
Phénomène d'érosion	+++	++

On observe alors que le changement d'un tracé rectiligne en tracé sinueux est responsable d'une diminution de la pente et donc d'une diminution du débit, ce qui engendre une diminution de l'érosion.

A l'issue de l'analyse des documents, nous avons décidé de vérifier par des expériences la différence d'érosion entre une rivière reméandrée et une rivière non reméandrée.

III - L'étude du reméandrage avec des maquettes

Afin de vérifier les résultats obtenus par le SIAHVVY, nous avons décidé de mettre en place deux maquettes : une rectiligne, sans méandres, correspondant à la maquette témoin et une autre maquette avec des méandres. Cela nécessitait d'avoir des informations sur l'Yvette telle que la largeur, la profondeur, la taille des grains du sédiment ou le débit afin de réaliser une maquette la plus fidèle possible à la réalité.

A) Le choix des sites de mesure

En comparant des images satellite avant et après travaux comme celle de la figure 5 correspondant au premier site de mesure, nous avons choisis 3 sites accessibles à Saint Rémy-Lès-Chevreuse présentés sur la figure 4 :



Figure 4 : Image satellite de l'Yvette après les travaux et localisation des sites de mesures (4)



Figure 5 : Comparaison des images satellites avant et après travaux au site du moulin du Vaugien (2002 et 2020) (4)

B) L'étude de terrain

Nous nous sommes ensuite rendus sur les 3 sites choisis afin de fonder notre maquette sur les données réelles de l'Yvette.

i) Mesure des dimensions de l'Yvette et détermination d'un facteur d'échelle

Dans le but de réaliser une maquette fidèle, nous avons besoin de déterminer un facteur d'échelle pour adapter toutes les mesures prises sur le terrain à la taille de la maquette.

Pour le calculer, nous nous sommes basés sur la largeur de l'Yvette qui varie peu sur la portion étudiée. Nous l'avons mesurée à l'aide d'une ficelle tendue entre les deux berges et nous avons une largeur d'environ **8 mètres** sur les 3 sites.

La largeur de notre maquette étant de **30 cm**, nous avons déterminé un facteur d'échelle de $0,3/8,2 = 3,66 \cdot 10^{-2}$.

De la même manière, la profondeur de l'Yvette, déterminée à l'aide des documents du SIAHVY (et non par une mesure directe) étant de **70 cm**, on obtient une profondeur de **2,6 cm** pour notre maquette.

ii) Mesure de la vitesse et détermination du débit

Pour faire fonctionner la maquette, c'est à dire régler la pompe apportant l'eau en amont de la maquette, il est nécessaire d'avoir un ordre de grandeur du débit.

Grâce à la mesure de la largeur et de la profondeur de l'Yvette, nous obtenons la section traversée. Il nous reste à mesurer la vitesse de l'eau la traversant.

Pour cela, nous positionnons deux personnes, espacées de 18m l'une de l'autre, sur une berge du cours d'eau. Une d'elles plaçait un objet flottant à $t=0$ dans l'eau et la seconde personne mesurait le temps entre ce dépôt et l'arrivée de l'objet face à elle. Nous avons répété cette expérience 10 fois sur chaque site (en plaçant l'objet au centre de la rivière). Il est à noter que pour éviter de fausser les résultats, si l'objet rencontrait un obstacle nous ne prenions pas la mesure en compte.



Figure 6 : Illustration de l'expérience de mesure de la vitesse, photographie de notre étude de terrain à St-Rémy-lès-Chevreuse, Site 1, (6)

Objet flottant

Nous avons ainsi obtenu, la vitesse moyenne du cours d'eau de **$1,14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \pm 0,026$** .

Le débit de l'Yvette sur la partie étudiée, est de $6,54 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1} \pm 0,15$. Le débit de notre maquette est donc de l'ordre de **$1000 \text{ L}/\text{H} = \text{Débit moyen} \times (\text{Facteur d'échelle})^3$** .

iii) Mesure de la granulométrie des sédiments et choix du sable de la maquette

Les dernières mesures réalisées concernent la granulométrie des sédiments. Nous avons prélevé sur les 3 sites visités deux lots d'échantillons : à la surface et un peu plus en profondeur.

