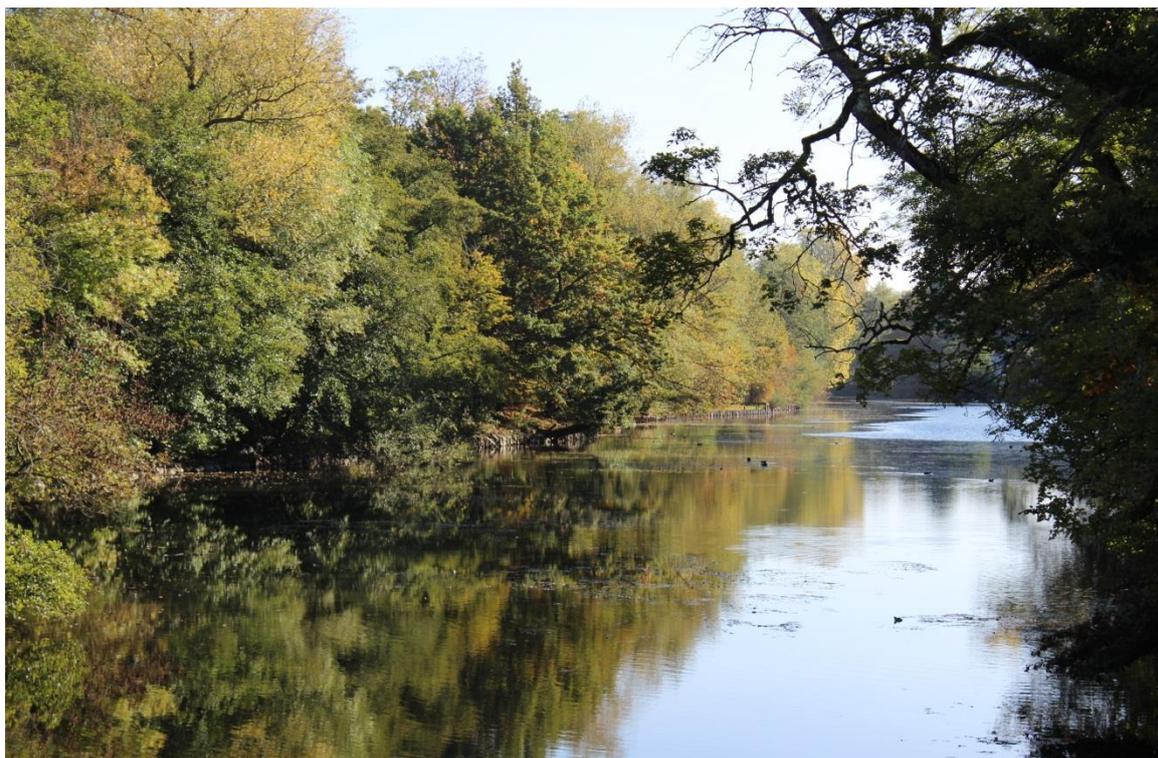


Etude du fonctionnement hydro-sédimentaire de la rivière Loiret

Juillet 2016

Stage de fin d'étude ingénieur ENGEES – Master de Géographie environnementale
Tuteur de stage : Carine BIOT, Animatrice du SAGE Val Dhuy Loiret



Le Loiret – Bassin de la Mothe, octobre 2015 (©SAGE Val Dhuy Loiret)

Remerciements

Je remercie tout d'abord Carine BIOT de m'avoir permis de réaliser mon stage de fin d'étude au SAGE Val Dhuy Loiret et pour son encadrement.

Merci aux techniciens de rivière de l'association syndicale de la rivière Loiret (ASRL), Stéphane et Sylvain, pour leur aide sur le terrain.

Merci aussi à Adrien ALBER de la DREAL Centre pour ses conseils sur la démarche à mettre en place tout au long de cette étude.

Enfin, merci au personnel de l'Etablissement Public Loire pour son accueil chaleureux.

Sommaire

Introduction.....	9
1. Présentation du site d'étude.....	11
1.1. Le bassin versant du Loiret.....	11
1.1.1. Le réseau hydrographique.....	11
1.1.2. La topographie et la géologie.....	11
1.1.3. L'occupation du sol.....	12
1.2. Le réseau karstique.....	13
1.2.1. Le réseau karstique du Val d'Orléans.....	13
1.2.2. La source du Loiret et le phénomène d'inversac.....	15
1.3. Les bassins du Loiret.....	16
1.3.1. Les chaussées et les moulins.....	16
1.3.2. Le réseau de vannes.....	18
1.3.3. Le Loiret privé et le Loiret public.....	20
1.4. L'envasement du Loiret entre 2003 et 2006 (Géo-Hyd, 2009).....	20
1.4.1. L'épaisseur de vase en 2006 et l'évolution de la sédimentation entre 2003 et 2006 ..	20
1.4.2. L'origine et l'estimation des flux de matières en suspension en 2006 (Géo-Hyd, 2009)	22
2. L'évolution de l'envasement.....	25
2.1. Les caractéristiques des sédiments du Loiret.....	25
2.2. Les épaisseurs de vase dans les bassins du Loiret.....	26
2.2.1. Les mesures d'épaisseurs de sédiments.....	27
2.2.2. L'interpolation des épaisseurs de sédiments.....	28
2.2.3. Les volumes de sédiments dans chaque bassin.....	31
2.3. L'évolution entre 2006 et 2016.....	32
2.4. L'évolution suite à la crue de mai-juin 2016.....	37
3. La caractérisation des écoulements dans le Loiret.....	41
3.1. L'évolution des rejets urbains.....	41
3.1.1. L'évolution de l'urbanisation dans la partie Ouest du bassin versant du Loiret.....	41
3.1.2. Les principaux rejets.....	42
3.2. Les caractéristiques hydraulique des écoulements.....	43
3.2.1. Le découpage en tronçons homogènes.....	43
3.2.2. La ligne d'eau.....	43
3.2.2. Les débits.....	47

3.2.3.	Les profils en travers et les vitesses d'écoulement.....	50
3.3.	Les plantes envahissantes	52
3.4.	Les opérations de curage	54
3.5.	Schéma de synthèse.....	56
4.	Des facteurs explicatifs de la sédimentation des bassins du Loiret	59
4.1.	Les apports extérieurs en matière en suspension.....	59
4.1.1.	Les apports du Dhuy.....	59
4.1.2.	Les apports du bassin versant urbain.....	60
4.1.3.	Les plantes envahissantes	61
4.2.	La faible capacité de transport.....	62
4.2.1.	Le transport solide dans un cours d'eau	62
4.2.2.	Le transport solide dans le Loiret	65
4.3.	La gestion des vannes et les travaux	66
4.4.	Les opérations de curage	66
Conclusion générale		69
Bibliographie.....		71
Annexe 1 : Réalisation de la carte des épaisseurs de sédiments par méthode d'interpolation triangulaire sous Qgis.....		
		74
Annexe 2 : Vectorisation de la couche des épaisseurs de sédiments et extraction des épaisseurs dans chaque polygone sous Qgis.....		
		76
Annexe 3 : Etat des berges du Loire en mai 2016		
		78
Annexe 4 : Ligne d'eau dans le Loiret en 1932 (Source : IGN)		
		78
Annexe 5 : Localisation des points de mesure de la ligne d'eau.....		
		80
Annexe 6 : Profils en travers tracés par bassin		
		81
Annexe 6 : Répartition des plantes envahissantes dans le Loiret		
		85

Table des illustrations

Figure 1 : Bassin versant du Loiret	11
Figure 2 : Carte géologique du Val d'Orléans (Source : infoterre.brgm.fr)	12
Figure 3 : Occupation du sol sur le périmètre du SAGE Val Dhuy Loiret en 2006.....	13
Figure 4 : Carte des circulations karstiques du Val d'Orléans (SAGE Val Dhuy-Loiret, 2002)	14
Figure 5 : Le Bouillon, mai 2012 (©SAGE Val Dhuy Loiret)	15
Figure 6 : Bassins du Loiret.....	17
Figure 7 : Localisation des vannes a) au niveau du bassin de Saint Santin b) au niveau des bassins de Saint Julien et de la Mothe	19
Figure 8 : Epaisseurs de vase en 2006 (Géo-Hyd, 2009)	21
Figure 9 : Variation de l'épaisseur de sédiments entre 2003 et 2006	22
Figure 10 : Analyse des sédiments du bassin de Saint Samson (Chassiot, 2016).....	26
Figure 11 : Localisation des transects et points de mesure des épaisseurs de sédiments	27
Figure 12 : Découpage de la partie aval du Loiret non domaniale par la méthode de la triangulation de Delaunay.....	28
Figure 13: Epaisseurs de sédiments dans le Loiret non domaniale, le Bras des Montées et le Couasnon	30
Figure 14: Evolution des épaisseurs de sédiments dans le Loiret non domaniale entre 2006 et 2016..	35
Figure 15: Déversoir de Saint Samson - 3 juin 2016 (©SAGE Val Dhuy Loiret).....	37
Figure 16 : Evolution des épaisseurs de sédiments après la crue de mai-juin 2016.....	38
Figure 17 : Dépôts sableux à l'aval de la confluence avec Dhuy (au niveau du camping) – 29 juin 2016 (© SAGE Val Dhuy Loiret).....	39
Figure 18 : Banc de sédiment dans le bassin de Paul Forêt - 29 juin 2016 (© SAGE Val Dhuy Loiret)..	39
Figure 20 : Ecoulement à l'amont de la nouvelle vanne du Rondon - 3 juin 2016 (© SAGE Val Dhuy Loiret)	40
Figure 20 : Déversement au-dessus de la chaussée des Tacreniers au niveau du moulin du Rodon - 3 juin 2016 (©SAGE Val Dhuy Loiret).....	40
Figure 21 : Evolution de l'urbanisation dans la partie Ouest du bassin versant du Loiret.....	41
Figure 22 : Rejets d'eaux pluviales recensés comme "points noirs" par l'Agglo	42
Figure 23 : Ligne d'eau dans le Loiret suivant le tracé 1 – 22 mars 2016.....	45
Figure 24: Cote de la ligne d'eau dans le Loiret suivant le tracé 2 – 22 mars 2016	45
Figure 25: Grille du parc floral de la Source, 22 mars 2016 (© Stéphane THAUVIN)	46
Figure 26 : ADCP utilisé pour le jaugeage des vannes du Loiret (© SAGE Val-Dhuy Loiret)	48
Figure 27 : Mesures d'une section du Loiret en amont de deux vannes par ADCP (© SAGE Val Dhuy Loiret)	48
Figure 28 : Profil de vitesse mesuré avec un ADCP (Rousseau et al., années inconnue).....	49
Figure 29 : Localisation des profils en travers sur le Loiret privé	50
Figure 31 : Le bassin de Saint-Samson pendant l'été 2015 (© SAGE Val Dhuy-Loiret).....	53
Figure 32 : Schéma de synthèse des caractéristiques hydrauliques du Loiret.....	57
Figure 33: Confluence avec le Dhuy - 10 février 2016 (© SAGE Val Dhuy Loiret).....	60
Figure 34 : Cycle de vie de l'Egérie dense dans un canal d'irrigation au Japon (Haramoto & Ikusima, 1987).....	62
Figure 35 : Diagramme d'Hjuström	63
Figure 36 : Différents modes de transport des particules dans un cours d'eau (Malavoi et al., 2011)	64

Table des tableaux

Tableau 1: Cotes légales de retenue dans les bassins du Loiret (source : ASRL)	18
Tableau 2 : Volume et épaisseurs moyenne de sédiments dans les bassins du Loiret en mars 2016 ..	31
Tableau 3: Erreur maximale sur les volumes de sédiments dans chaque bassin dues aux approximations de mesure sur le terrain	32
Tableau 4 : Volumes et épaisseurs moyenne de sédiments dans les bassins du Loiret	34
Tableau 5 : Volumes et épaisseurs moyennes de sédiments dans les principales zoens de sédimentation	36
Tableau 6 : Hauteurs de chute entre les bassins - juin 1932.....	44
Tableau 7 : Pente moyenne de la ligne d'eau du Loiret - juin 1932	44
Tableau 8: Cote de la surface de l'eau dans la Loire et à la source du Bouillon - 22 mars 2016.....	44
Tableau 9 : Hauteur de chute entre les bassins du Loiret - 22 mars 2016.....	46
Tableau 10 : Pente moyenne de la ligne d'eau du Loiret - 22 mars 2016	47
Tableau 11: Mesures de débits dans le Loiret.....	49
Tableau 12: Vitesses d'écoulement dans le Loiret privé	51
Tableau 13: Estimation de la largeur d'un cours d'eau de même débit que le Loiret en régime permanent uniforme	52
Tableau 14 : Opération de curage dans les bassins du Loiret et le Bras des Montées depuis 1969.....	55
Tableau 15 : Taux de sédimentation du bassin de Saint Samson entre 1977 et 2013.....	60
Tableau 16: Mode de transport des particules en fonction de la valeur du paramètre de Shields.....	65

Introduction

Le périmètre du SAGE Val Dhuy Loiret a été fixé par arrêté préfectoral en janvier 1999. Ses limites sont celles du bassin versant du Loiret et couvre 21 communes. Il s'agit du plus petit SAGE du bassin Loire-Bretagne.

La phase d'élaboration du SAGE a débuté en 2001 et a été adoptée par la Commission Locale de l'Eau (CLE) le 17 octobre 2009. La mise en œuvre est assurée par l'Etablissement public Loire, structure porteuse du SAGE, qui met à disposition de la CLE les moyens administratifs et financiers nécessaires à son fonctionnement.

En 2014, les acteurs du territoire ont réalisé un bilan des actions conduites sur le Dhuy de 2008 à 2012 et ont établi un programme d'action 2016-2020. Ils ont souhaité y inscrire une étude complète sur le Loiret. Les dernières données sur la sédimentation du Loiret datant de 2006, leur mise à jour est apparue comme un préalable indispensable à la conduite de cette étude plus globale.

L'étude de la sédimentation du Loiret a deux objectifs. Les mesures effectuées en 2003 et 2006 ont révélées d'importants volumes de sédiments stockés dans les bassins du Loiret et un fort taux de sédimentation durant cette période.

Le premier objectif consiste donc à étudier l'évolution de la sédimentation ces dix dernières années, afin de voir si cette tendance se confirme globalement et localement. D'autre part, il s'agit de s'intéresser à la répartition des stocks de sédiments, d'essayer de comprendre pourquoi les épaisseurs de vase sont plus importantes dans certaines zones que d'autres.

1. Présentation du site d'étude

Le Loiret prend sa source dans le Parc Floral d'Orléans et rejoint la Loire à la pointe de Courpain sur la commune de Mareaux-aux-Prés, seulement 11,5km en aval de sa source.

Son principal affluent est le Dhuy. Il s'écoule sur une distance de 33km avant de se jeter dans le Loiret, environ 1 km en aval de sa source. Ces principaux affluents sont l'Ousson, la Marmagne et le Morchène. Ils drainent principalement des zones agricoles. On y compte notamment de nombreux exutoires de réseaux de drainage.

Les autres affluents du Loiret sont, d'amont en aval, le Bras de Bou, le Bras des Montées, et la Pie. Ils sont principalement alimentés par des résurgences karstiques et les rejets d'eaux pluviales.

1.1. Le bassin versant du Loiret

1.1.1. Le réseau hydrographique

Le bassin versant du Loiret (figure 1) couvre une superficie de 330 km². Il s'étend, d'Est en Ouest, de Sully-sur-Loire à la pointe de Courpain. Il est délimité au Nord par les digues de la Loire et au Sud par le plateau de Sologne.

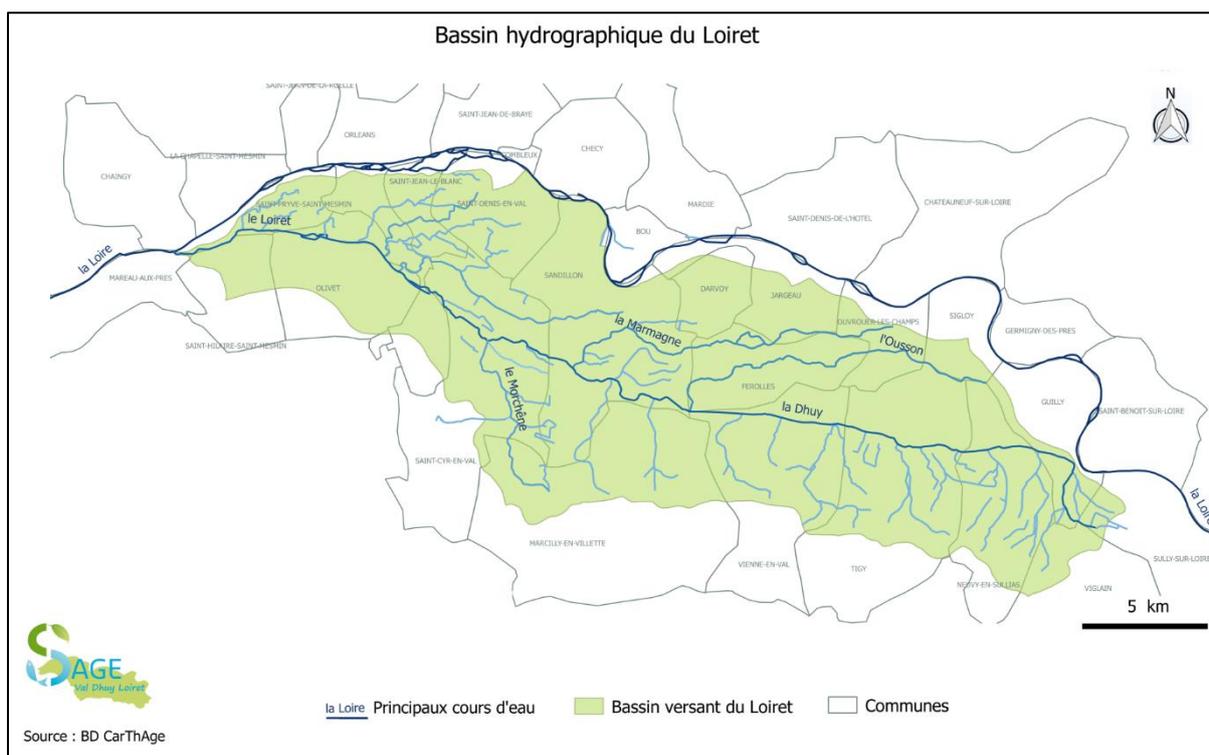


Figure 1 : Bassin versant du Loiret

1.1.2. La topographie et la géologie

Le bassin versant du Loiret se trouve dans une région très plate. La pente moyenne est de l'ordre de 1%. (SAGE Val-Dhuy Loiret, 2002)

Le Loiret et ses affluents s'écoulent dans l'ancien lit majeur de la Loire. Le sous-sol est donc constitué, dans sa couche supérieure de matériaux déposés par la Loire. Il se compose ainsi d'une

couche de 5 à 15 mètres de sable et de graviers alluviaux récents reposant sur les calcaires de Beauce (Figure 2).

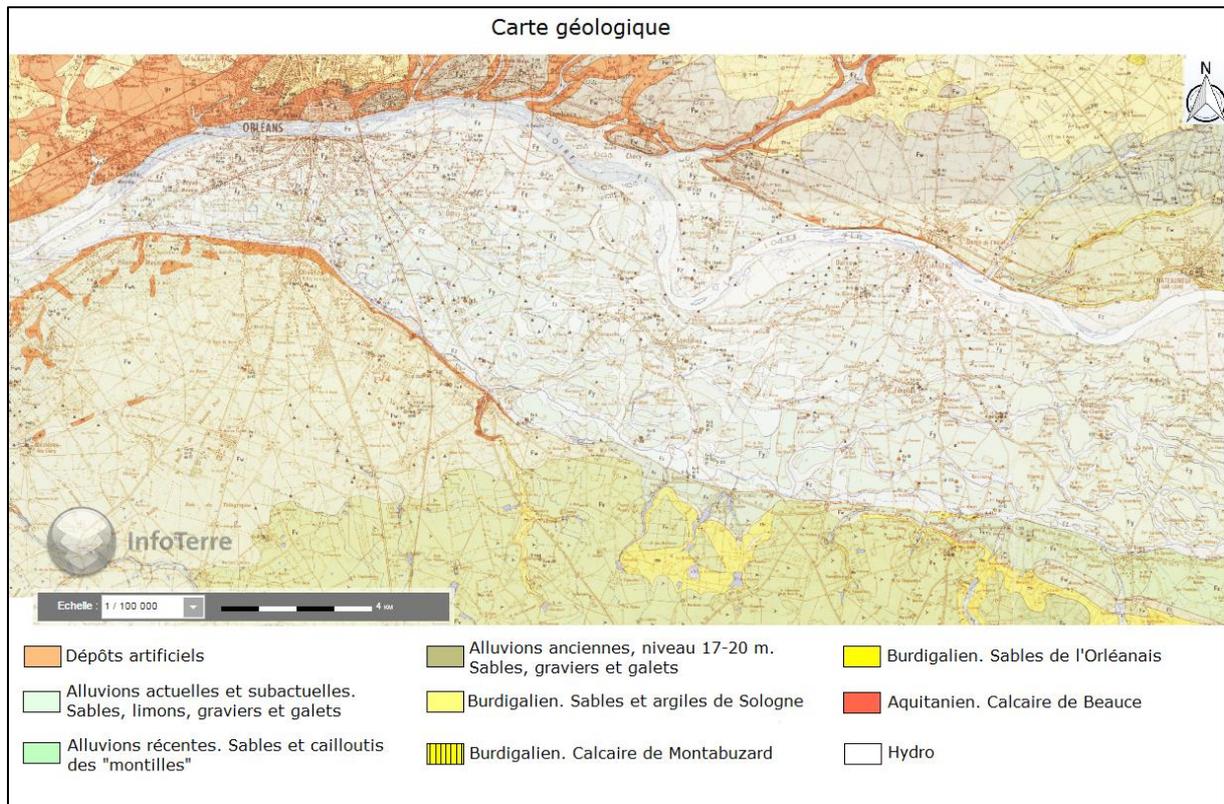


Figure 2 : Carte géologique du Val d'Orléans (Source : infoterre.brgm.fr)

1.1.3. L'occupation du sol

L'occupation du sol dans le bassin versant a beaucoup évolué au cours des siècles. Autrefois cette zone était régulièrement inondée par les crues de la Loire. Elle était ainsi « inhabitable pendant six mois de l'année » (D'Illiers, 1952).

L'aménagement du Val a débuté au début du Moyen-Âge. Dès le 10^{ème} siècle, de petites digues ont été construites pour freiner l'écoulement de l'eau en cas de crue. Les premières « levées », protégeant toute la zone contre les inondations furent construites à la fin du Moyen-Âge.

L'amélioration des digues existantes, la construction de nouvelles digues et la canalisation des cours d'eau se poursuivirent au fil des siècles. A partir des années 50, le sentiment de sécurité procuré par les digues a favorisé l'urbanisation de la périphérie d'Orléans au Sud de la Loire. Ainsi, comme nous pouvons le voir sur la figure 3, la partie Ouest du bassin versant du Loiret est très urbanisée tandis que l'Est est majoritairement occupé par des terres agricoles.

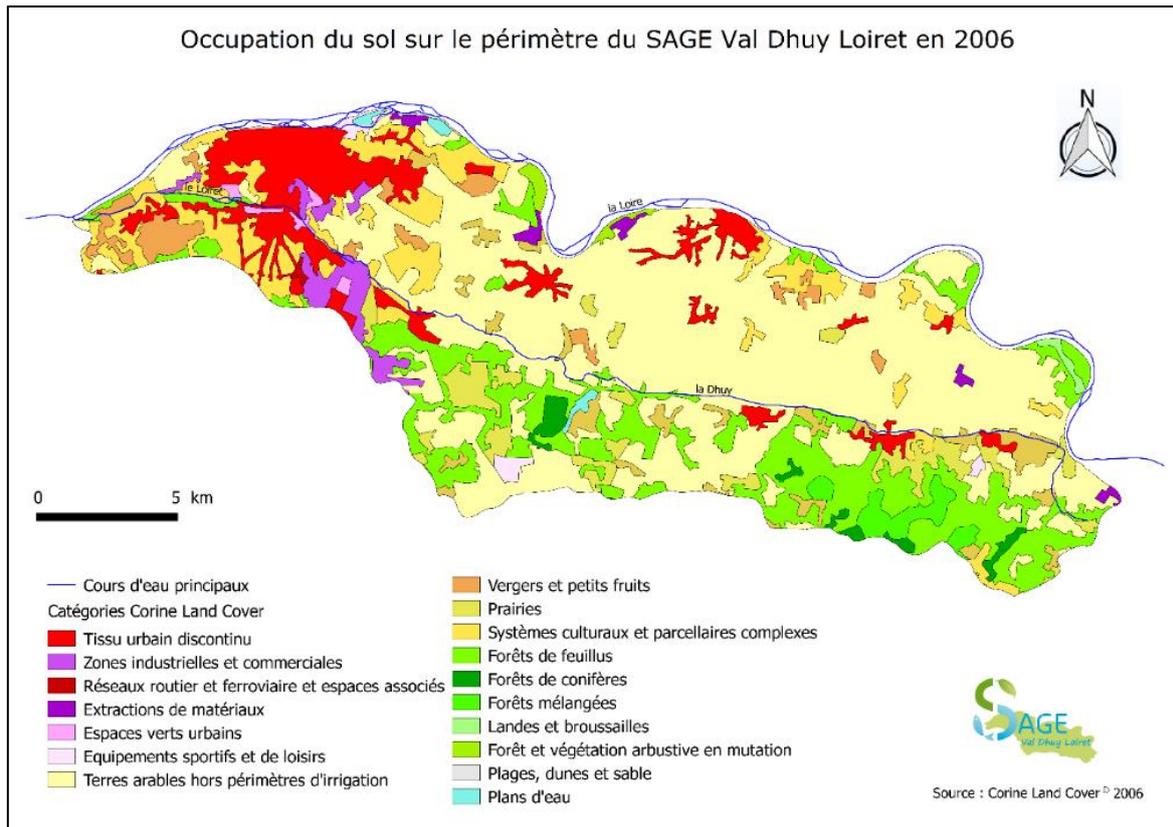


Figure 3 : Occupation du sol sur le périmètre du SAGE Val Dhuy Loiret en 2006

1.2. Le réseau karstique

1.2.1. Le réseau karstique du Val d'Orléans

L'une des particularités des calcaires de Beauce, qui compose la partie inférieure du sol du bassin versant, est son réseau karstique très développé. Des traçages colorimétriques ont permis de mettre en évidence un certain nombre de liaisons pertes-résurgences dans le Val. Celles-ci sont représentées sur la figure 4. Une zone très importante de pertes en Loire se situe au niveau de la ville de Jargeau. Le débit moyen d'infiltration a été estimé à 15 à 20 m³/s et peut atteindre 100 m³/s en période de crue (SAGE Val Dhuy-Loiret, 2002).

De nombreuses résurgences ont été mises en évidence dans le Loiret et ses affluents. L'ARSL en a ainsi localisé 13 dans le Bras de Bou, 35 dans les bassins du Loiret privé et 51, en moins de 2 km, dans le Bras des Montées.

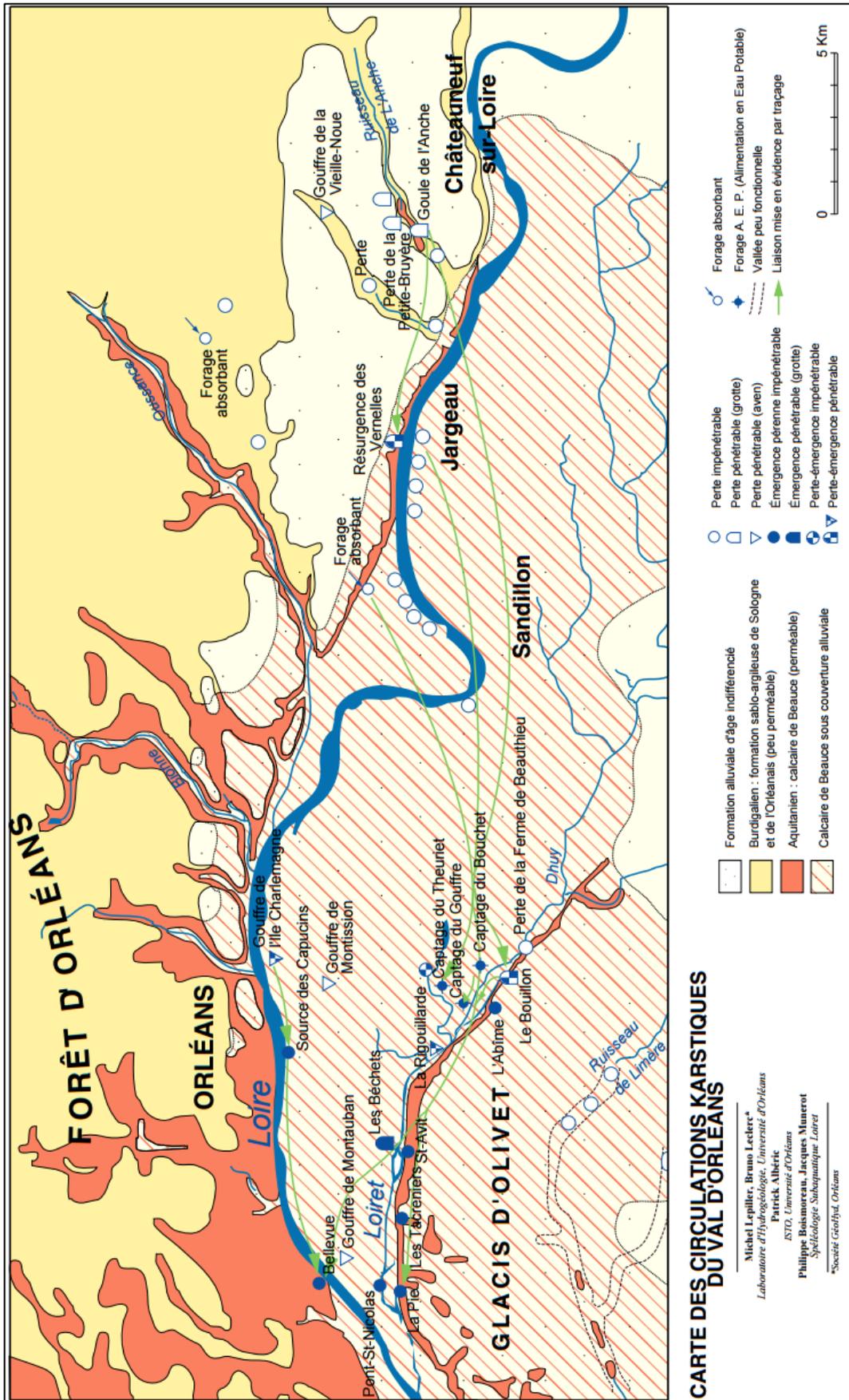


Figure 4 : Carte des circulations karstiques du Val d'Orléans (SAGE Val Dhuy-Loiret, 2002)

1.2.2. La source du Loiret et le phénomène d'inversac

Le Loiret prend sa source au Bouillon dans le Parc Floral de la Source d'Orléans. Une source secondaire, l'Abîme, se trouve 300 mètres en aval du Bouillon.



Figure 5 : Le Bouillon, mai 2012 (©SAGE Val Dhuy Loiret)

Ces deux sources sont alimentées par les pertes en Loire, via le réseau karstique. Des traçages colorimétriques effectués par la faculté d'Orléans ont notamment montré qu'elles sont en partie alimentées par les pertes de la Loire au niveau de l'ancienne carrière d'extraction de granulats de Darvoy, à proximité de Jargeau.

Le débit de ces sources dépend ainsi fortement de la hauteur d'eau de la Loire à l'amont d'Orléans. Des mesures ponctuelles de débits, réalisées par le SRAE Centre¹ entre 1969 et 1987, au niveau de la source du Bouillon permettent d'estimer son débit moyen sur cette période à 0.89 m³/s, avec un minimum à 0.15 m³/s et un maximum à 2.0 m³/s.

De nombreuses résurgences viennent augmenter le débit tout le long de son cours. Cependant elles restent difficiles à détecter et à localiser. De plus, les mouvements du karst peuvent fortement influencer les débits de ces résurgences, en faire apparaître de nouvelles et en faire disparaître d'autres.

Il a été estimé, en 2011, que les apports de la Loire via le réseau karstique représentent plus de 86% du débit du Loiret. (Binet *et al.*, 2011)

Du fait de son alimentation karstique, le Loiret a la particularité, occasionnellement, de s'écouler de l'aval vers l'amont. Ce phénomène, appelé inversac, se produit généralement en période de basses eaux de la Loire et de hautes eaux du Dhuy, lorsque la cote piézométrique des sources du Loiret est supérieure à la cote piézométrique des pertes en Loire qui les alimentent. Les sources fonctionnent alors en pertes. Il peut durer de plusieurs heures à plusieurs jours. (Binet *et al.*, 2011)

Jusqu'à la fin du 19^{ème} siècle, le Loiret comptait une autre source importante : le Gouffre, aussi appelé le Gesvre. Située à la confluence avec le Dhuy, elle avait la particularité, selon la légende, de

¹ SRAE : Service Régional de l'Aménagement des Eaux, remplacé aujourd'hui par la DREAL

fonctionner fréquemment en inversac l'été, absorbant les eaux du Dhuy. (d'Illiers, 1952). La source du Gouffre a aujourd'hui totalement disparu. Au cours de l'hiver 1879, de nombreux arbres y sont tombés et l'ont obstruée. Par la suite, il semblerait que des gravats et du ciment provenant d'un chantier proche y aient été déversés, rendant définitivement impossible la désobstruction de cette source. (d'Illiers,1952)

Des inversacs ont aussi été observés à plusieurs reprises au niveau de la source du Bouillon à la fin des années 90 et au début des années 2000. (SAGE Val Dhuy-Loiret, 2002) Cependant, ce phénomène ne semble pas s'être reproduit depuis plusieurs années au niveau des sources de l'Abîme et du Bouillon (ASRL).

1.3. Les bassins du Loiret

1.3.1. Les chaussées et les moulins

Le Loiret, tel qu'on le connaît aujourd'hui, a été totalement créé par l'Homme. Son aménagement a débuté dès le début du Moyen-Âge. Les moines de Micy ont complètement redessiné le tracé du cours d'eau afin de drainer les terres pour les rendre cultivables et de valoriser la force hydraulique (D'Illiers, 1952).

Cinq barrages, appelés chaussées, ont été construits. Ces chaussées ont transformé le cours d'eau en une succession de bassins, présentés en figure 6. Quatorze moulins sont répartis sur ces chaussées :

- le Moulin de Saint Samson (du bassin de Saint Samson vers celui de Saint Julien)
- le Moulin de Saint Julien (du bassin de Saint Julien vers le Bras de la Fontaine)
- le Moulin de la Mothe (du bassin de Saint Julien vers celui de la Mothe)
- le Moulin des Béchets (du bassin de la Mothe vers celui des Tacreniers)
- le Moulin du Bac (du bassin de la Mothe vers celui des Tacreniers)
- le Moulin du Rondon (du bassin des Tacreniers vers celui de la Grande Brayé)
- le Moulin des Tacreniers et le Moulin de l'Île (du bassin des Tacreniers vers celui de Saint Santin)
- le Moulin des Cascades, le Petit Moulin, le Moulin des Quatre Nations, le Moulin Brûlé, le Moulin rouge et le Moulin des Moines (des bassins de Saint Santin et la Grande Brayé vers le Loiret public)

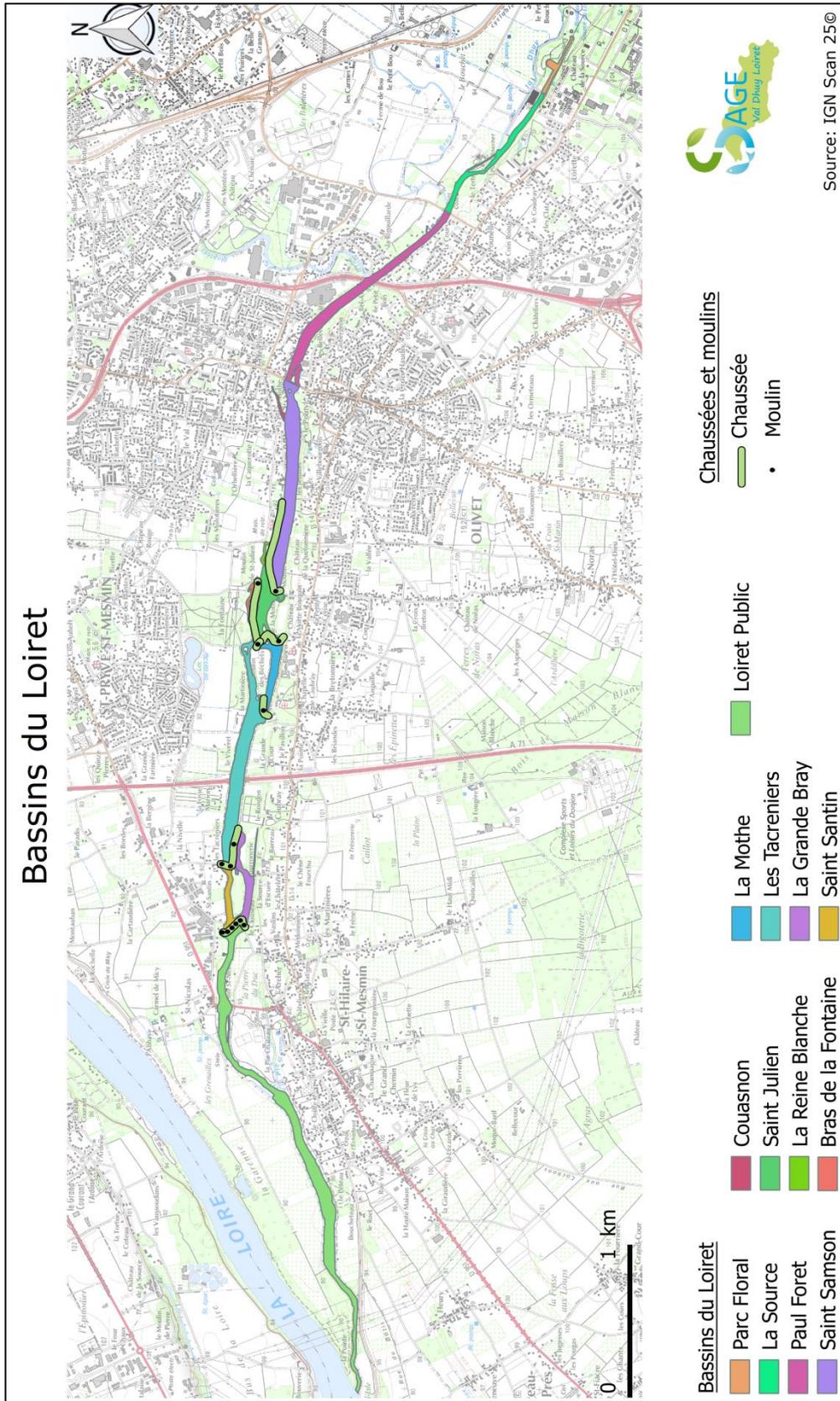


Figure 6 : Bassins du Loiret

1.3.2. Le réseau de vannes

Afin d'assurer le bon fonctionnement de tous ces moulins un important réseau de vannes a été mis en place. Chaque moulin compte une vanne de roue et une ou plusieurs vannes de décharge. Les vannes de roue, comme leur nom l'indique, alimentent le mécanisme du moulin. Les vannes de décharge, quant à elles, sont utilisées pour réguler le niveau d'eau dans les bassins.

Lorsque les moulins étaient encore en activité, les vannes de roue étaient ouvertes en permanence. L'ouverture des vannes de décharge dépendait du niveau d'eau rapport à la cote de retenue légale du bassin fixée par un règlement d'eau (Tableau 1). Elles étaient par exemple fermées en période d'étiage et complètement ouvertes en période de hautes eaux.

Tableau 1: Cotes légales de retenue dans les bassins du Loiret (source : ASRL)

Bassin	Cote légale de retenue (IGN69)
Saint Samson	90.87
Saint Julien	90.59
La Mothe	90.41
Les Tacreniers	89.87
Saint Santin	89.32
La Grande Brayé	

Aujourd'hui tous les moulins ont cessé leur activité et ont été reconvertis en logement. Un seul propriétaire fait encore tourner, occasionnellement, la roue de son moulin. Les règlements d'eau sont théoriquement toujours en vigueur mais dans la pratique, la cote légale de retenue n'est plus maintenue, notamment en été. Certaines vannes restent constamment ouvertes afin de conserver une circulation d'eau entre les différents bassins.

En 2012, de nouvelles vannes ont été construites afin de faciliter les écoulements en cas de crue : 3 vannes du bassin de Saint Samson vers celui de Saint Julien, 3 vannes du bassin de Saint Julien vers le bras de la Fontaine, 1 vanne du bassin des Tacreniers vers la Grande Brayé.

Au total, on compte 42 vannes et 7 déversoirs sur l'ensemble du Loiret privé. La localisation précise de ces ouvrages est présentée en figure 7.