Après un séchage à l'étuve et une séparation des grains par des tamis empilés (aux mailles de diamètre décroissant), nous avons pesé les différentes fractions et obtenu les résultats suivants :

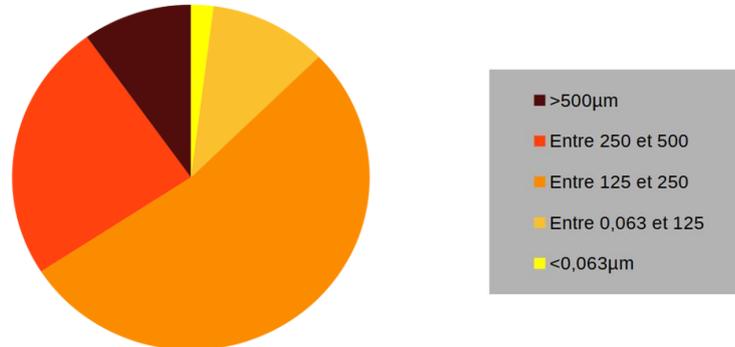


Figure 7 : Moyenne de la granulométrie du sable récupéré sur les 3 sites de mesures

En revanche, la mise à l'échelle du sable était impossible car on obtenait des grains de 5 micromètres. Nous avons opté pour un sable de 0,5 millimètres en moyenne (entre 0 et 1 millimètre).

C) Mise en œuvre des maquettes

Avec toutes les informations obtenues sur le terrain, corroborées avec celle du SIAVHY, nous avons enfin pu mettre en place nos maquettes.

Nous avons creusé le socle en polystyrène pour avoir un guide aux sédiments, posés au-dessus, de la manière suivante : pour les bords, nous nous sommes inspirés des profils de l'Yvette dont les bords sont inclinés comme sur le schéma ci-dessous :

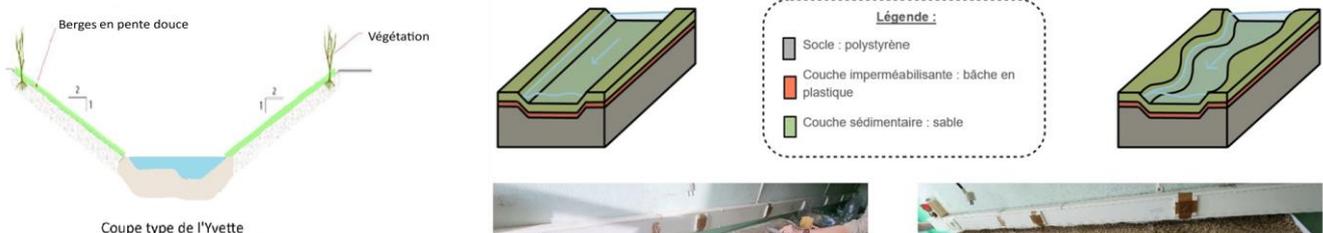


Figure 8 : Profil type de l'Yvette, (5)

Figure 9 : Schéma et photographie des deux maquettes réalisées, (6)

Maquette témoin

Maquette avec méandres

IV. Mesures réalisées sur nos maquettes

Une fois notre maquette conçue nous l'avons utilisée pour réaliser nos expériences. Nous avons alors imaginé deux séries de mesures pour quantifier l'érosion.

A) La mesure de la masse de sable érodée

Lors de chaque écoulement de la rivière d'une durée de 10 minutes, nous avons récupéré le sable en bout de maquette (qualifié de « sable érodé ») à l'aide d'un tamis comme sur la figure 10. Ensuite, après séchage des différents échantillons, nous les avons pesés afin de quantifier la masse d'érosion.



Figure 10 : Photographie du tamis permettant la collecte du sable érodé en aval de la maquette (6)

B) La quantification de l'érosion par la mesure de la profondeur de sable

Pour chaque maquette et chaque mesure, nous devons tout d'abord égaliser l'épaisseur de la couche de sable recouvrant la maquette à **1 cm**.

Par la suite, nous laissons couler de l'eau pendant **10 minutes**. Enfin, nous relevons l'épaisseur de sable restante en 15 points (comme indiqué sur la figure 11).

Afin que nos points de mesure ne changent pas d'un écoulement à l'autre de la rivière, nous avons au préalable placé **5 marques équidistantes** sur le côté de la maquette indiquant les endroits où effectuer chaque rangée de mesure.