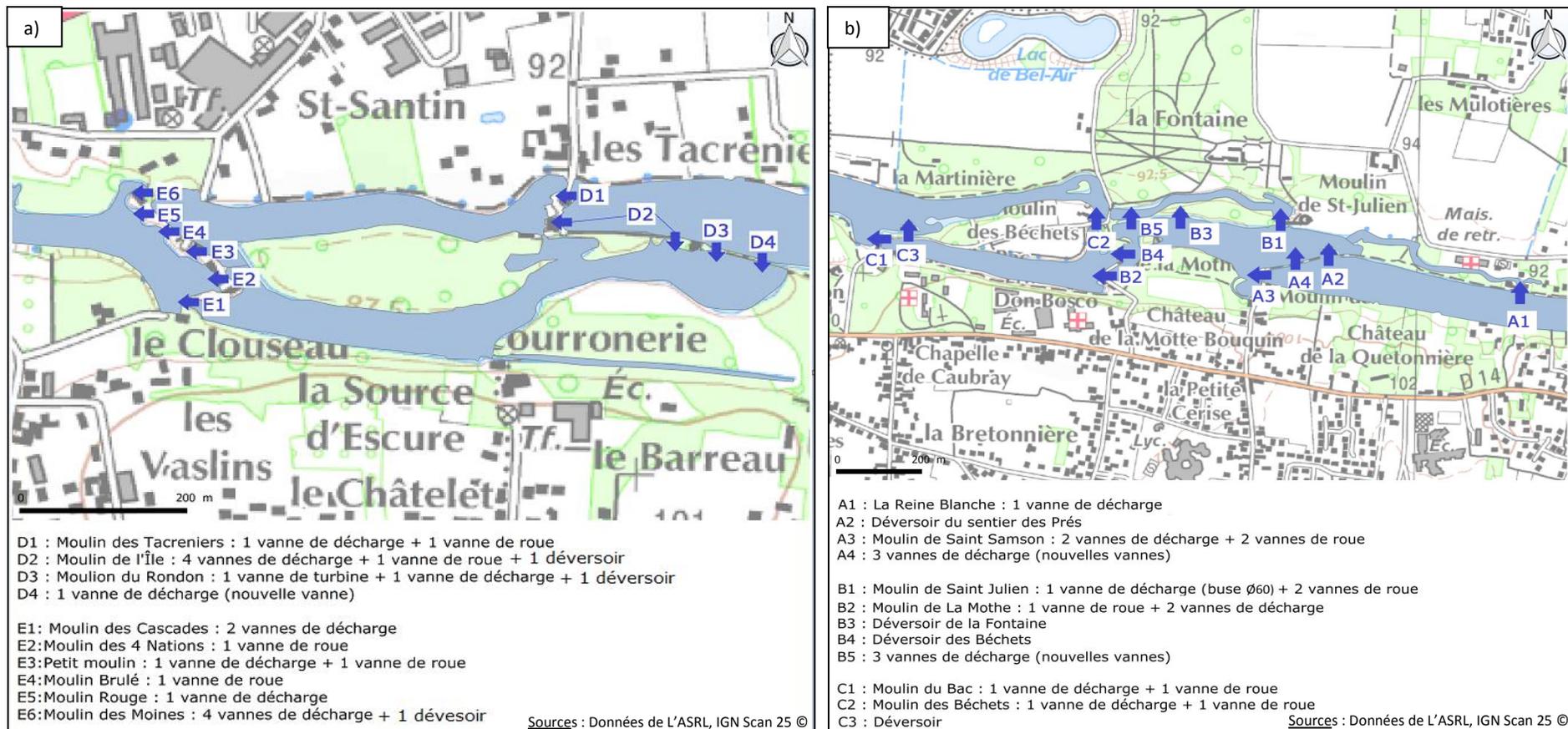


Figure 7 : Localisation des vannes a) au niveau du bassin de Saint-Santin b) au niveau des bassins de Saint-Julien et de la Mothe

1.3.3. Le Loiret privé et le Loiret public

Le Loiret a un statut particulier : les deux tiers de son linéaire, de la source du Bouillon à la chaussée de Saint Santin, sont privés.

Ce statut particulier est hérité du Moyen-Âge. Suite à l'aménagement d'une partie du Loiret, les communautés religieuses installées sur ces rives en acquièrent les droits de propriété, qui se sont transmis au fil des siècles. (D'Illiers, 1952)

Aujourd'hui, le Loiret privé est partagé entre 410 propriétaires-riverains. Chaque propriétaire d'un terrain sur les berges du cours d'eau est aussi propriétaire d'une partie de son lit mineur, de la largeur de la berge, du bord jusqu'au milieu du lit. Les propriétaires de moulins possèdent, en plus de leur habitation, la partie de la chaussée sur laquelle est implanté le moulin et les vannes du moulin. Enfin, ils sont libres d'ouvrir ou fermer les vannes de leur moulin comme ils le souhaitent.

Chaque propriétaire est, théoriquement, chargé de l'entretien des berges et du lit du cours d'eau qu'il possède et/ou de la partie de la chaussée qu'il habite et de ses vannes.

En contrepartie, chaque propriétaire possède un droit de navigation, de pêche et de prélèvement d'eau dans le Loiret. Les prélèvements d'eau dans ce cadre sont aujourd'hui anecdotiques.

Afin de faciliter la gestion du Loiret, l'ensemble des propriétaires s'est réuni en une association, l'Association Syndicale de la Rivière Loiret (ASRL). Elle emploie deux techniciens de rivière chargés de la gestion et de l'entretien des vannes et de l'entretien du lit du Loiret.

L'entretien du Loiret public est géré par le Syndicat Intercommunal du Bassin du Loiret (SIBL). Ce syndicat regroupe 18 des 21 communes du SAGE et est aussi en charge de la gestion des ouvrages et de l'entretien du lit du Dhuy, de l'Ousson et de la Marmagne.

1.4. L'envasement du Loiret entre 2003 et 2006 (Géo-Hyd, 2009)

Le Loiret privé connaît depuis plusieurs décennies d'importants problèmes d'envasement. Au cours du 20^{ème} siècle, de nombreuses opérations de curages ont été menées afin de retirer les sédiments stockés dans les bassins. Dans la cadre de l'élaboration du SAGE un état des lieux exhaustif des épaisseurs et volumes de sédiments dans le Loiret a été réalisé en 2003.

Une étude portant sur « La détermination des origines des sédiments des bassins du Loiret » a par la suite été menée par le bureau d'étude Géo-Hyd entre 2006 et 2009. Les principaux objectifs de cette étude étaient :

- Réaliser un constat de l'état de l'envasement des différents bassins du Loiret
- Quantifier et caractériser les origines et la physico-chimie des sédiments transportés

1.4.1. L'épaisseur de vase en 2006 et l'évolution de la sédimentation entre 2003 et 2006

La précédente campagne de mesure des épaisseurs de sédiments s'est déroulée du 3 au 12 octobre 2006, le long de 125 transects répartis de la confluence avec le Dhuy à la chaussée de Santin (dont 24 dans le Bras des Montées). Les transects et points de mesures sont les mêmes que ceux

mesurées lors de la présente campagne de mesure en 2003. Cependant, en 2003, les mesures ont été réalisées au mois de mai (en période de hautes eaux) et en période d'étiage en 2006.

En 2006, le volume de vase stocké dans les bassins du Loiret, le bras de Bou et le bras des Montées était d'environ 400 000 m³.

Les ¾ des sédiments étaient stockés dans les bassins de Paul Forêt, Saint Samson et des Tacreniers, qui sont aussi les trois plus grands bassins. Les épaisseurs de vase les plus importantes étaient localisées dans la partie amont du bassin de Paul Forêt (figure 8). On constate localement des variations de la répartition des vases dans les bassins qui peuvent s'expliquer par des changements locaux de l'hydrodynamique.

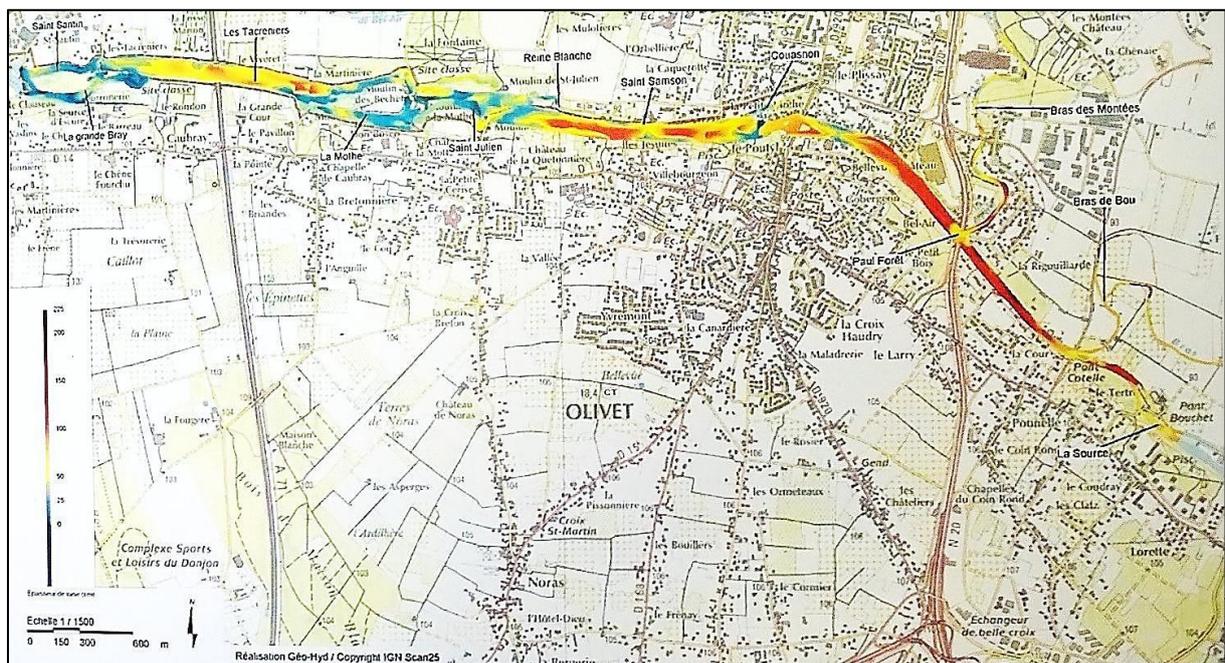


Figure 8 : Epaisseurs de vase en 2006 (Géo-Hyd, 2009)

Sur l'ensemble des bassins du Loiret, le bras de Bou et le bras des Montées, le bilan sédimentaire entre 2003 et 2006 est positif, avec une augmentation moyenne de 20%, soit un taux de sédimentation de +2,9 cm/an.

La sédimentation n'est pas identique dans tous les bassins. Les sédiments se sont principalement accumulés à l'aval et plus particulièrement dans le bassin des Tacreniers (figure 9), où les épaisseurs de vase étaient les plus faibles en 2003. La sédimentation des bassin de Paul Forêt et Saint Samson semble quant à elle relativement stable.

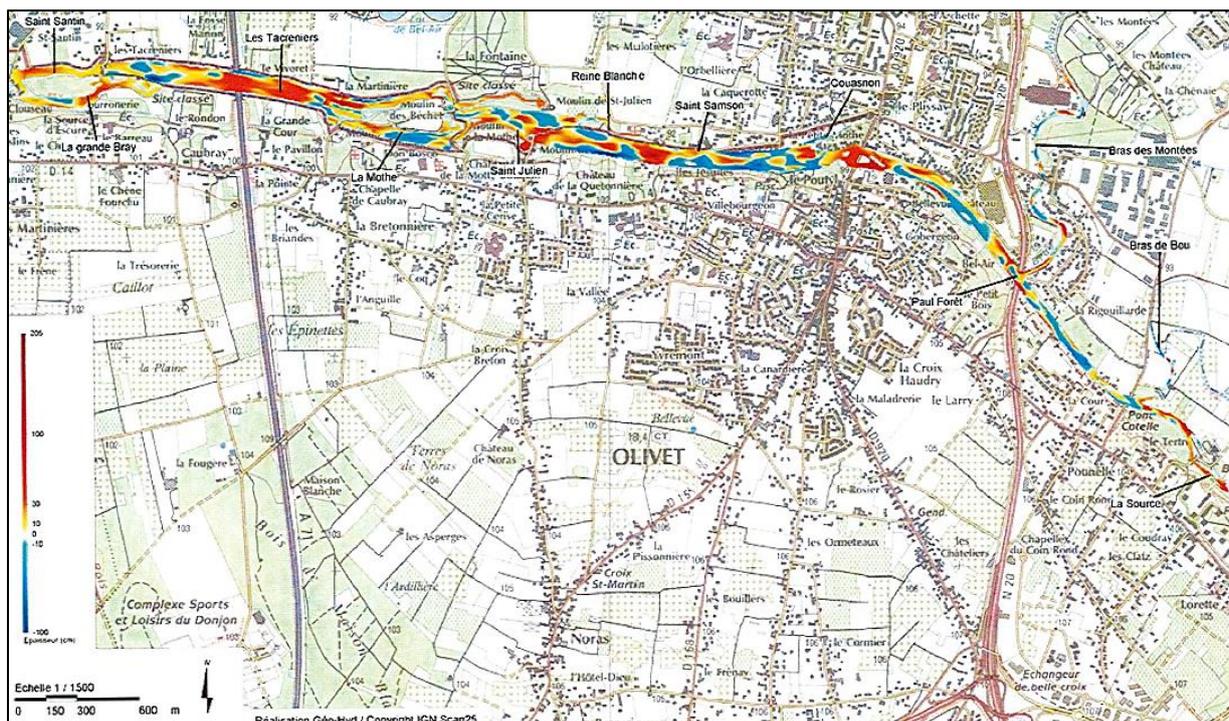


Figure 9 : Variation de l'épaisseur de sédiments entre 2003 et 2006

Lors du diagnostic du SAGE réalisé sur la période 1991-2003, le taux de sédimentation était estimé à 1.8 cm/an. Il y a donc une augmentation du taux d'accumulation sur la période 2003-2006.

L'étude de carottes sédimentaires dans plusieurs bassins complète ces observations. Un changement dans le processus de sédimentation des bassins de Paul Forêt et Saint-Samson y est visible. Cela traduit un changement des conditions hydrauliques ces dernières années, probablement une baisse de l'hydraulicité. (Géo-Hyd, 2009)

Il n'a pas été constaté de changement significatif dans le bassin des Tacreniers. Il est cependant à noter qu'au vu des hauteurs de vase dans ce bassin, les carottes prélevées sont représentatives d'une période de temps plus courte que celle des autres bassins. (Géo-Hyd, 2009)

1.4.2. L'origine et l'estimation des flux de matières en suspension en 2006 (Géo-Hyd, 2009)

Les matières en suspension (MES) dans le Loiret ne proviennent pas d'une éventuelle remobilisation des sédiments de fonds mais principalement du Dhuy et du bassin versant urbain.

De l'amont vers l'aval on constate une augmentation de la taille moyenne des particules en suspension. Leur taille moyenne est aussi plus importante que celles des matières en suspension (MES) du Dhuy et des sources karstiques.

Au vu de leur composition, au moins 50% des MES présentes dans le bassin des Tacreniers entre janvier et mai 2007 ne proviennent ni du Dhuy ni des sources de l'Abîme et du Bouillon. L'hypothèse la plus probable est qu'elles proviennent des rejets urbains.

Parallèlement, l'analyse des MES du Dhuy a montré qu'elles étaient constituées de 28 à 55% de particules issues de l'érosion des sols.

Une estimation des apports en matières en suspension du Dhuy et du bassin versant urbain a été menée en période de hautes eaux et lors d'un évènement orageux en période de basses eaux du Dhuy.

Les mesures en hautes eaux ont été réalisées lorsque le débit été le plus important, le 6 et 7 mars 2007. Celui-ci était tout de même 3 à 5 fois plus faible que le débit journalier d'une crue biennale. Lors de cet évènement les apports en MES dans le Loiret s'élevèrent en moyenne à 13 tonnes, dont plus de la moitié (de 52 à 69 %) en provenance du Dhuy. En période de hautes eaux de nombreuses vannes sont ouvertes. Des mesures réalisées au niveau du bassin de Saint Samson et à l'aval ont ainsi montré qu'environ la moitié de ces MES sont expulsées vers l'aval.

Les mesures en période d'étiage ont été réalisées lors de l'orage du 4 juin 2007 (14 mm en 4h). Selon les estimations, en moyenne 45,7 tonnes de MES ont été envoyées vers le Loiret, dont plus de 80% en provenance du bassin versant urbain. De plus, en période de basses eaux, les vannes sont fermées afin de maintenir les hauteurs d'eau dans les bassins et empêchent l'évacuation des MES vers l'aval.

Quelques soient les conditions hydroclimatiques, les apports des sources karstiques sont négligeables.

A partir de ces deux évènements, une estimation des apports annuels du Dhuy et du bassin versant urbain a été réalisée. Les erreurs et approximation de mesure ne permettent pas d'avoir une estimation précise, cependant les apports du bassin versant urbain semblent être au moins comparables à ceux du Dhuy. Les apports du bassin versant urbain sont d'autant plus impactant qu'ils ont lieu durant l'été, la période la plus favorable à la sédimentation.

Enfin, l'ensemble des particules qui transitent dans le Loiret ne sédimentent pas. En moyenne 20 % des MES (les limons et les argiles) restent en suspension dans la colonne d'eau et finissent pas être évacuée vers la Loire.

L'étude de la sédimentation des bassins du Loiret est basée sur la démarche proposée par Malavoi et *al.* dans « Eléments de connaissance pour la gestion du transport solide en rivière ». Cette démarche se divise en deux grandes parties.

L'étude des apports solides recense et qualifie les zones d'apports externes et internes de sédiments. L'analyse des zones d'apports internes se fait notamment par une étude des zones d'érosion et une estimation des stocks de sédiments dans le lit mineur.

D'autre part une caractérisation des dysfonctionnements hydrosédimentaires est réalisée. Il s'agit d'identifier et localiser les principales zones de dépôts de sédiments et d'incision, ainsi que les principaux aménagements pouvant perturber le transport de sédiments.

Cette méthode a été adaptée au Loiret, en fonction de ses caractéristiques et des moyens techniques à disposition.

2. L'évolution de l'envasement

2.1. Les caractéristiques des sédiments du Loiret

Dans le cadre de cette étude, il n'a pas été réalisé d'analyses physico-chimiques sur les vases et MES du Loiret. Cependant, les mesures réalisées dans le cadre d'autres études nous permettent d'avoir des informations sur la composition des sédiments des bassins du Loiret.

Les sédiments d'un cours d'eau sont répartis en 6 classes en fonction de leur diamètre :

- les argiles : 0 -5 μm
- les silts/limons : 5 -50 μm (limons fins : 2 – 20 μm ; limons grossiers : 20 -50 μm)
- les sables : 50 μm – 2 mm (sables fins : 50 -200 μm ; sables grossiers : 200 μm – 2mm)
- les graviers : 2 – 20 mm
- les galets : 20 – 300 mm
- les blocs > 300 mm

La vase se définit comme un « sédiment meuble à forte teneur en eau, riche en particules de diamètre inférieur à quelques dizaines de micromètres, et contenant une faible quantité d'éléments plus grossiers (terrigenes ou biogènes) » (Dictionnaire Larousse). La vase se compose donc principalement d'argiles et de limons.

Lors de l'étude « Détermination des origines des sédiments des bassins du Loiret » une analyse granulométrique des sédiments des bassins a été réalisée. Ceux-ci étaient principalement constitués de sédiments fins (argiles, limons et sables). (Géo-Hyd, 2009)

Dans le cadre de sa thèse, Léo CHASSIOT s'est intéressé aux vases du Loiret, plus précisément aux sédiments stockés dans le bassin de Saint Samson. La figure 10 représente, en nuance de gris, les résultats de l'analyse granulométrique menée sur deux carottes prélevées dans la partie amont (LOI 13-2) et dans la partie aval (LOI 13-6) du bassin. Comme nous pouvons le constater les sédiments de ce bassin sont principalement composés de silts et de sables fins.

De plus, dans les 25 premiers centimètres le diamètre moyen (D50) des sédiments est plus élevé à l'amont qu'à l'aval. En effet, plus les sédiments sont grossiers, plus ils sont lourds et se déposent rapidement.

Plus en profondeur, en revanche, le D50 à l'aval est plus élevé que le D50 à l'amont. Cela rejoint les observations faites par Géo-Hyd en 2009 sur l'ensemble des bassins du Loiret : une augmentation de la taille moyenne des particules et des sédiments d'amont en aval. L'une des hypothèses émises pour expliquer ce phénomène étaient l'impact des rejets du bassin versant urbain, dont les MES ont un diamètre plus élevé que celles en provenance du Dhuy ou du karst

Les sédiments du Loiret sont donc un mélange de vase et de sable.