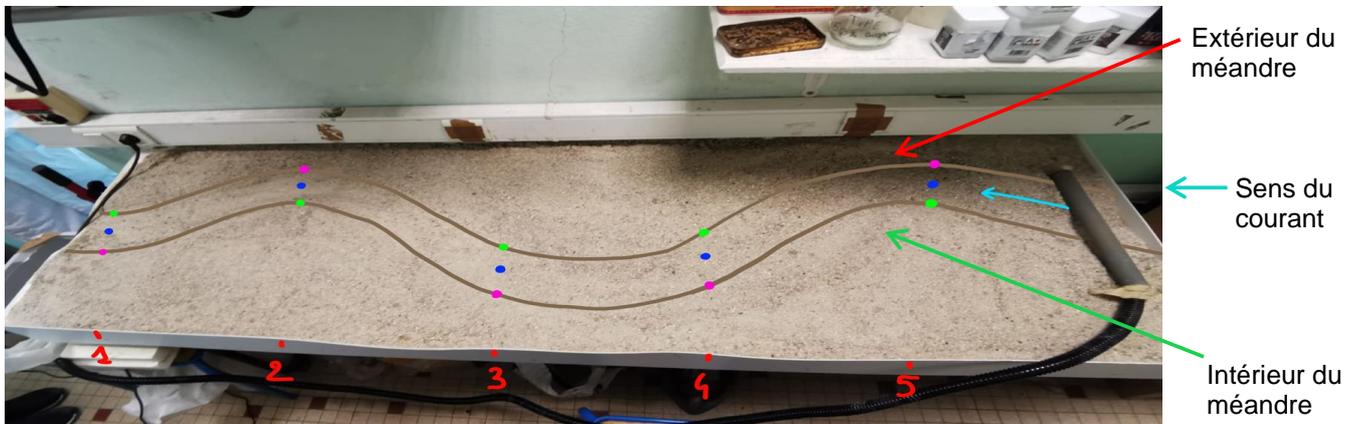
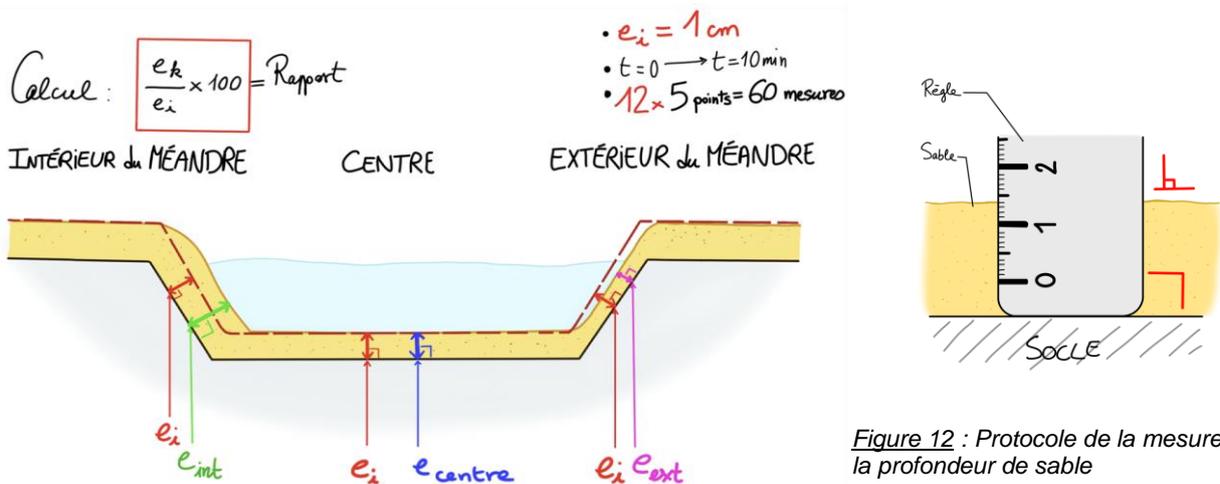


Figure 11 : Localisation des points de mesures de la profondeur de sable

Nous mesurons la profondeur de sable sur les 2 maquettes à l'aide d'une règle que l'on plaçait perpendiculairement au socle comme présenté sur la figure 15.

Pour chaque maquette, nous avons **répété** ces étapes **12 fois** ce qui nous a permis d'obtenir **60 points de mesures pour chaque partie** (milieu, intérieur et extérieur du méandre ou milieu et berges suivant la maquette)

Nous avons ensuite fait le rapport entre l'épaisseur initiale et celle après érosion et obtenu un pourcentage d'érosion de la berge. Cette expérience a donc permis de quantifier la variation de profondeur de sable lié à l'érosion.



Ces valeurs confirment donc les résultats précédents. Les méandres permettent la sédimentation en réduisant la vitesse du cours d'eau à l'intérieur du méandre. Le sable est moins érodé et sédimente dans le méandre suivant, ce qui limite l'érosion des berges et la canalisation des cours d'eau.

Par ces deux études, nous avons montré l'efficacité du reméandrage sur la réduction des risques hydrologiques.

VI- Les limites de nos expériences et du modèle

Même si les maquettes semblent en accord avec les simulations, n'y a-t-il pas quelques biais de réalisation à garder en tête lors de l'analyse des résultats ?

En effet, lors des différentes expériences avec les maquettes plusieurs problèmes ont pu être observés :

- Tout d'abord, de par la puissance du jet d'eau sortant du tuyau, le quart supérieur de la maquette se retrouvait beaucoup plus érodé que les secteurs suivants.

- Deuxièmement les mesures d'érosions sur les maquettes sèches étaient toujours plus importantes que celles sur les maquettes humides. Or, les mesures ayant été effectuées par séries, il y a donc souvent un décalage entre la première et les suivantes.

- Troisièmement, d'après la mise à l'échelle, le sable aurait dû être d'une granulométrie inférieure. Cela induit donc une différence d'échelle entre le sable et les autres paramètres (taille du lit mineur, débit, etc.)

Ainsi, même si ces 3 phénomènes impactent plus ou moins les 2 maquettes de façon identique, ils nous obligent à prendre du recul sur les masses de sable érodé mesurées.

De plus, les pentes encadrant le lit de la rivière seront douces mais hautes, ce qui contiendrait en partie les eaux en crues. Or même si nous avons appliqué cette forme de lit à nos maquettes, les bords n'étaient pas très hauts et nous observions au bout d'une dizaine de minutes que le sable des berges plates était gorgé d'eau et formait par endroits des petits points d'eau. Ainsi, il faudrait certainement construire des berges plus hautes pour empêcher l'étalement de l'eau lors des crues.

Par ailleurs, le reméandrage en lui-même présente certaines limites. En effet, les récentes inondations d'octobre ont mis en lumière la capacité limitée de ces actions en ce qui concerne le maintien de l'Yvette dans son lit mineur.

De plus, lors des travaux d'aménagement de la rivière, des solutions complémentaires ont été mises en place pour atteindre au maximum le but désiré. Ainsi, il est envisagé de renforcer la berge extérieure (concave) des méandres, plus exposée à l'érosion, par exemple en y plantant des arbres. Des aménagements de réduction de pente ont également été nécessaires.

Enfin la dernière limite est une limite financière, puisque les travaux nécessaires à une telle opération coûtent cher (de l'ordre du million d'euros pour certains projets).

Conclusion

Nous pouvons alors conclure de notre étude que le reméandrage est un outil qui peut s'avérer efficace pour réduire les risques hydrologiques, tels que l'érosion des berges et les inondations en période de crue, même si certaines problématiques persistent.

En outre, la renaturation des cours d'eau apporte de nombreux autres avantages : écologiques, économiques et sociaux. La création de zones humides et de frayères crée des zones de reproduction, augmente la biodiversité, entretient ou forme des écosystèmes et protège les espèces en danger, voire en voie de disparition. Les méandres permettent également la continuité écologique du cours d'eau, en remplaçant d'anciennes solutions aux risques hydrologiques telles que les clapets. Enfin, la capacité d'autoépuration de l'eau est augmentée assurant une eau moins polluée pour les habitants aux alentours et abaisse les coûts de traitement des eaux.

BIBLIOGRAPHIE

CONTACTS

Mairie de St Remy-Lès-Chevreuse : 01 30 47 05 00

SIAPHY : 01 69 31 72 10 ; 01 69 31 37 31 ; infos@siahvy.fr

M. GOUE : a.goue@siahvy.fr

SOURCES

(1) Site du SIAPHY

(2) SMVV_Remeandrage_seminaire_morpho_19_10_11 (PDF)

(3) 2020_fiche_10_-_hydromorphologie_et_la_continuite__240909_145320 (PDF)

(4) Google Earth

(5) Documents envoyés par M. Goué : Restauration de la continuité écologique et de lutte contre les inondations de l'Yvette à Saint-Rémy-Lès-Chevreuse

a) Notice technique

b) Note de complément du site du Moulin de la Brèteche

c) Rapport d'avant-projet

(6) Photographies de notre étude de terrain à Saint-Rémy-lès-Chevreuse et de nos expériences