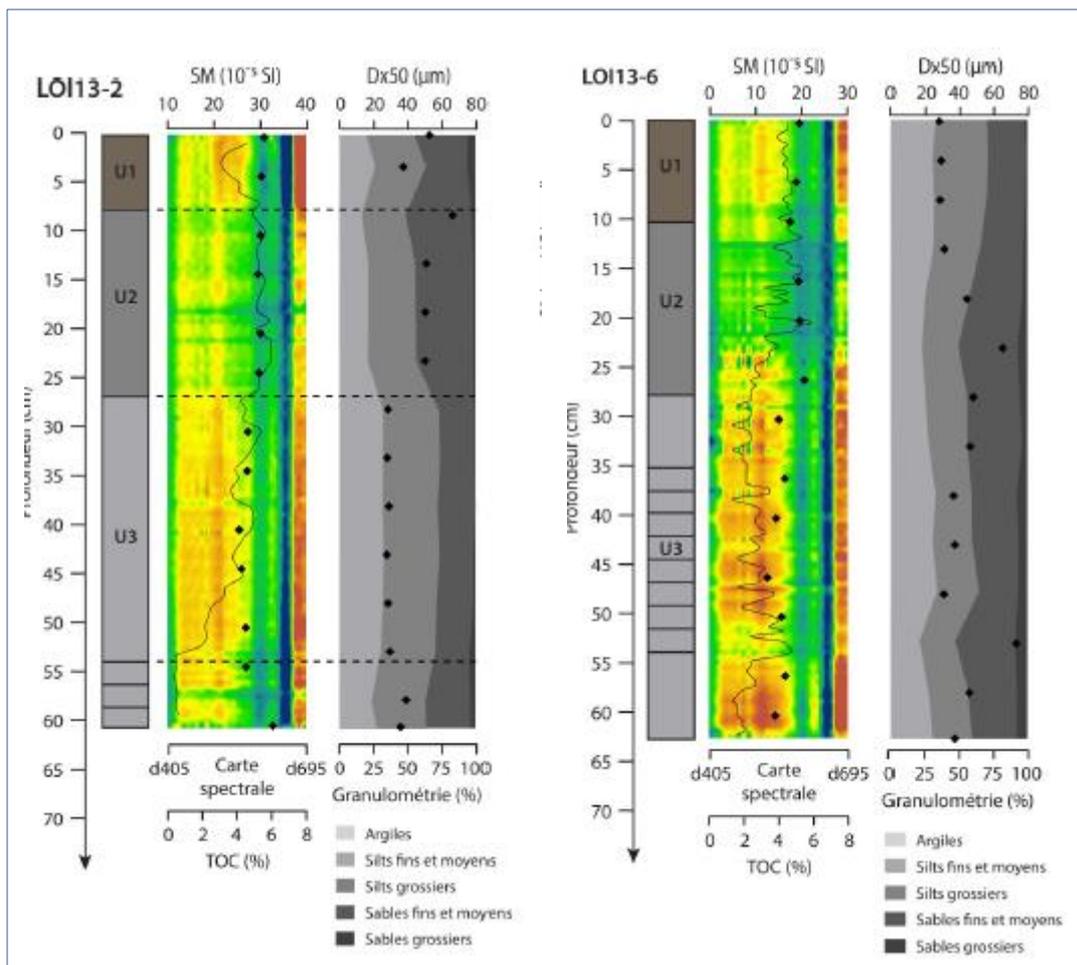


Figure 10 : Analyse des sédiments du bassin de Saint Samson (Chassiot, 2016)

Enfin, dans le cadre de cette même thèse, une recherche et analyse des résidus médicamenteux potentiellement présents dans les sédiments de ce bassin a été menée. De nombreuses molécules y ont été retrouvées. Les concentrations varient, en fonction des molécules de quelques nanogrammes et plusieurs centaines de nanogrammes. La majorité de ces molécules sont apparues dans les années 60, les sédiments stockés dans ce bassin sont donc relativement jeunes.

Dans les sédiments les plus proches de la surface, une baisse de la concentration en substances a été constatée, qui coïncide avec la déviation des rejets de la station de traitement des eaux usées de la Source vers la Loire.

Il a été estimé que l'ensemble des sédiments de ce bassin contiennent 36 kg de résidus médicamenteux.

2.2. Les épaisseurs de vase dans les bassins du Loiret

Afin d'étudier l'évolution de la sédimentation des bassins du Loiret, nous avons réalisé une nouvelle campagne de mesures des épaisseurs de sédiments et une nouvelle estimation des volumes stockés dans chaque bassin.

2.2.1. Les mesures d'épaisseurs de sédiments

Il existe différentes méthodes pour mesurer les épaisseurs de sédiments dans les cours d'eau et les retenues. L'une d'elle consiste à mesurer directement l'épaisseur de sédiments à l'aide d'un perche graduée enfoncée dans le lit du cours d'eau jusqu'au substrat. Pour chaque point de mesure, la hauteur d'eau et la hauteur eau + sédiments sont relevées, ce qui nous permet d'obtenir l'épaisseur de sédiments. La mesure de hauteur de vase est d'autant plus fiable que le contraste de compacité entre les vases et le substrat est élevé. (Maleval & Jigorel, 2002).

C'est cette technique qui a été utilisée lors des deux précédentes campagnes de mesure d'épaisseurs de vase dans le Loiret et certains de ses affluents. Facile à mettre en œuvre et peu coûteuse, nous avons choisi de conserver cette technique pour les mesures de la campagne 2016. De plus, cela nous permet d'obtenir des résultats comparables à ceux de 2003 et 2006.

La campagne de mesure des épaisseurs de vase dans les bassins du Loiret, le Bras des Montées et le Bras du Couasnon s'est déroulée du 14 au 30 mars 2016, avec l'aide des techniciens de rivière de l'ASRL. Les conditions hydrauliques étaient moyennes et sont restées stables durant toute la campagne de mesures.

Les mesures ont été effectuées selon 129 transects distants de 50 à 100 mètres. 1 à 7 points ont été mesurés le long de chaque transect en fonction de la largeur du lit. Cela représente un total de 396 points de mesures. La répartition des transects et des points de mesure est la même qu'en 2003 et 2006. Quelques points de mesures ont été ajoutés dans le Bras de la Fontaine, qui n'avaient pas été mesurés en 2003 et 2006. La localisation des transects ainsi que la répartition des points de mesures sont présentées en figure 11.

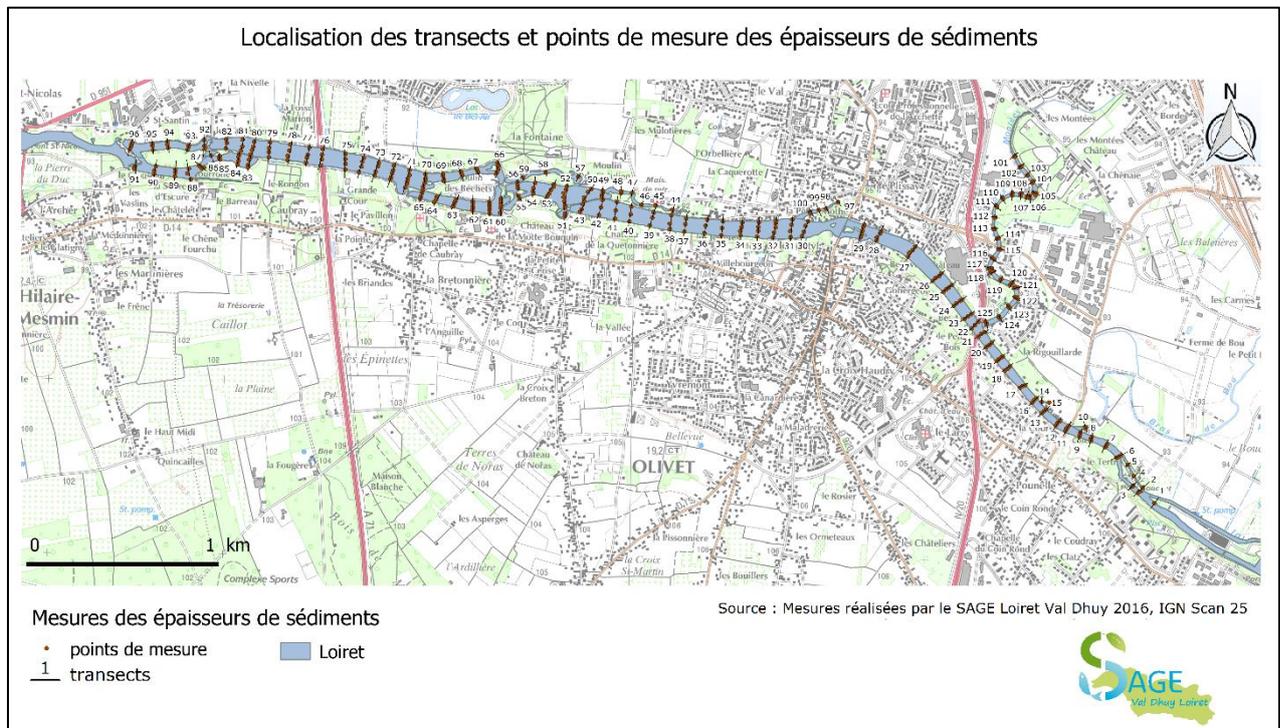


Figure 11 : Localisation des transects et points de mesure des épaisseurs de sédiments

Sur le terrain, il était difficile de se positionner exactement aux mêmes points de mesure qu'en 2003 et 2006. Afin d'avoir la position précise des points que nous avons mesuré, nous avons relevé leurs coordonnées GPS. La mesure a été réalisée avec un GPS haute précision (précision de 1 à 2 cm dans un lieu découvert et une situation stable). Cependant, la végétation des berges et le mouvement de la barge ne nous permettait pas parfois, d'avoir par endroit une précision supérieure à 20cm. Cette erreur reste tout à fait acceptable dans le cadre de nos mesures.

2.2.2. L'interpolation des épaisseurs de sédiments

Les mesures de terrain nous donnent, ponctuellement les épaisseurs de sédiments. L'interpolation de ces mesures permet d'obtenir une carte continue de la répartition des épaisseurs de vase et d'estimer le volume stocké dans chaque bassin.

La méthode retenue est celle de l'interpolation triangulaire, avec une résolution de 5 mètres. Le bras à droite de la confluence avec le Dhuy ou encore le bras de la Reine Blanche ont une largeur de l'ordre de 5 à 10 mètres. Une résolution de 5 mètres permet donc de tenir compte des épaisseurs de sédiments dans ces bras, tout en limitant le nombre de données à traiter par la suite sur les grands bassins. De plus, la répartition des points de mesure est telle que choisir une résolution plus précise ne permettrait pas d'obtenir d'informations supplémentaires sur la répartition des sédiments.

Il s'agit de la même méthode que celle utilisée lors des études précédentes. Les résultats obtenus seront ainsi directement comparables avec ceux de 2003 et 2006.

L'interpolation triangulaire se base, comme son nom l'indique, sur un découpage de la surface d'étude en triangles. Le module d'interpolation triangulaire du Système d'Information Géographique (SIG) Qgis découpe la surface en une somme de triangles tracés suivant la méthode de triangulation de Delaunay. Les sommets des triangles sont des points voisins les plus proches.

La figure 12 présente, à partir des mesures effectuées en 2016, le découpage des bassins des Tacreniers, de la Mothe et de Saint-Santin par la triangulation de Delaunay.

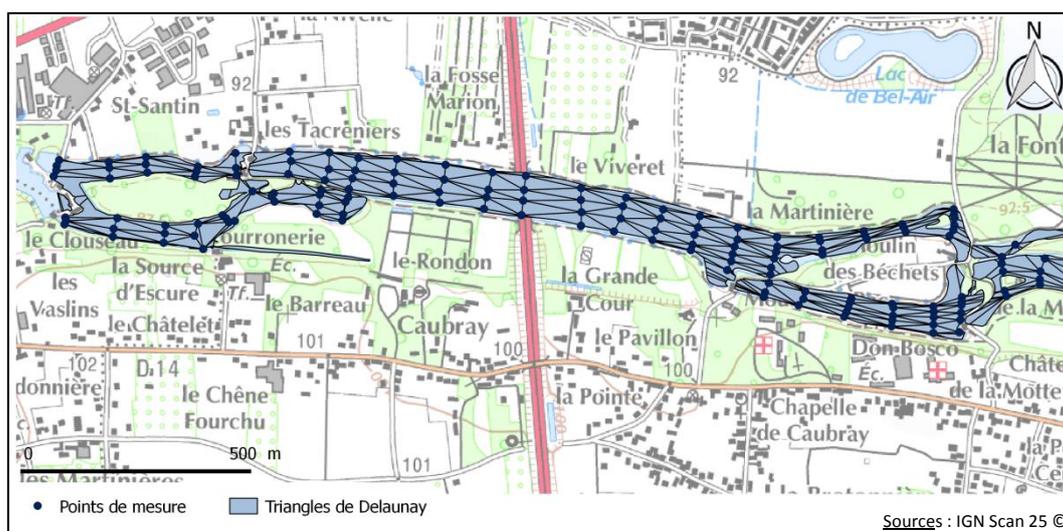


Figure 12 : Découpage de la partie aval du Loiret non domaniale par la méthode de la triangulation de Delaunay

La valeur d'un point inconnu à l'intérieur d'un triangle est ensuite déterminée par interpolation linéaire. La valeur du point inconnu est une combinaison linéaire des valeurs des trois sommets du triangle. Le poids de chaque sommet est déterminé en fonction de la surface du triangle qui lui est opposé. Ainsi, plus un point est proche d'un sommet plus sa valeur sera proche de celle du sommet. (Bossier, 2013)

La surface interpolée par cette méthode est limitée par les points les plus externes. Aucune extrapolation au-delà des points de mesure n'est possible. Cette surface est continue mais peut parfois avoir le désavantage d'avoir une apparence qui n'est pas lisse. (Qgis Documentation)

La démarche précise sous Qgis est présentée en Annexe 1.

Les épaisseurs de vase obtenues par interpolation sur l'ensemble de la zone d'étude sont représentées sur la carte en figure 13. Les épaisseurs de sédiments sont très importantes à l'amont, localement supérieures à 1,50 m.

Des zones d'accumulation ponctuelles sont aussi visibles dans les bassins de la Mothe et des Tacreniers. Enfin, dans les bassins de Saint Julien et de Saint Santin très peu des sédiments sont stockés.

Epaisseurs de sédiments interpolées sur l'ensemble du Loiret non domanial - Mars 2016

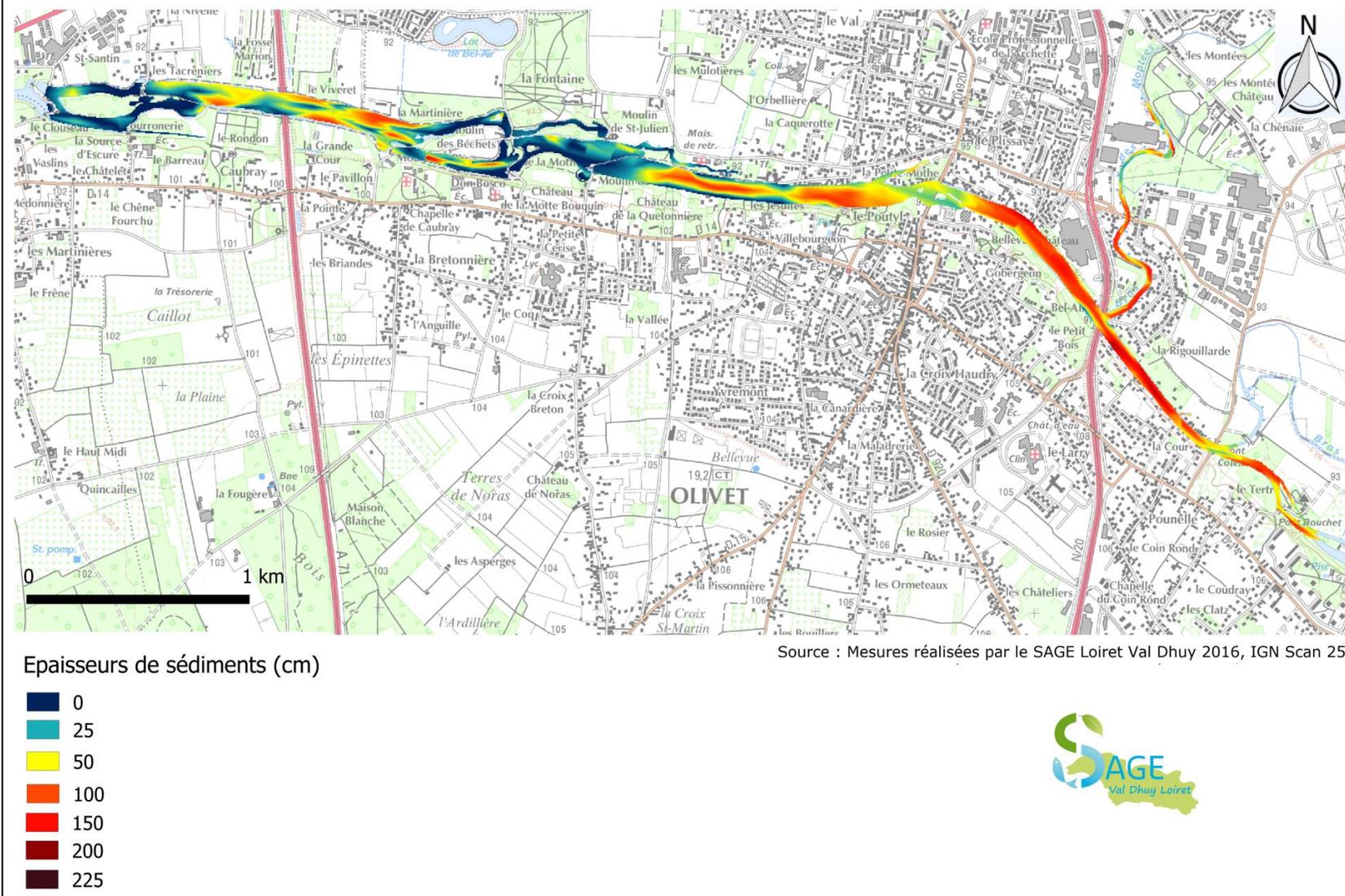


Figure 13: Epaisseurs de sédiments dans le Loiret non domanial, le Bras des Montées et le Couason

2.2.3. Les volumes de sédiments dans chaque bassin

A partir des épaisseurs interpolées de sédiments fins, nous avons estimé les volumes de vase dans chaque bassin, ainsi que l'erreur due aux approximations de mesure. La démarche d'extraction des données d'épaisseurs de vase sous Qgis est détaillée en Annexe 2.

2.2.3.1. Calcul des volumes de sédiments

Le volume de sédiments dans chaque bassin a été obtenu en multipliant la hauteur de vase de chaque cellule par sa surface. Nous avons ensuite fait la somme des volumes associés aux cellules de chaque bassin.

Tous les bassins ont des surfaces différentes. Pour comparer la sédimentation entre les différents bassins, nous avons calculé l'épaisseur moyenne de sédiments dans chaque bassin.

Ainsi, le volume total de sédiments dans les bassins du Loiret, le Bras des Montées et le Couasnon est d'environ 306 000 m³, dont environ 23 000 dans le Bras des Montées et 1 500 dans le Couasnon.

Les résultats présentés dans le tableau 2 confirment les observations faites à partir de la carte des épaisseurs de sédiments. Les bassins les plus sédimentés se situent dans la partie amont, avec notamment une épaisseur moyenne de sédiments de 98 cm dans Paul Forêt. Les trois bassins de la Source, Paul Forêt et Saint-Samson stockent ainsi à eux seuls plus des $\frac{2}{3}$ des sédiments du Loiret alors qu'ils ne représentent que 49% de sa surface.

Tableau 2 : Volume et épaisseurs moyenne de sédiments dans les bassins du Loiret en mars 2016

	Surface du bassin (ha)	Volume (m3)	Epaisseur moyenne (cm)
La Source	4,12	18198	44
Paul Forêt	11,1	108474	98
Bras des Montées	3,24	23113	71
Couasnon	0,421	1542	37
Saint Samson	14,2	73521	52
La Reine Blanche	0,773	1118	14
Saint Julien	6,38	8377	13
La Mothe	3,40	9310	27
Les Tacreniers	14,1	56845	40
Saint Santin Nord	2,32	2589	11
La Grande Bray	4,18	3206	7,7
Total	64,2	306294	48

2.2.3.2. Estimation des erreurs liées aux mesures de terrain

Les résultats présentés sur la figure 13 et dans le tableau 2 ne doivent pas être considérés comme parfaitement exacts, mais donnent un bon ordre de grandeur des épaisseurs et volumes de sédiments stockés dans le Loiret.

L'incertitude sur ces valeurs est notamment liée aux approximations de mesure sur le terrain. Les vases du Loiret étant très liquides, la perche peut se trouver légèrement enfoncée dans la vase au moment de la mesure de la hauteur d'eau. De plus, les mouvements de la barge ne permettent pas

toujours de garantir l'orthogonalité exacte de la perche par rapport à la surface de l'eau. Enfin, les ondulations de la surface de l'eau peuvent fausser légèrement la lecture de la hauteur d'eau.

Lors des mesures de terrain, nous avons estimé que ces approximations entraînaient une erreur de +/- 5 cm sur l'épaisseur de sédiments.

Afin d'estimer l'erreur liée à ces mesures sur le volume de sédiments dans les bassins, deux interpolations ont été réalisées respectivement en ajoutant 5 cm et en soustrayant 5 cm aux épaisseurs de vase mesurées. Les valeurs des points où l'épaisseur de sédiments était nulle n'ont pas été modifiées car il n'y avait assurément aucun dépôt de sédiments fins à ces endroits.

Nous avons ensuite calculé les volumes de vase dans chaque bassin pour l'erreur de +5 cm et de -5 cm. Pour chaque bassin, les volumes obtenus ont été comparés au volume calculé précédemment. L'erreur maximale retenue dans le tableau 3 correspond à l'écart maximal entre ces valeurs.

Tableau 3: Erreur maximale sur les volumes de sédiments dans chaque bassin dues aux approximations de mesure sur le terrain

La Source	+/- 6,5%
Paul Forêt	+/- 5,2%
Bras des Montées	+/- 6,1%
Couasnon	+/- 11,3%
Saint Samson	+/- 8,6%
La Reine Blanche	+/- 33,5%
Saint Julien	+/- 26,1 %
La Mothe	+/- 11,9%
Les Tacreniers	+/- 9,5%
Saint Santin	+/- 12,9%
La Grande Bray	+/- 18,8 %
Total	+/- 7,9%

Les erreurs sur les volumes sont inférieures à 20% sur l'ensemble des bassins, excepté sur le bras de la Reine Blanche et dans le bassin de Saint Julien. Cependant, ces bassins sont petits et/ou contiennent peu de sédiments. Une erreur maximale de 33,5% sur le volume de sédiments dans le bras de la Reine Blanche correspond à une approximation de l'ordre de +/- 375 m³. De même pour le bassin de Saint Julien, une erreur maximale de +/- 26.1% se traduit par une erreur sur le volume de l'ordre de 900 m³. Ces erreurs influencent donc peu l'estimation globale des volumes de sédiments stockés dans les bassins du Loiret.

L'erreur maximale sur le volume total de sédiment stockés dans le Loiret et le Bras des Montées est de +/- 7,9%, soit +/- 24 198 m³.

2.3. L'évolution entre 2006 et 2016

La comparaison des cartes d'épaisseur de vase et des volumes dans chaque bassin en 2006 et 2016 nous renseigne sur les processus d'érosion et de sédimentation qui opèrent actuellement dans le cours d'eau.

Entre 2003 et 2006, le taux de sédimentation était estimé à 2,9 cm/an. Une importante augmentation des épaisseurs de vase entre 2006 et 2016 était donc attendue, notamment dans le bassin des Tacreniers.

Le tableau 4 regroupe l'ensemble des résultats obtenus en 2003, 2006 et 2016. Globalement, entre 2006 et 2016, le volume de sédiments stockés dans les bassins du Loiret et le Bras des Montées a diminué de 15,9 à 28,1 %.

Les diminutions les plus importantes sont constatées dans les bassins de Saint Samson, Saint Julien et les Tacreniers avec des taux de sédimentation compris entre - 1,5 et -2,7 cm/an.

La variation de l'épaisseur moyenne dans les bassins de la Source et de la Mothe et du Bras du Couasnon est de l'ordre de quelques centimètres en 10 ans. On peut donc considérer que la sédimentation de ces trois bassins est stable.

Le volume de vase stocké dans le Bras des Montées a augmenté d'environ 5,2% en 10 ans. Cette augmentation est dans l'ordre de grandeur des erreurs de mesure pour ce bras. Le taux de sédimentation, entre 2006 et 2016, est de l'ordre de 0,08 à 0,83 cm/an. L'envasement de ce bras tant donc à se stabiliser. Cependant, les hauteurs de vase dans ce bras n'ayant pas été mesurées en 2003, il n'est pas possible de conclure quant à une éventuelle évolution du taux de sédimentation depuis 2003.

L'envasement des bassins du Loiret a globalement diminué. Cependant localement certaines zones continuent de sédimenter. La figure 14 représente l'évolution de la sédimentation sur l'ensemble des bassins du Loiret et le Bras des Montées.

Tableau 4 : Volumes et épaisseurs moyenne de sédiments dans les bassins du Loiret

Bassin	Surface (m2)	Volume moyen (m3)				Epaisseur moyenne (cm)				Taux de sédimentation *			
		2003	2006	2016	2016-2006	2003	2006	2016	2016-2006	cm/an		%	
La Source	41174	14306	19521	18198	-1323	35	47	44	-3	-0,34	(de -0,64 à -0,04)	-6,8%	(de -0,7 à -12,8)
Paul Forêt	110625	110276	116239	108474	-7765	100	105	98	-7	-0,74	(de -1,27 à -0,21)	-6,7%	(de -1,9 à -11,5)
Bras des Montées	32437	/	21965	23113	1148	/	62	71	9	0,37	(de -0,08 à 0,83)	5,2%	(de 11,6 à -1,2)
Couasnon	4211	1409	1557	1542	-15	33	37	37	0	-0,04	(de -0,47 à -0,39)	-1,0%	(de 10,0 à -12,1)
Saint Samson	142201	98215	101857	73521	-28336	69	72	52	-20	-2,10	(de -2,55 à -2,63)	-27,8%	(de -21,6 à -33,8)
La Reine Blanche	7734	916	2169	1118	-1051	12	28	14	-14	-1,43	(de -1,76 à -1,92)	-48,4%	(de -31,2 à -59,7)
Saint Julien	63829	14030	22439	8377	-14062	22	35	13	-22	-2,32	(de -2,68 à -2,17)	-62,7%	(de -58,7 à -72,4)
La Mothe	34047	9690	9723	9310	-413	28	29	27	-1	-0,13	(de -0,45 à -0,22)	-4,2%	(de 7,2 à -15,1)
Les Tacreniers	140595	56089	82751	56845	-25906	40	59	40	-18	-1,94	(de -2,34 à -1,54)	-31,3%	(de -24,8 à -37,8)
Saint Santin	23233	1122	5338	2589	-2749	5	23	11	-12	-1,25	(de -1,40 à -1,10)	-51,5%	(de -45,4 à -57,7)
La Grande Bray	41786	3639	8411	3206	-5205	9	20	8	-12	-1,31	(de -1,46 à -1,16)	-61,9%	(de -54,7 à -69,0)
Total	641872	309692	391970	306294	-85676	51	61	48	-13	-1,41	(de -1,80 à -1,02)	-21,9%	(de -15,9 à -28,1)

* en tenant compte des erreurs estimées précédemment

Evolution des épaisseurs de sédiments dans le Loiret non domanial entre 2006 et 2016

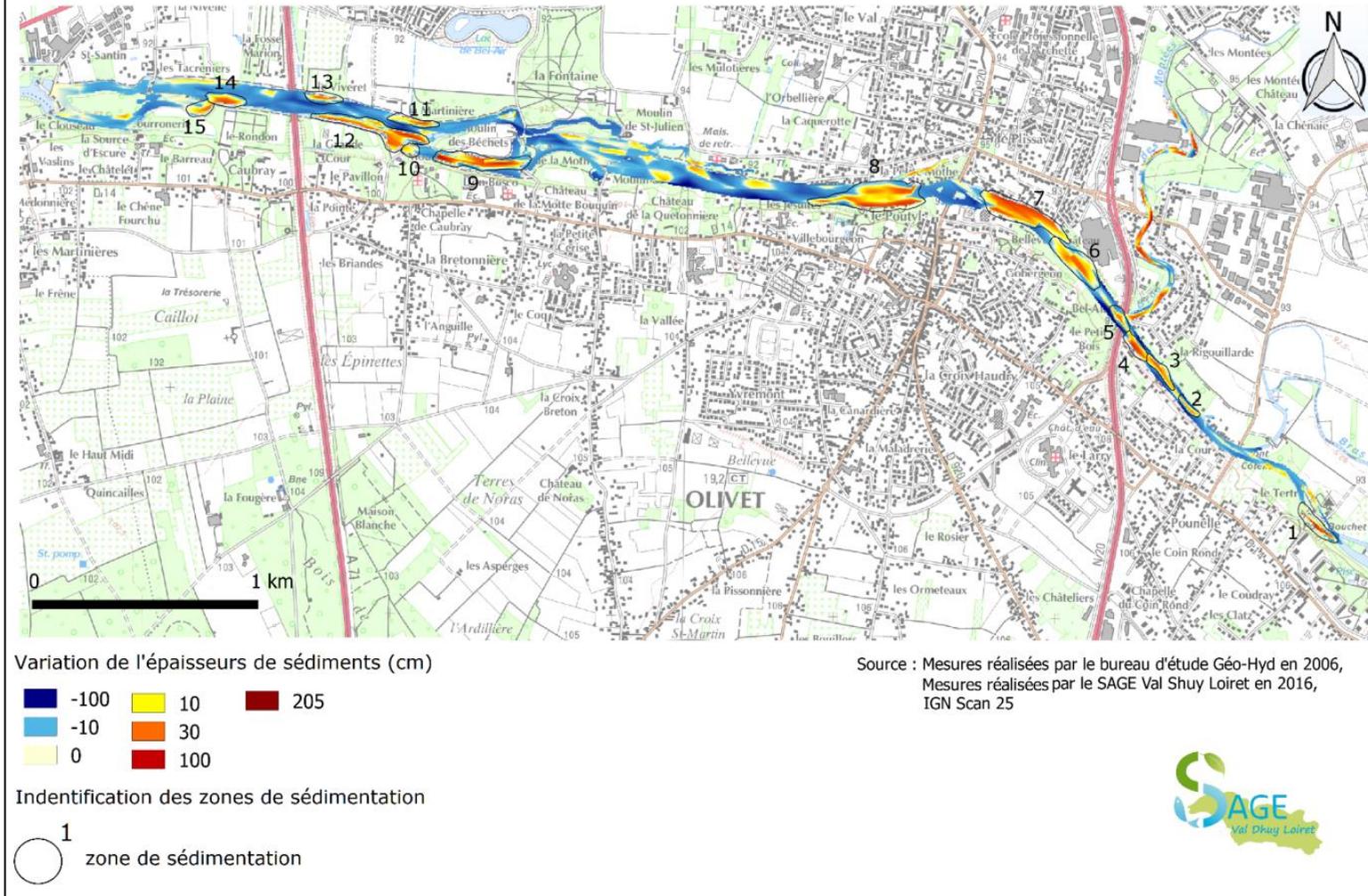


Figure 14: Evolution des épaisseurs de sédiments dans le Loiret non domanial entre 2006 et 2016

D'importantes zones de sédimentation sont visibles à l'amont, au niveau de la confluence avec le Dhuy, dans le bassin de Paul Forêt et la partie amont du bassin de Saint Samson. Au centre du bassin de la Mothe et dans la partie amont du bassin des Tacreniers des augmentations importantes des épaisseurs de vase sont aussi visibles.

Pour chacune des zones repérées sur la figure 14, le volume de sédiments accumulés durant ces dix dernières années et le taux de sédimentation ont été estimés (tableau 5).

L'augmentation de l'épaisseur moyenne de sédiments dans toutes ces zones et de l'ordre de 15 à 20 cm, atteignant presque 30 cm dans les zones 4, 7 et 9.

Tableau 5 : Volumes et épaisseurs moyennes de sédiments dans les principales zones de sédimentation

ID	Localisation	Volume accumulé (m ³)	Augmentation de la hauteur moyenne par rapport à 2006 (cm)	Taux de sédimentation (cm/an)
1	Confluence du Dhuy	906	21	2,3
2	Paul Forêt - amont	227	13	1,4
3	Paul Forêt - amont	831	17	1,8
4	Paul Forêt - amont	1118	27	2,8
5	Confluence avec le Bras des Montées	351	13	1,3
6	Paul Forêt - milieu	1950	16	1,6
7	Paul Forêt - aval	6457	28	2,9
8	Saint Samson - amont	6312	22	2,3
9	La Mothe	4080	29	3,0
10	La Mothe - aval	130	8,0	0,8
11	Les Tacreniers - amont	514	14	1,4
12	Les Tacreniers - amont	3657	22	2,4
13	Les Tacreniers - milieu	339	15	1,6
14	Les Tacreniers - aval	1029	21	2,2
15	La Grande Brayé	440	14	1,4

2.4. L'évolution suite à la crue de mai-juin 2016

Fin mai – début juin, le département du Loiret a connu un épisode pluvieux exceptionnel qui a entraîné la crue de nombreux cours d'eau. Ainsi, entre le 28 mai et le 1^{er} juin, le Dhuy a vu son débit passé de 1,34 à 24.392 m³/s (Banque Hydro).

L'ouverture de toutes les vannes a permis de limiter la montée des eaux dans les bassins du Loiret. Cependant les forts débits et la modification des écoulements au niveau des déversoirs, habituellement hors d'eau, ont pu modifier la répartition des sédiments dans les bassins. Le déversement et les vitesses d'écoulement au niveau du déversoir de Saint Samson par exemple (figure 15) étaient relativement importants.



Figure 15: Déversoir de Saint Samson - 3 juin 2016 (©SAGE Val Dhuy Loiret)

Afin d'étudier l'influence de la crue sur la répartition des sédiments, de nouvelles mesures d'épaisseur de vase ont été réalisées. Nous avons émis l'hypothèse que ces forts débits ont pu remettre en suspension les sédiments stockés à l'amont. Les points contrôlés se trouvent donc principalement dans les bassins de la Source, Saint Samson et Paul Forêt.

La carte présentée en figure 16 représente les variations observées suite à la crue.

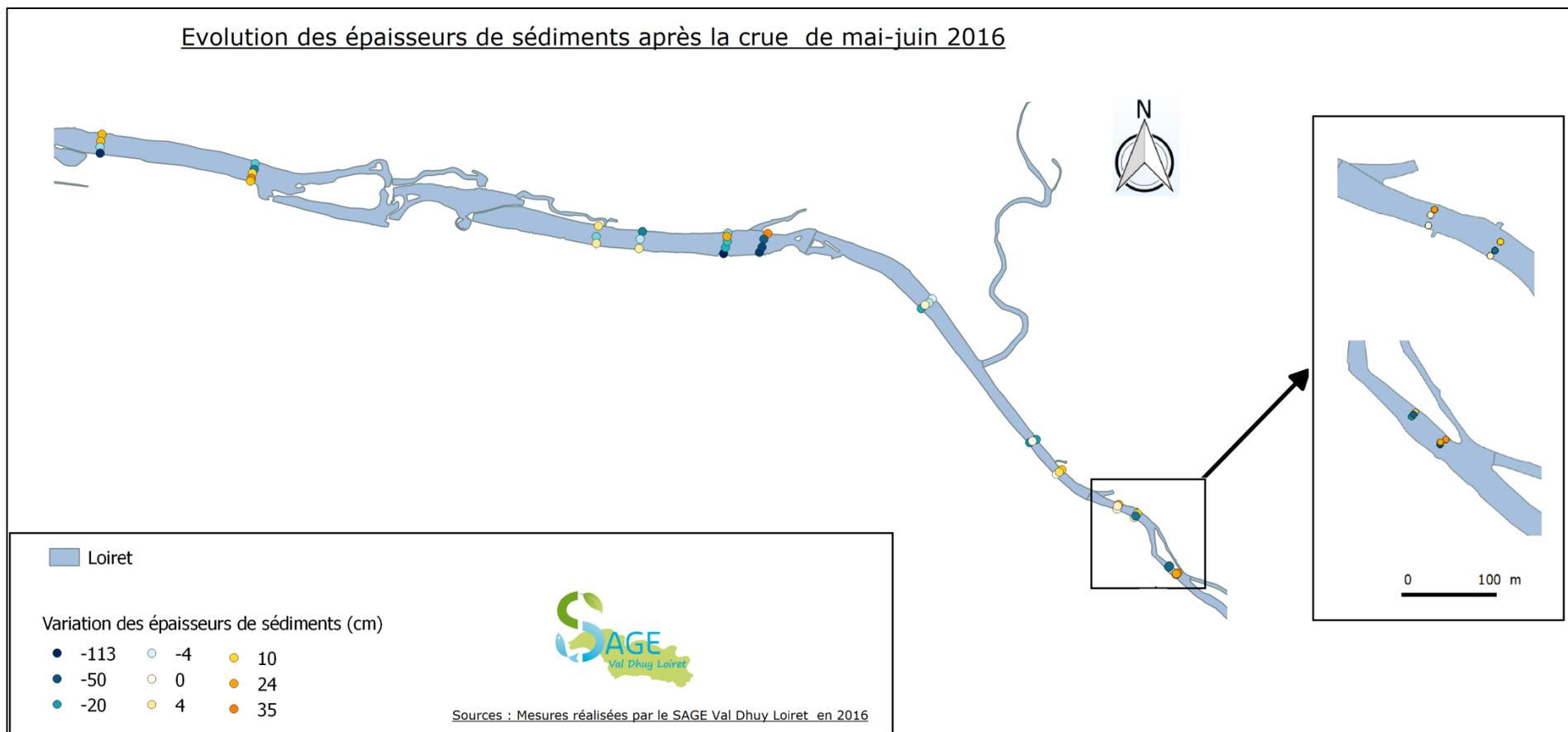


Figure 16 : Evolution des épaisseurs de sédiments après la crue de mai-juin 2016

Ces mesures nous montrent une forte disparité dans les résultats. Certaines zones semblent s'être fortement incisées alors que des dépôts importants sont constatés dans d'autres.

A la confluence avec le Dhuy, des zones importantes de dépôts sont visibles en rive droite. (Figure 17)



Figure 17 : Dépôts sableux à l'aval de la confluence avec Dhuy (au niveau du camping) – 29 juin 2016 (© SAGE Val Dhuy Loiret)

A cet endroit, on note la présence d'une courbe. A l'intérieur de cette courbe les vitesses sont moins importantes, ce qui favorise le dépôt des sédiments.

Le même constat peut être fait un peu plus à l'aval, entre les bassins de la Source et de Paul Forêt. Un banc de sédiments est aussi apparu à l'intérieur d'une courbe suite à la crue. (Figure 18)



Figure 18 : Banc de sédiment dans le bassin de Paul Forêt - 29 juin 2016 (© SAGE Val Dhuy Loiret)

Les différences les plus fortes sont visibles à l'amont du bassin de Saint Samson, où les dépôts semblent avoir fortement diminué. L'une des hypothèses émises pour expliquer cette forte diminution est la présence du pont. Les fortes turbulences générées par les piles de pont ont en effet pu favoriser la remise en suspension de sédiments.

A l'aval de ce bassin, en revanche, les épaisseurs sont restées relativement stables.

Enfin, dans le bassin des Tacreniers on note une forte diminution sur le transect le plus en aval, en rive gauche. Ces points se trouvent à proximité des vannes du Rondon et dans une zone où l'eau s'est déversée au-dessus de la chaussée. Les courants dans cette partie du bassin étaient assez forts, comme l'illustre les photos ci-dessous prises au niveau de la nouvelle vanne du Rondon.



Figure 20 : Ecoulement à l'amont de la nouvelle vanne du Rondon - 3 juin 2016 (© SAGE Val Dhuy Loiret)



Figure 20 : Déversement au-dessus de la chaussée des Tacreniers au niveau du moulin du Rodon - 3 juin 2016 (©SAGE Val Dhuy Loiret)

Conclusion : Le volume de sédiments stockés dans les bassins du Loiret et le Bras des Montées est de $306\,294\text{ m}^3$ (+/- $24\,198\text{ m}^3$). Ces sédiments sont principalement stockés à l'amont. Les bassins de Paul Forêt et de Saint Samson concentrent à eux seuls près de 60% des sédiments stockés. Les secteurs les plus envasés sont le bassin de Paul Forêt et le Bras des Montées, avec des épaisseurs moyennes de sédiments de 98 cm et 71 cm.

Globalement, les volumes de vases stockés dans les bassins du Loiret ont diminué de 15,9 à 28,1 % entre 2006 et 2016. Cependant, localement certaines zones continuent à s'ensaver. Les augmentations les plus importantes sont visibles à l'amont et à l'aval du bassin de Paul Forêt et au centre du bassin de la Mothe, avec une sédimentation de l'ordre de 30 cm ces dix dernières années.

La crue de fin mai-début juin 2016 a entraîné localement des modifications des dépôts sédimentaires, principalement à l'amont où d'importants dépôts ont été constatés à l'intérieur de courbes.

3. La caractérisation des écoulements dans le Loiret

Les écoulements dans le Loiret ont été fortement modifiés au cours des décennies. L'urbanisation s'est tout d'abord accompagnée d'une augmentation des rejets dans le milieu. De plus, les caractéristiques du milieu ou encore les travaux d'aménagement dans le lit mineur modifient les écoulements.

3.1. L'évolution des rejets urbains

Le Loiret est un cours d'eau qui s'écoule aujourd'hui, principalement en zone urbaine. Dans les zones urbanisées les sources de particules sont multiples : débris suite à un accident, érosion des pneumatiques et des carrosseries, érosion des toitures, des façades ou encore du mobilier urbain. Lors d'événements pluvieux, le ruissellement transporte toutes ces particules vers les cours d'eau via les réseaux d'eaux pluviales. Ces sources de sédiments sont d'autant plus importantes lorsqu'il n'existe pas de bassin de dépollution à la sortie des exutoires d'eaux pluviales. (Durand,2003)

3.1.1. L'évolution de l'urbanisation dans la partie Ouest du bassin versant du Loiret

La carte ci-dessous (figure 17) présente l'évolution de l'urbanisation dans la partie Ouest du bassin versant du Loiret entre 1947 et 2001. Cette carte a été réalisée à partir de photos aériennes IGN, sur lesquelles les zones de forte densité urbaine ont été localisées.

Le bassin versant a connu une très forte urbanisation au cours des 50 dernières années. Celle-ci s'est principalement développée entre la Loire et les rives du bassin de Saint Samson, sur les communes d'Orléans, Olivet et Saint-Jean-Le-Blanc.

Sur les rives gauches du Loiret, l'urbanisation s'est aussi développée sur les rives des bassins amont, avec notamment l'implantation du campus universitaire d'Orléans-La Source.

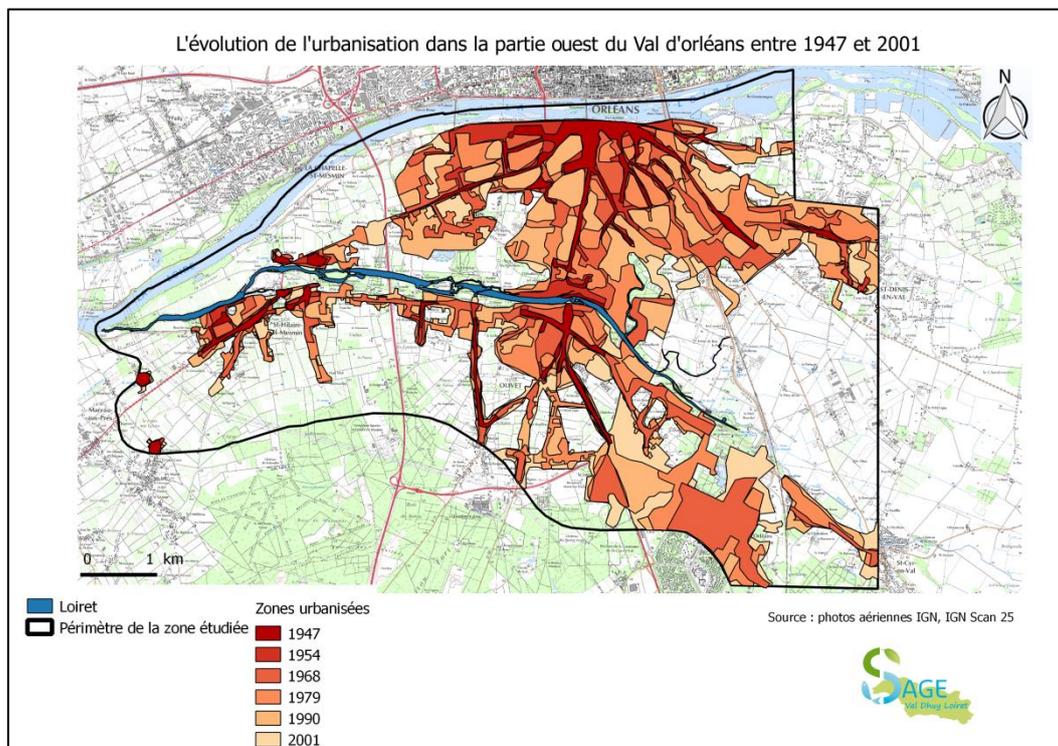


Figure 21 : Evolution de l'urbanisation dans la partie Ouest du bassin versant du Loiret

3.1.2. Les principaux rejets

Jusqu'en 1990, la station d'épuration de la Source déversait ses eaux traitées dans le Loiret. Or il semblerait que cette station ait connu plusieurs dysfonctionnements. Ainsi, dans un rapport de 1983, le SRAE indique notamment que « l'augmentation des teneurs en MES et des matières décantables au niveau de la confluence [avec le Dhuy] serait due en partie aux effluents de la station d'épuration de la Source. »

Aujourd'hui, il n'y a plus de rejets de station d'épuration directement dans le Loiret, mais on compte de nombreux exutoires d'eaux pluviales dans tous les bassins du Loiret.

Le Bras des Montées est la zone qui concentre le plus de points de rejets d'eaux pluviales et industrielles en provenance de la zone industrielle et commerciale des Montées. En 2002, des problèmes semblaient exister au niveau de ces points de rejets. Lors de l'assemblée générale de l'ASRL du 20 juin 2002, un riverain a en effet fait remarquer qu'après de fortes pluies l'eau du Bras des Montées devenait « toute noire et recouverte d'huile ». (Compte rendu de l'assemblée générale de l'ASRL, 20 juin 2002). Des travaux ont été menés afin de limiter ces pollutions, mais certains points de rejets restent aujourd'hui encore considérés comme particulièrement impactant pour le milieu.

L'AggLO a ainsi recensé quatre « points noirs » de rejets dans le Loiret : un rejet dans le bassin de la Source, un dans le bassin de Saint Samson et deux dans le Bras des Montées. (figure 22)

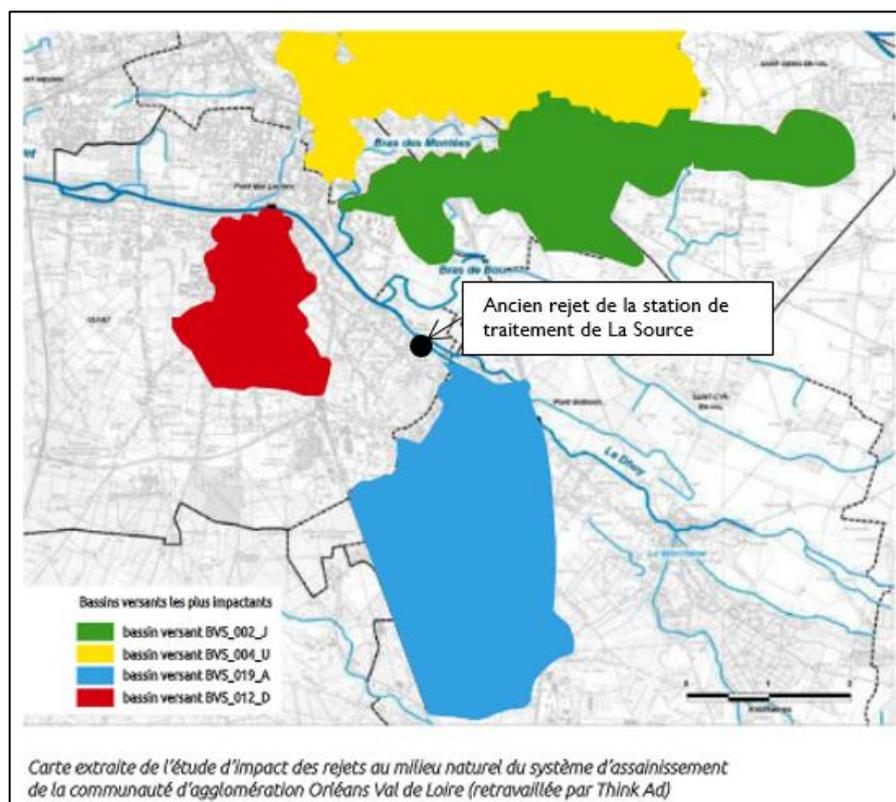


Figure 22 : Rejets d'eaux pluviales recensés comme "points noirs" par l'AggLO

3.2. Les caractéristiques hydraulique des écoulements

3.2.1. Le découpage en tronçons homogènes

Afin d'étudier les écoulements dans le Loiret, le cours d'eau a tout d'abord été découpé en tronçons homogènes d'un point de vue hydraulique, en suivant la méthode proposée par le Guide méthodologique pour le pilotage des études hydrauliques. Les critères retenus pour ce découpage sont la largeur au miroir, la nature du lit, l'occupation des berges, les matériaux constitutifs du lit et la géologie mais aussi la présence d'aménagement modifiant les écoulements.

Une première compartimentation du Loiret est créée par la présence des chaussées, qui séparent les bassins. Généralement les hauteurs de chute au niveau des chaussées sont suffisamment importantes pour que les écoulements d'un bassin à l'amont d'une chaussée soient indépendants de la hauteur d'eau dans le bassin à l'aval.

De plus, le lit du Loiret s'élargit progressivement d'amont en aval. Il est le plus large au niveau du bassin des Tacreniers. Cependant plusieurs zones d'élargissement ou de rétrécissements brusques ont été répertoriées à partir de photos aériennes et de données SIG du SAGE, notamment aux confluences avec les affluents.

Un inventaire de l'état des berges avait été réalisé lors de l'état de lieux du SAGE. Celui-ci a été mis à jour par des observations de terrain. La carte de l'état des berges des bassins du Loiret est présentée en Annexe 3. L'occupation des berges varie d'un bassin à l'autre. Les berges du bassin de Saint-Samson sont par exemple très urbanisées, tandis que celle du bassin de Saint Julien sont boisées. Cependant, la nature du lit varie peu à l'intérieur d'un bassin.

On ne note pas de modification de la géologie ni de la sinuosité.

Le Loiret, de la grille du parc floral à la chaussée des Tacreniers a ainsi été découpé en 37 tronçons, représentés sur le schéma de synthèse dans la partie 3.5. (Figure 32)

Les mesures de terrain ont permis, par la suite de compléter ce découpage avec des informations sur chaque tronçon.

3.2.2. La ligne d'eau

Le Loiret est un milieu très modifié. La hauteur dans les bassins dépend directement de l'ouverture des vannes, mais aussi du niveau de la Loire. La ligne d'eau est représentative d'une situation précise d'ouverture des vannes, pour un certain niveau de la Loire. Pour un même débit on peut donc avoir une ligne d'eau différente.

3.2.2.1. La ligne d'eau lorsque les moulins étaient en activité

Lorsque les moulins étaient encore en activité, la ligne d'eau était maintenue au niveau de la cote légale. L'annexe 3 présente une ligne d'eau mesurée en juin 1932. Les altitudes sont indiquées dans le système NGF-LALLEMAND. Converties dans le système actuel, on retrouve bien les cotes légales de retenue des bassins, hormis pour le bassin de la Mothe qui est 12cm en dessous.

A l'intérieur de chaque bassin, la pente de la ligne d'eau est nulle, mais il y a d'importantes chutes entre chaque bassin. (Tableau 6)

Cependant, la pente moyenne de la ligne d'eau du Loiret est très faible (Tableau 7).

Tableau 6 : Hauteurs de chute entre les bassins - juin 1932

Localisation	Hauteur de chute (m)
Saint Samson - Saint Julien	0,60
Saint Julien - La Mothe	0,30
Saint Julien – Les Tacreniers	0,70
La Mothe – Les Tacreniers	0.40
Les Tacreniers – Saint Santin	0,60
Saint Santin – Loiret public	1,20

Tableau 7 : Pente moyenne de la ligne d'eau du Loiret - juin 1932

Localisation	Pente (%)
Du Bouillon à la chaussée de Saint Santin	0,041
De la chaussée de Saint Santin à la pointe de Courpain	0,019
Du Bouillon à la pointe de Courpain	0,025

3.2.2.2. La ligne d'eau dans les conditions actuelles

Depuis quelques années, la gestion des vannes a évolué et les niveaux maintenus sont régulièrement en dessous de la cote légale de retenue. Or il n'existait pas d'informations récentes concernant la ligne d'eau du Loiret. Une mesure de la ligne d'eau a été réalisée le 22 mars 2016 en condition d'eau moyenne.

Le Loiret étant alimenté par la Loire *via* le réseau karstique, les cotes de la surface de la Loire et de l'ancienne carrière de Darvoy, principale zone d'infiltration vers le Loiret, ont été relevées et sont présentés dans le Tableau 8.

Tableau 8: Cote de la surface de l'eau dans la Loire et à la source du Bouillon - 22 mars 2016

Localisation	Cote de la surface (m NGF)
La Loire à Darvoy	97,35
La carrière de Darvoy	97,35
Le Bouillon	90,90

La différence d'altitude entre la surface de l'eau à la carrière de Darvoy et la surface de l'eau au Bouillon est de l'ordre de 6,45 mètres.

La cote de la surface de l'eau a ensuite été mesurée aux points localisés sur la carte en Annexe 4.

A l'aval du bassin de Saint-Julien, l'eau s'écoule à la fois vers le nord dans le bassin des Tacreniers et vers le sud dans le bassin du Bac. Deux lignes d'eau ont donc été tracées, l'une du bassin de Saint-Julien vers celui des Tacreniers (tracé 1), l'autre du bassin de Saint Julien vers celui de la Mothe (tracé 2).

Plusieurs mesures d'altitude ont été réalisées pour chaque point. L'altitude de la surface pour chaque point a été calculée comme la moyenne des mesures, en excluant les valeurs extrêmes lorsqu'il y en avait.

Les figures 23 et 24 représentent la ligne d'eau suivant les deux tracés.

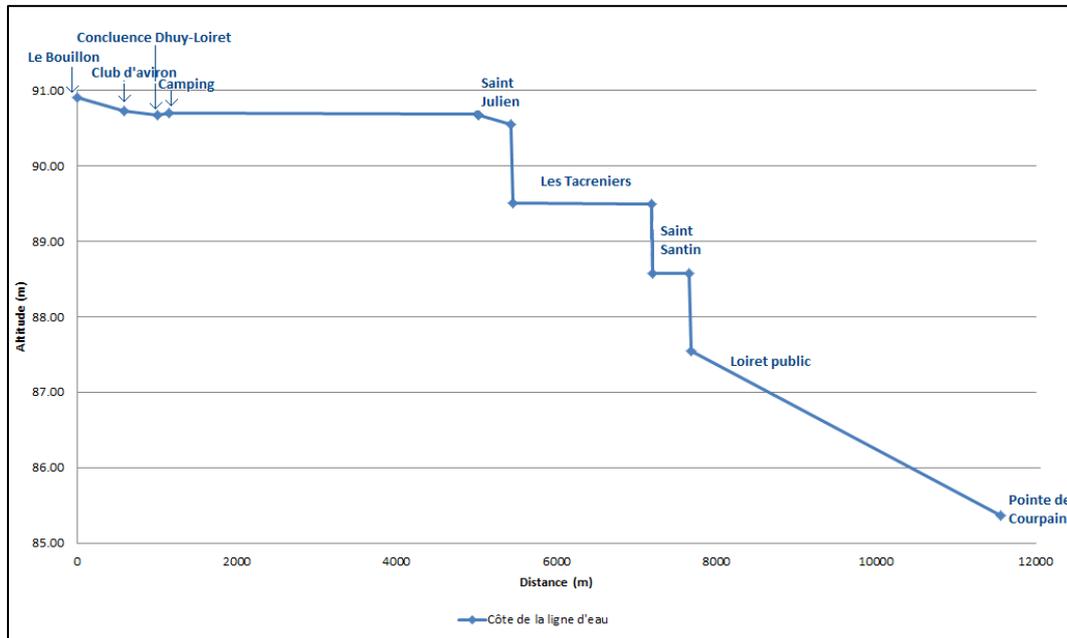


Figure 23 : Ligne d'eau dans le Loiret suivant le tracé 1 – 22 mars 2016

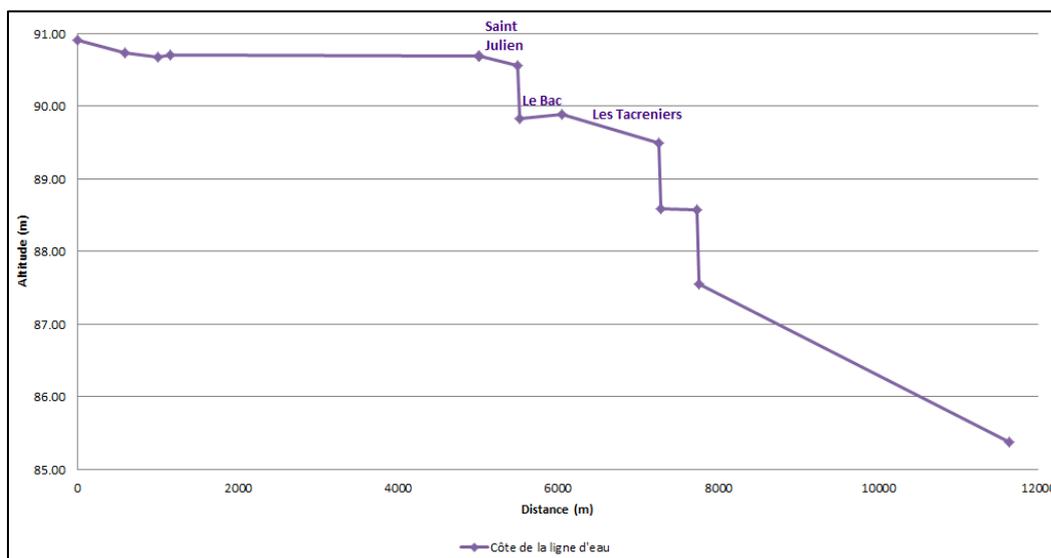


Figure 24: Cote de la ligne d'eau dans le Loiret suivant le tracé 2 – 22 mars 2016

La différence d'altitude entre l'amont et l'aval est de l'ordre de 5,5 mètres. La pente est quasiment nulle à l'intérieur des bassins.

L'altitude à l'aval du bassin de la Mothe est plus importante qu'à l'amont. Les berges étant très boisées, la précision de la mesure était de l'ordre de 2 à 5 cm. Ce bassin étant relativement petit, on peut considérer que l'altitude est identique à l'amont et à l'aval. De même, à l'amont, l'altitude à la confluence avec le Dhuy est inférieure de quelques centimètres à celle mesurée à l'aval. Cela est

aussi probablement dû aux erreurs de mesures liées à la présence de nombreux arbres. Enfin, dans le bassin de Saint Julien, une légère pente est visible. Or d'autres mesures ponctuelles de la cote de la surface dans ce bassin ont montré par la suite que la pente y est nulle.

Le passage d'un bassin à l'autre s'accompagne d'une chute importante, jusqu'à un mètre pour certains bassins, excepté entre les bassins de Saint Samson et Saint Julien. D'autres mesures ponctuelles de la cote de la surface dans ces deux bassins ont confirmé que la chute entre ces deux bassins n'excède pas quelques centimètres

De plus, à la sortie du parc floral de la Source, une grille a été installée afin d'empêcher les animaux du parc de s'échapper. Or cette grille retient de nombreux débris. (Figure 25)



Figure 25: Grille du parc floral de la Source, 22 mars 2016 (© Stéphane THAUVIN)

Lors de cette mesure, la hauteur de chute au niveau de cette grille d'environ 15 cm. Une seconde mesure à l'amont et à l'aval direct de cette grille, encombrée de débris, a été effectuée le 29 juin 2016. La hauteur de chute était alors d'environ 20 cm.

Le tableau 9 récapitule les hauteurs de chute entre chaque bassin le 22 mars 2016.

Tableau 9 : Hauteur de chute entre les bassins du Loiret - 22 mars 2016

Localisation	Hauteur de chute (m)
Parc floral – La Source	0,17
Saint Samson – Saint Julien	0,01
Saint Julien – Les Tacreniers	1,04
Saint Julien – La Mothe	0,73
Les Tacreniers – Saint Santin	0,91
Saint Santin – Loiret public	1,02

Le Loiret privé se présente comme une succession de bassins, tandis que le Loiret public s'écoule librement de la chaussée de Saint Santin à la confluence avec la Loire. L'allure des lignes

d'eau précédentes pourraient alors nous laisser penser que la pente du Loiret public est beaucoup plus importante que celle du Loiret privé.

La pente dans le Loiret public est légèrement plus importante que celle du Loiret privé (tableau 10), mais reste dans le même ordre de grandeur. La pente moyenne de la ligne d'eau du Loiret de la source à la confluence avec la Loire est faible mais s'explique par la géographie de la région. La pente moyenne sur l'ensemble du Val d'Orléans est en effet faible, de l'ordre de 1%. (SAGE Val Dhuy-Loiret, 2002)

Tableau 10 : Pente moyenne de la ligne d'eau du Loiret - 22 mars 2016

Localisation	Pente (%)
Du Bouillon à la chaussée de Saint Santin	0,030
De la chaussée de Saint Santin à la pointe de Courpain	0,056
Du Bouillon à la pointe de Courpain	0,048

3.2.2.3. Evolution de la ligne d'eau

La comparaison entre les lignes d'eau de 1932 et 2016 nous permet de constater une baisse de la cote de la surface de l'eau de 30 à 70 cm en fonction des bassins. En revanche, la pente est aujourd'hui légèrement plus importante qu'en 1932. Entre le Bouillon et la pointe de Courpain la pente moyenne était de l'ordre de 0,025% contre 0,048% en mars 2016. La différence est surtout visible sur la partie publique du Loiret où la pente était de 0,056% en 2016 contre 0,019% en 1932.

L'ouverture plus importante des vannes explique cette diminution. D'autres hypothèses peuvent être émises pour expliquer ce phénomène, notamment une diminution des débits apportés par la Loire suite à l'incision de son lit.

Ces résultats restent cependant difficiles à interpréter. En effet, les mesures n'ont pas été réalisées dans les mêmes conditions. La cote de la Loire à la pointe de Courpain était notamment 1,80 m environ plus bas en mars 2016 qu'en juin 1932. De même la cote de la source du Bouillon était environ 30 cm plus basse en mars 2016 qu'en 1932.

3.2.2. Les débits

Il n'existe aucune station de mesure de débits sur le Loiret. La multiplicité de ses résurgences et les nombreuses vannes rendent impossible l'estimation du débit à partir d'une hauteur d'eau.

De plus, aucune mesure de débits entre les différents bassins du Loiret n'a jamais été réalisée. Nous disposons seulement de quelques données ponctuelles sur la période 1964-1998 au niveau de la source du Bouillon, à l'amont au niveau du pont Bouchet et à l'aval au niveau du pont Saint Nicolas.

3.2.2.1. Principe de mesures par ADCP

Des mesures de débits au niveau de toutes les vannes ouvertes ont été réalisées par le service de jaugeage de la DREAL Centre le 21 et 22 avril 2016, en condition d'eaux moyennes.

Ces mesures ont été effectuées à l'aide d'un ADCP (Accoustic Doppler Current Profiler). Le modèle utilisé se présente sous la forme d'un petit trimaran tracté sur lequel se trouve un système émetteur-récepteurs ultrason. (Figure 26)

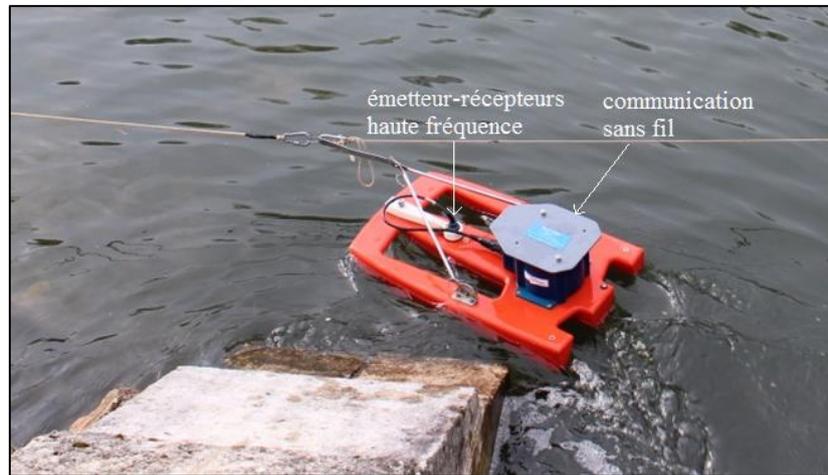


Figure 26 : ADCP utilisé pour le jaugeage des vannes du Loiret (© SAGE Val-Dhuy Loiret)

L'émetteur envoie une onde ultrasonore. Celle-ci est réfléchiée par les particules en suspension et le fond du cours d'eau. Le signal retour est capté par trois cellules réceptrices. La vitesse des particules est estimée à partir de la différence entre la fréquence du signal émis et la fréquence des signaux retour. (Rousseau et *al.*, année inconnue)

Afin d'estimer le débit à travers une section du cours d'eau, la vitesse est mesurée sur toute la largeur de la section. L'ADCP est déplacé lentement le long d'une ligne perpendiculaire au courant. (figure 27)

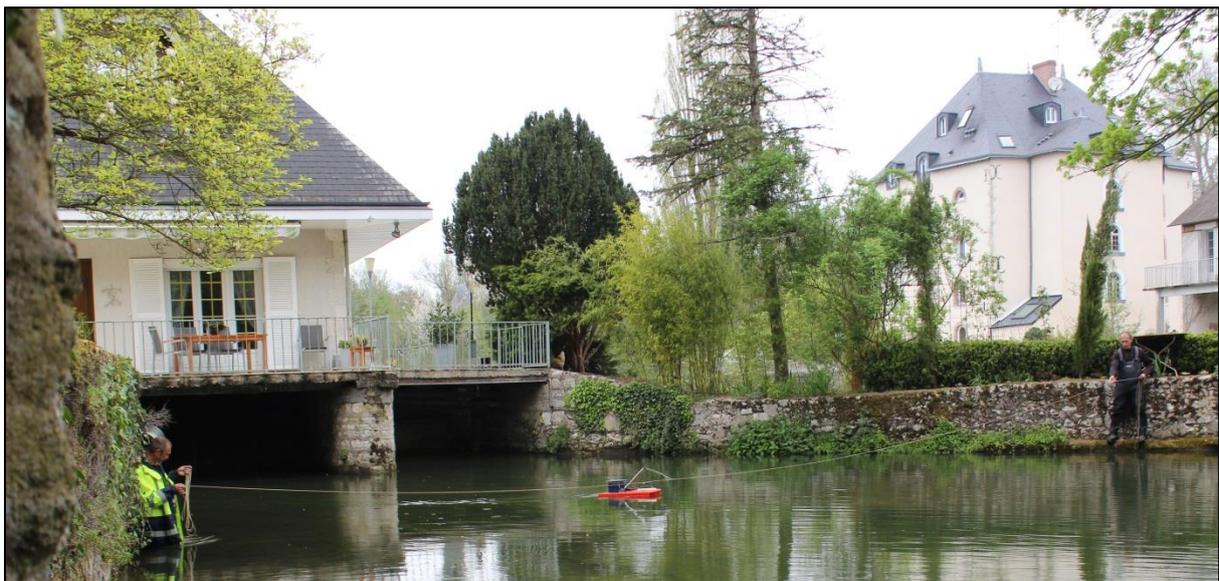


Figure 27 : Mesures d'une section du Loiret en amont de deux vannes par ADCP (© SAGE Val Dhuy Loiret)

La figure 28, extraite du logiciel de traitement de données de l'ADCP, présente un exemple de mesure de vitesse sur une section. La section de mesure est divisée en de nombreuses cellules où la vitesse est considérée comme uniforme. Le débit est obtenu en intégrant les mesures de vitesse sur la surface de la section.

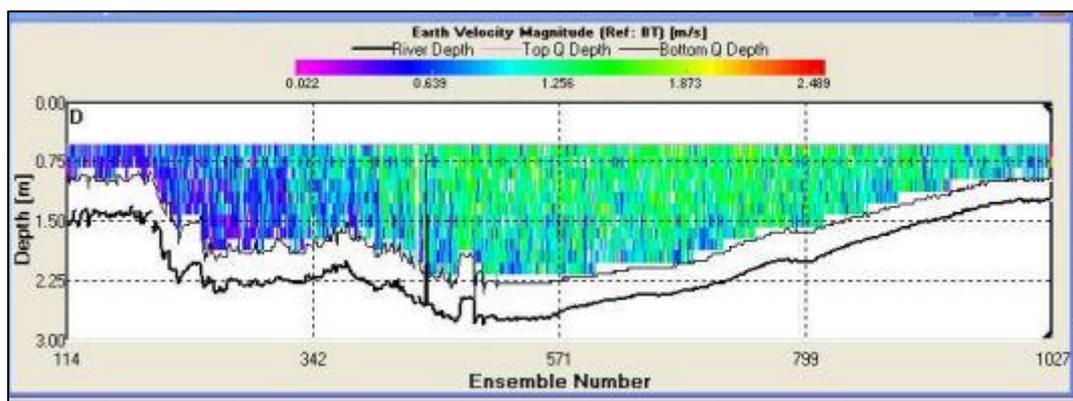


Figure 28 : Profil de vitesse mesuré avec un ADCP (Rousseau et al., années inconnue)

3.2.2.2. Synthèse des débits mesurés au niveau de chaque chaussée

Le tableau 11 synthétise l'ensemble de ces mesures de débits réalisées sur le Loiret

Tableau 11: Mesures de débits dans le Loiret

Localisation	Débit (m ³ /s)
Saint Samson – Saint Julien	4,80
Saint Julien – La Mothe	1,21
Saint Julien – Les Tacreniers	3,89
La Mothe – Les Tacreniers	2,11
Les Tacreniers – Saint Santin	8,29
Saint Santin – Loiret Public	9,87
BILAN	
Total sortant de Saint Samson/ entrant dans Saint Julien	4,80
Total sortant de Saint Julien	5,10
Total entrant dans La Mothe	1,21
Total sortant de La Mothe	2,11
Total entrant dans Les Tacreniers	6,00
Total sortant des Tacreniers/entrant dans Saint Santin	8,29
Total sortant de Saint Santin	9,87

Les débits mesurés sont très faibles, inférieurs à 10 m³/s.

L'apport des résurgences karstiques est non négligeable. En effet, entre la chaussée de Saint Samson et la chaussée de Saint Santin le débit est multiplié par deux. Les apports les plus importants

sont localisés dans le bassin des Tacreniers où la différence entre le débit entrant et le débit sortant est supérieur à 2 m^3 .

3.2.3. Les profils en travers et les vitesses d'écoulement

Ces mesures ont enfin été complétées par des mesures de profils en travers.

La localisation des profils en travers a été déterminé afin qu'ils soient représentatifs des tronçons dans lequel ils se trouvent. 40 profils ont ainsi été mesurés. (Figure 29) Chaque profil compte 4 à 15 points en fonction de sa largeur.

La hauteur d'eau a été mesurée à l'aide d'une perche graduée et les points de mesure ont été localisés précisément avec un GPS.

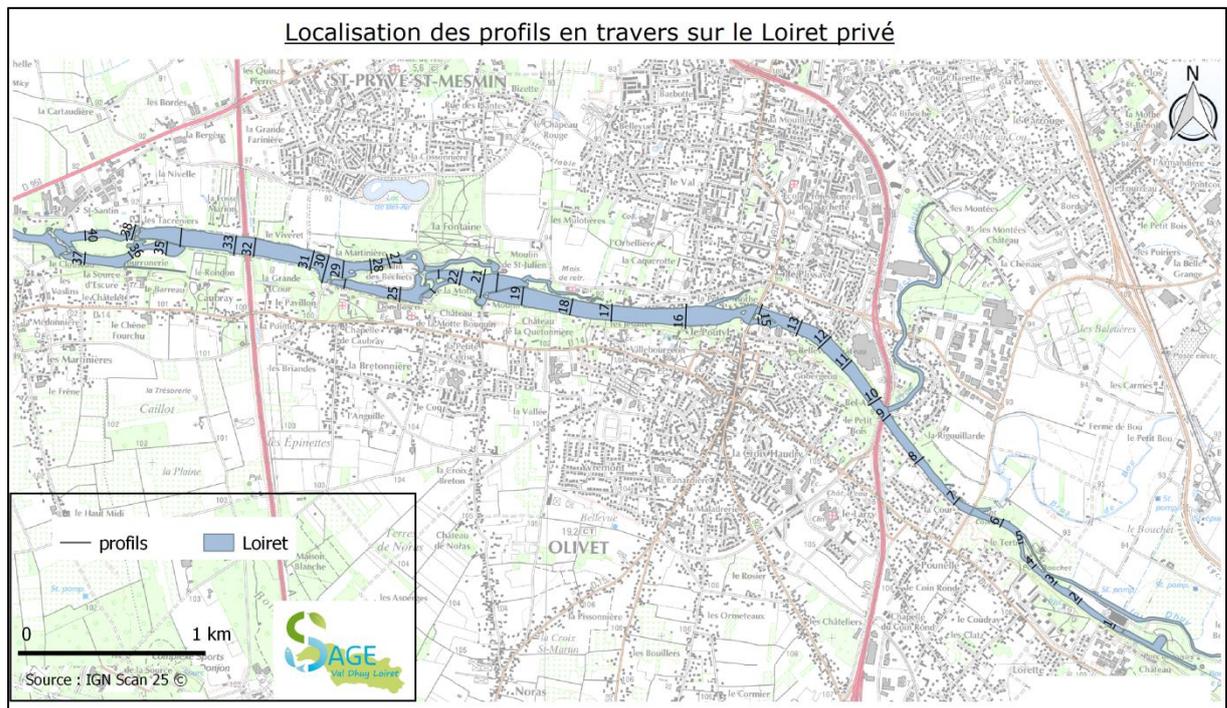


Figure 29 : Localisation des profils en travers sur le Loiret privé

L'ensemble des profils en travers mesurés dans chaque bassin sont présentés en Annexe 5. Toutes les figures sont présentées avec les mêmes échelles horizontales et verticales afin d'être directement comparables.

Dans le bassin de la Source, on note un exhaussement du fond au niveau du camping. La largeur du Loiret dans cette zone est de l'ordre de 20 à 30 mètres.

Le fond du bassin de Paul Forêt est relativement plat, à une altitude comprise entre 89 et 89,5 m. Le Loiret s'élargit fortement dans ce bassin, passant d'environ 40 mètres de large à l'amont à environ 90 mètres au niveau du transect 12. Enfin, la présence d'une île au niveau du pont divise l'écoulement en deux.

Dans le bassin de Saint Samson, une baisse de l'altitude d'environ 1m est visible entre les transects 16 et 17. La pente entre ces deux transects est de l'ordre de 0,9%. En se rapprochant de la chaussée la pente diminue. Le fond au niveau du transect 19 est même légèrement plus élevé qu'au niveau des 2 transects amont. La largeur de ce bassin est cependant, relativement constante, entre 90 et 100m pour les 4 transects mesurés.

A l'inverse, le fond du bassin de Saint Julien semble totalement plat, à une altitude d'environ 88,5 m. Sa géométrie, en revanche, varie fortement, avec une largeur comprise entre 75 et 130 m et une île à l'aval qui divise l'écoulement en deux.

Le fond du bassin des Tacreniers est aussi relativement plat entre le transect 29 et l'aval. Quelques irrégularités dans la forme du fond sont cependant visibles. En rive droite transect du 29 et en rive gauche du transect 31, deux zones plus creuses sont visibles. Excepté au niveau du transect 30 où l'on constate un élargissement ponctuel en rive gauche, la largeur de ce bassin entre le transect 29 et l'aval est constante (environ 100 m de large).

Le bassin de la Grande Braye, est lui aussi relativement plat avec une altitude du fond d'environ 87,5 m. Au niveau du transect 26, une zone de resserrement est visible.

Enfin, dans le bassin Saint Santin, la pente entre le transect amont et le transect aval est estimée en environ 0,3%. De même que pour le bassin de la Grande Braye, on note un rétrécissement brusque dans la partie amont du bassin (transect 38).

Ces mesures de profils en travers, associées aux mesures de débits permettent d'estimer les vitesses moyennes d'écoulement dans les bassins du Loiret. Les mesures de débits ayant été réalisées au niveau des vannes les vitesses n'ont pas pu être estimées sur les transects se trouvant très en amont de la chaussée de Saint Samson (transect 1 à 17) et à l'arrivée du Bras de la Fontaine dans le bassin des Tacreniers (transects 27, 28 et 29).

Les débits retenus et les vitesses d'écoulement estimés pour chaque transect sont présentés dans le Tableau 12.

Tableau 12: Vitesses d'écoulement dans le Loiret privé

Transects	Débit (m3/s)	Vitesse (m/s)		Transects	Débit (m3/s)	Vitesse (m/s)
18	4.8	0.022		30	8.3	0.059
19	4.8	0.021		31	8.3	0.072
20	5.1	0.031		32	8.3	0.067
21	5.1	0.022		33	8.3	0.061
22	5.1	0.040		34	8.3	0.077
23	3.9	0.062		35	6.427	0.091
24	1.206	0.040		36	6.427	0.186
25	1.206	0.010		37	6.427	0.107
26	1.6	0.038		38	3.719	0.044
27	-	-		39	3.719	0.232
28	-	-		40	3.719	0.049
29	-	-				

Les vitesses d'écoulement sont très très faibles, inférieur à 10 cm/s dans la majorité des cas. Au niveau des transect 36 et 39 la vitesse d'écoulement est de l'ordre de 20 cm/s. Cela s'explique par la présence d'un rétrécissement brusque à ces deux endroits.

La largeur du Loiret est très importante pour les débits qui y circulent. Dans un cours d'eau où les écoulements ne sont pas perturbés par des aménagements, la largeur, le débit et la hauteur d'eau sont liés. A titre de comparaison, nous avons estimé la largeur « naturelle » d'un cours d'eau où transitent les débits mesurés dans le Loiret, avec la formule de Manning-Strickler.

Les hypothèses et paramètres retenus pour cette estimation sont les suivantes :

- Ecoulement permanent uniforme
- Vitesse d'écoulement de l'ordre d
- Section d'écoulement rectangulaire
- Hauteur d'eau h=2 m
- Pente I=0,03% (pente mesurée entre le Bouillon et la chaussée de Saint Santin)
- Rugosité K=20 (estimation de la rugosité du lit du Loiret)

Équation 1 : Equation de Manning-Strickler

$$Q = \sqrt{I} K_s S_h R_h^{2/3}$$

Avec :

Q : le débit (m³/s)

I : la pente (m/m)

Ks : le coefficient de Strickler (m^{1/3}/s)

Sh : la surface hydraulique (m)

Rh : le rayon hydraulique (m)

Le tableau ci-dessous regroupe les résultats obtenus.

Tableau 13: Estimation de la largeur d'un cours d'eau de même débit que le Loiret en régime permanent uniforme

Localisation	La Mothe		Saint Santin	Saint Samson aval	Saint Julien	La Grande Braye	Les Tacreniers
Débit (m³/s)	1,206	1,6	3,719	4,8	5,1	6,427	8,3
Largeur (m)	4,6	5,3	8,6	10,1	10,5	12,2	14,6
Vitesse moyenne (m/s)	0,13	0,15	0,22	0,24	0,24	0,26	0,28

Ces largeurs sont très inférieures à celle mesurées dans le Loiret. Le bassin des Tacreniers à une largeur d'environ 100m pour un débit compris entre 6 et 8,3 m³/s.

3.3. Les plantes envahissantes

Depuis plusieurs années, le Loiret connaît une prolifération de plantes envahissantes durant l'été, particulièrement à l'amont. Ces plantes recouvrent même parfois la totalité de la surface des bassins. (Figure 31)



Figure 30 : Le bassin de Saint-Samson pendant l'été 2015 (© SAGE Val Dhuy-Loiret)

Des inventaires sont réalisés chaque été depuis 2013 afin de répertorier les espèces présentes et d'estimer leur abondance. Cinq classes d'abondance sont définies, allant de 1 (très peu présente) à 5 (présente en grande quantité).

Les principales espèces qui se développent dans les bassins sont l'algue verte filamenteuse qui est une espèce locale envahissante et deux espèces invasives, *Egeria Densa* (Egérie dense) et *Elodea nuttallii* (Elodée de Nuttall).

A partir des résultats de l'inventaire de l'été 2015, des cartes de répartition de ces trois espèces ont été réalisées sous SIG. De même que pour les épaisseurs de vase la méthode de l'interpolation triangulaire a été utilisée. Les cartes interpolées pour ces trois espèces sont présentées en Annexe 6.

Les algues vertes sont présentes sur l'ensemble des bassins du Loiret mais dans des densités plus importantes à l'amont. L'Egérie dense est présente principalement dans les bassins de Paul Forêt, Saint Samson et la Mothe. Enfin, on retrouve l'Elodée de Nuttall principalement à l'aval du bassin des Tacreniers, dans les bassins de Saint Santin et de la Grande Braye et dans le Loiret public.

3.4. Les opérations de curage

Le Loiret a connu de nombreuses opérations de curage au fil des décennies. La liste de l'ensemble des opérations de curage dans les bassins du Loiret est présentée dans le tableau 14. Pour chaque zone curée, l'épaisseur de vase retirée a été estimée, lorsque cela était possible. Cependant, concernant les curages les plus anciens, il n'existe d'estimation des volumes retirés.

De plus dans les bassins de Saint Samson et Paul Forêt, certains riverains ont participé au financement des opérations de curage afin que de la vase soit retirée devant leur habitation. Aujourd'hui encore, certains riverains retirent parfois eux-mêmes, sur quelques m² la vase qui s'accumule devant leur propriété. (ASRL)

Enfin, dans les archives du SAGE, il apparaît qu'en 1984 un essai de curage a été réalisé. Cependant nous ne disposons pas d'information supplémentaire concernant cette opération.

Il est ainsi difficile d'estimer précisément les quantités de vase extraites et la localisation de certaines opérations de curage.

Tableau 14 : Opération de curage dans les bassins du Loiret et le Bras des Montées depuis 1969

Bassin	Localisation précise	Date	Quantité de vase extraite (m3)	Quantité de vase extraite (cm)
La Source	Confluence avec le Dhuy	1989 – En même que des opérations de curage du Dhuy	Inconnue	Inconnue
	La Fosse aux Brochets et devant les propriétés de certains riverains de Paul Forêt	1987	10 000	
	Hypothèse : de la pointe du camping au pont Cotelle	Janvier 1999	2 500	Environ 25 cm
Paul Forêt	A priori aucune opération de curage entre les années 40 et 1999			
		Mars 1999	5 000	Estimation impossible
Bras des Montées	<i>Hypothèse : 21m de large sur 1,5km de long</i>	1982	15 000	Environ 50 cm
	21m de large sur 1,5km de long	Décembre 1998 - Janvier 1999	24 000	Environ 75 cm
	En amont de la passerelle du Parc des Expos	2000	1 500	(7m de large sur 200m de long) Entre 75cm et 1m
Saint Samson	Aucune opération de curage recensée			
Bras du Couasnon	Tout le bras	1969	Inconnue	Inconnue
	Tout le bras	1983	Inconnue	Inconnue
	Tout le bras	1994	Inconnue	Inconnue
	7m de largeur sur toute la longueur du bras	2001	1 000	Environ 50 à 60 cm
Bras de la Reine Blanche		1985	Inconnue	Inconnue
		1999	Inconnue	Inconnue
Saint Julien	Aucune opération de curage recensée			
Bras de la Fontaine		Septembre 1993	1 000	Environ 10cm sur toute la longueur du bras
La Mothe	Aucune opération de curage recensée			
Les Tacreniers	<i>Hypothèse : 1 500 m3 à l'amont (arrivée du bras de la Fontaine), le reste entre le moulin du Bac et la chaussée des Tacreniers</i>	Septembre 1993	35 000	Environ 20 cm à l'amont Environ 25 à 30 cm dans le bassin
Saint Santin	<i>Hypothèse : sur tout le bassin</i>	1992	15 000 (<i>Hypothèse : 7500 dans Saint-Santin et 7500 dans la Grande Brayé</i>)	Environ 30 cm
La Grande Brayé	<i>Hypothèse : à l'amont à proximité du moulin du Rondon</i>			Environ 1m sur la partie amont (île reprofilée selon le contrat de rivière de 1991)

1984 : Expérience de dévésage au Nautex sur une section du Loiret (Contrat de rivière, 1991)

On ne dispose d'aucune indication sur le lieu où a été réalisée cette opération.

3.5. Schéma de synthèse

L'ensemble des informations caractéristiques de l'hydraulique du Loiret ont été synthétisées sous forme d'un schéma, qu'il est possible de mettre en parallèle avec les cartes d'épaisseurs de vase.

Chaque rectangle représente un tronçon homogène en termes d'écoulement. Afin de ne pas surcharger le schéma, les informations concernant les plantes envahissantes n'y apparaissent pas et la largeur de seulement quelques transects a été indiquée.

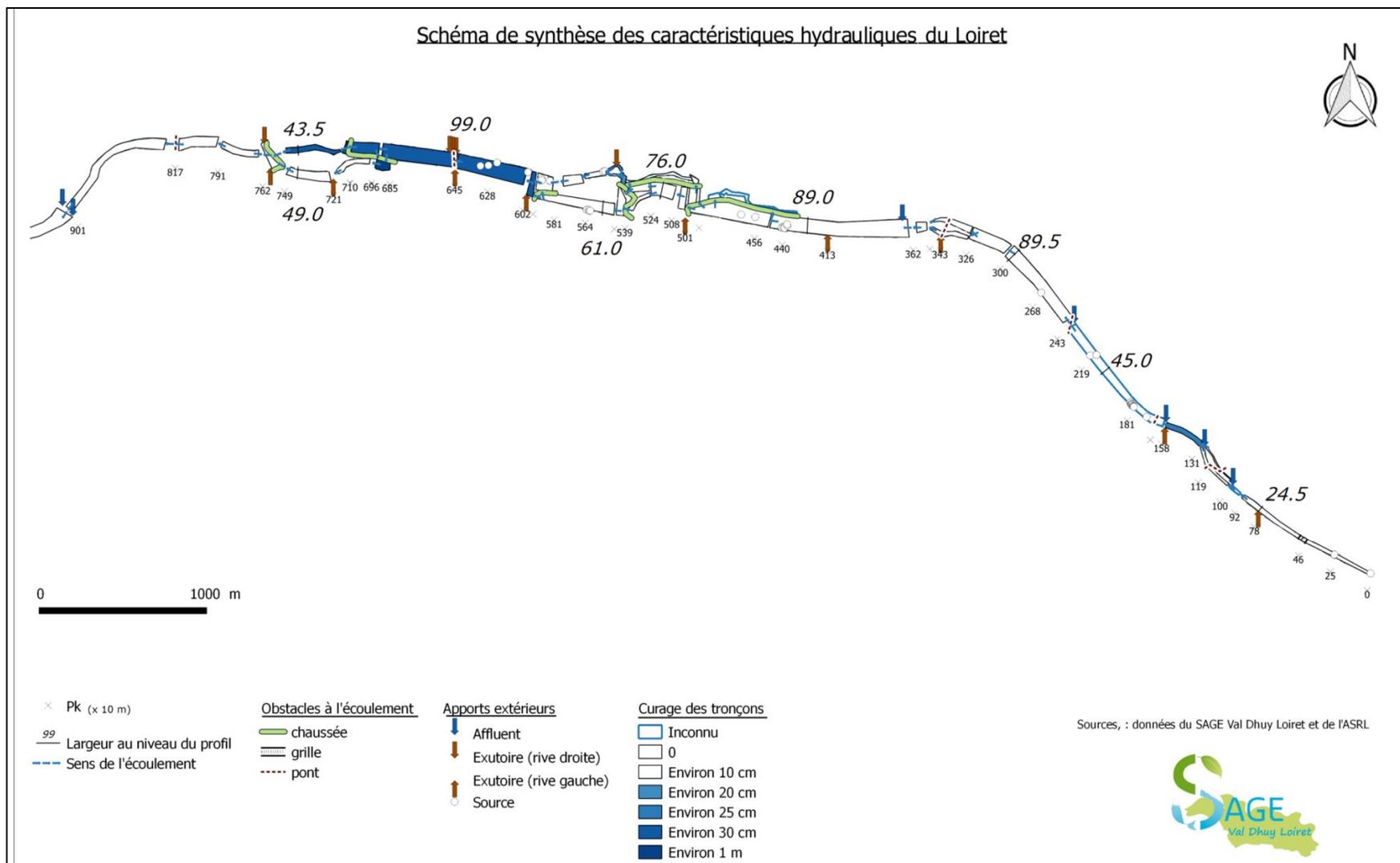


Figure 31 : Schéma de synthèse des caractéristiques hydrauliques du Loiret

4. Des facteurs explicatifs de la sédimentation des bassins du Loiret

L'actualisation des mesures d'épaisseurs de sédiments et la caractérisation de l'hydraulique du Loiret permet de formuler plusieurs hypothèses sur les causes de la sédimentation du Loiret.

4.1. Les apports extérieurs en matière en suspension

4.1.1. Les apports du Dhuy

La confluence avec le Dhuy est une zone où les épaisseurs de vase sont importantes et qui continue de s'envaser.

Cet endroit se caractérise par un changement de régime hydraulique pour les eaux du Dhuy. La vitesse diminue fortement, ce qui entraîne un dépôt d'une partie des matières transportées. Ce phénomène est d'autant plus important que les quantités de matières transportées par le Dhuy sont élevées.

Le Dhuy draine les zones agricoles de l'est du Val. Dans les années 60, il est déjà question du rôle important du Dhuy dans la sédimentation du bassin de la Source. « Ses crues sont excessivement brutales, il ravine le sol alluvionnaire et produit des atterrissements sableux dans le cours supérieur du Loiret. » (Reguigne, 1967)

Dans les années 70, son cours a été redessiné et son lit creusé afin d'éviter les débordements en période de crue. Or l'augmentation de la vitesse et de la ligne d'eau dans le chenal entraîne une forte érosion au niveau des berges. Les sédiments extraits des berges sont alors transportés jusqu'au Loiret où ils se déposent. Ainsi, une étude menée en 1995 avait proposé de mettre en place des solutions de stabilisation des berges et des systèmes de piégeages des sédiments dans des bassins de rétention sur la partie amont du bassin versant du Dhuy (à la confluence avec l'Ousson). Le projet de construction de bassins de décantation n'a finalement jamais été mis en œuvre. (Aquascop 1995)

Des mesures ponctuelles des concentrations en matières en suspension ont été réalisées dans la partie aval du Dhuy en 2007 en période de hautes eaux. Les concentrations se situaient entre 30 et 140 mg/L. (Géo-Hyd, 2009)

Le Dhuy apporte encore d'importantes quantités de sédiments dans le Loiret. A la confluence, la différence entre les eaux provenant des sources karstiques, très claires, et les eaux provenant du Dhuy, chargées en sédiments, est clairement visible. (Figure 33). Cependant, des travaux de suppression de certains seuils, de renaturation du cours d'eau ont eu lieu et d'autres sont encore à venir. Le recalibrage naturel du cours d'eau et la stabilisation des berges par la végétation devrait permettre une limitation de l'érosion des berges et favoriser le dépôt des sédiments sur les banquettes latérales en cas de crue.



Figure 32: Confluence avec le Dhuy - 10 février 2016 (© SAGE Val Dhuy Loiret)

4.1.2. Les apports du bassin versant urbain

L'urbanisation s'est fortement développée sur les berges des bassins amont du Loiret. Ce développement s'est probablement accompagné d'une augmentation des déversements d'eaux pluviales dans le Loiret, notamment dans la partie amont. La décantation de ces particules a favorisé l'envasement des bassins amont.

De plus, l'ancienne station de traitement des eaux usées de la Source aussi joué un rôle important dans l'envasement des bassins amont, comme le confirme les récents résultats de la thèse de Thomas THIEBAULT. Cette thèse s'est notamment intéressée aux résidus médicamenteux dans les sédiments du bassin de Saint Samson. L'étude des molécules présentes a permis d'estimer le taux de sédimentation de ce bassin entre 1977 et 2013. (tableau 15)

Tableau 15 : Taux de sédimentation du bassin de Saint Samson entre 1977 et 2013

Période	Taux de sédimentation (cm/an)
1977 - 1982	3,4
1982 - 1989	3,1
1989 - 2013	0,46

Sur la période 2003-2006, Géo-Hyd avait estimé que le taux de sédimentation était de l'ordre de 0,9 cm/an.

Suite au détournement des effluents de sortie de la station de traitement vers la Loire, le taux de sédimentation a fortement diminué. Les rejets de cette station de traitement ont donc fortement contribué à l'envasement des bassins amont.

Aujourd'hui, cette station ne déverse plus dans le Loiret. Cependant quatre « points noirs » de rejets d'eaux pluviales sont présents à l'amont.

Ainsi, l'envasement du Bras de Montées est principalement dû aux nombreux déversements d'eaux pluviales qui y ont lieu.

Enfin, à l'aval du bassin des Tacreniers où l'on constate quelques zones de dépôts, se trouve plusieurs exutoires d'eaux pluviales. De plus, l'étude de Géo-Hyd avait conclu en 2009 que la sédimentation importante du bassin des Tacreniers entre 2003 et 2006 résultait très probablement, en grande partie, des rejets d'eaux pluviales urbaines.

4.1.3. Les plantes envahissantes

La présence de plantes dans le lit du cours d'eau modifie les écoulements. Une étude a ainsi montré que la présence de végétation dans le lit peut augmenter jusqu'à quatre fois sa rugosité. Lorsque le lit est totalement recouvert de plantes, la rugosité dépend principalement de la hauteur de submersion des plantes. (Västilä *et al.*, 2016). En freinant l'écoulement, les plantes facilitent donc le dépôt de sédiments.

De plus, avec leurs racines elles stabilisent les sédiments en place.

Enfin, l'Egérie dense produit une importante quantité de biomasse. Une étude sur quatre sites en Australie, Colombie, au Chili et au Brésil a ainsi montré que la quantité de biomasse pouvaient varier de 80 à 3000 g de matière sèche/ m², en fonction de la période de l'année. (Haramoto & Ikusima, 1987)

La figure ci-dessous illustre le cycle de vie de l'Egérie dense dans un canal d'irrigation au Japon. En été cette plante se développe jusqu'à atteindre la surface de l'eau. A l'automne, la majeure partie de la plante meure. Elle passe l'hiver sous forme de petites « tâches » de plantes au fond du cours d'eau. A la fin de l'automne, les branches mortes d'Egérie tombent au fond du cours d'eau et s'y décomposent ou sont emportées en aval par le courant.

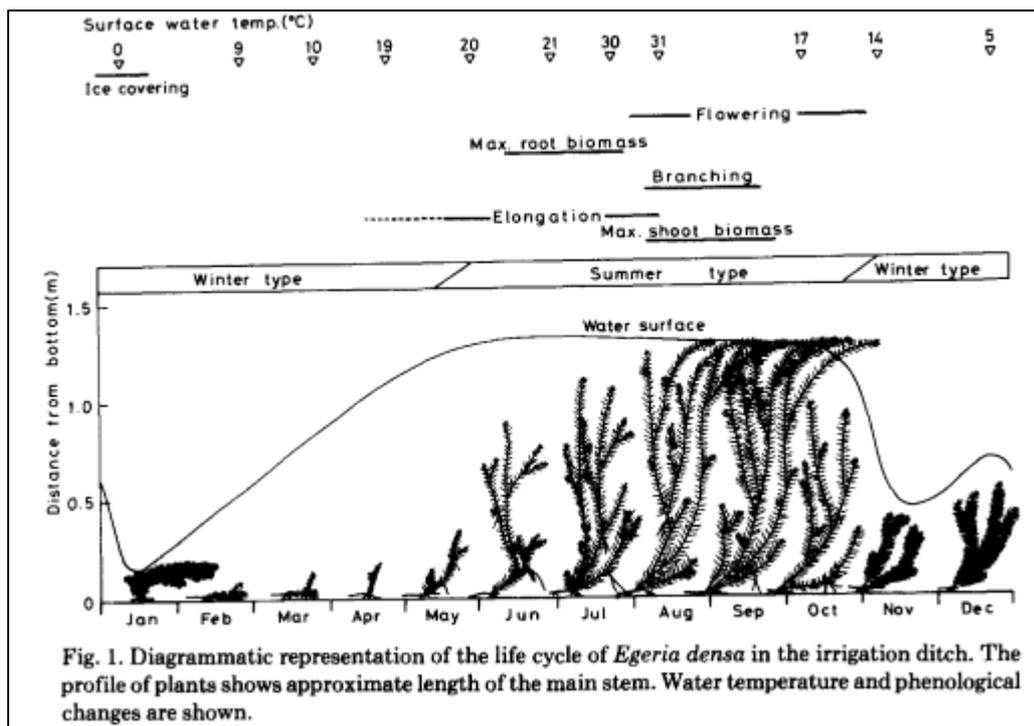


Figure 33 : Cycle de vie de l'Egérie dense dans un canal d'irrigation au Japon (Haramoto & Ikusima, 1987)

Les plantes envahissantes retiennent ainsi les sédiments et matières en suspension mais apportent aussi leur contribution à la sédimentation en se décomposant au fond du cours d'eau.

Une comparaison entre les cartes d'épaisseurs de vase et de répartition des plantes envahissantes a été réalisée. Dans le bassin de la Mothe, la zone d'accumulation de sédiments correspond à une zone de forte densité d'algues vertes filamenteuses et d'Egérie dense.

A l'amont, les zones de très fortes présences d'algues vertes et d'égérie dense coïncident aussi avec certaines zones de sédimentation.

Enfin, il ne semble pas y avoir de relation entre le développement de l'Elodée de Nutall et la sédimentation des bassins.

4.2. La faible capacité de transport

4.2.1. Le transport solide dans un cours d'eau

Le transport ou la sédimentation d'une particule dépend tout d'abord du type de sédiment, définissant sa vitesse de chute, et de la vitesse d'écoulement de l'eau.

Le diagramme d'Hujström, nous donne pour chaque classe granulométrique, le comportement attendu en fonction de la vitesse du cours d'eau. (figure 35)

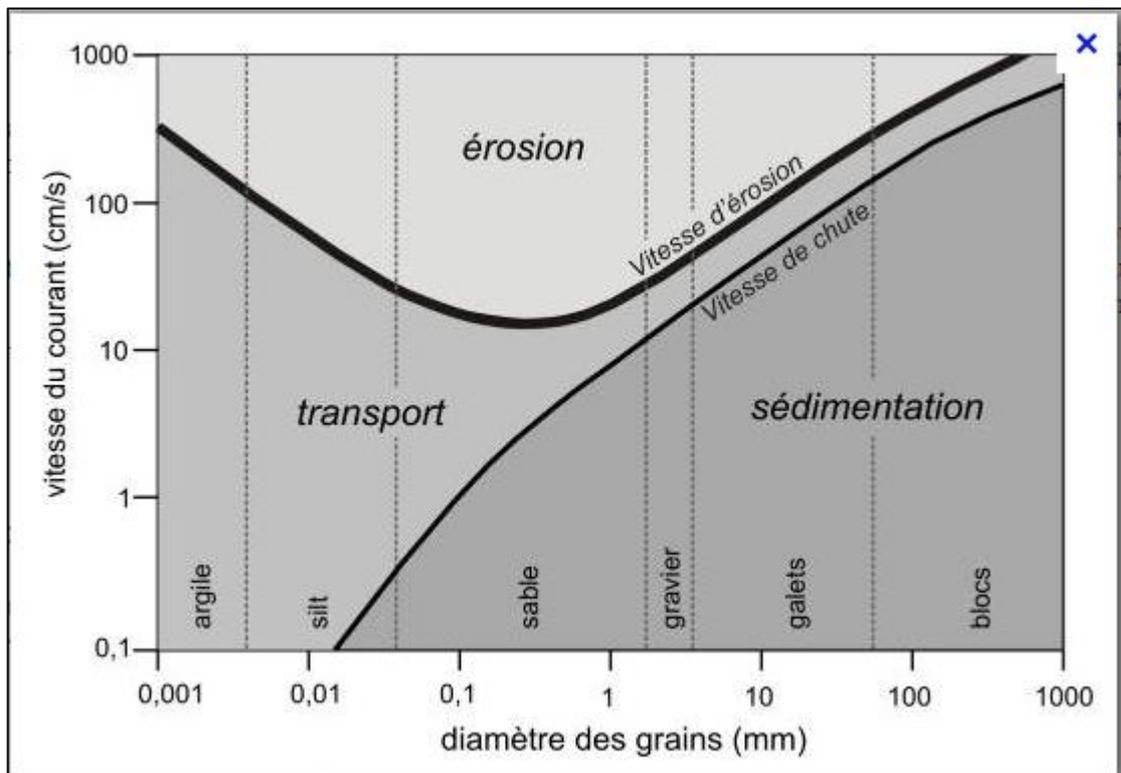


Figure 34 : Diagramme d'Hjuström

Le transport de sédiments dans un cours d'eau peut s'opérer de deux façons : par charriage et par suspension.

Les particules charriées se déplacent par roulements et petits sauts. Elles sont en contact quasi permanent avec le fond. Leur vitesse de déplacement est inférieure à la vitesse d'écoulement de l'eau.

Les particules transportées par suspension se déplacent donc à une vitesse très proche voire égale à celle de l'eau. Elles sont maintenues en suspension grâce aux turbulences dans la colonne d'eau. (Malavoi *et al.*, 2011 ; Camenen *et al.*, 2009-2010)

Certains chercheurs ajoutent un troisième mode de transport, compris entre le charriage et la suspension : la saltation. Les particules se déplacent plus rapidement que les particules charriées, par grands bonds de quelques dizaines de centimètres au-dessus du lit. (Malavoi *et al.*, 2011)

Ces modes de transport sont illustrés par la figure 35. Ils peuvent coexister sur un même tronçon de cours d'eau. Cependant, le transport en suspension ne concerne que les particules les plus fines : sables, silt, limons et argiles. Les limons et argiles, une fois mis en mouvement peuvent même se déplacer en suspension dans la colonne d'eau sur de très longues distances et ne se redéposent qu'en cas d'écoulement très calme voire stagnant. (Malavoi *et al.*, 2011)

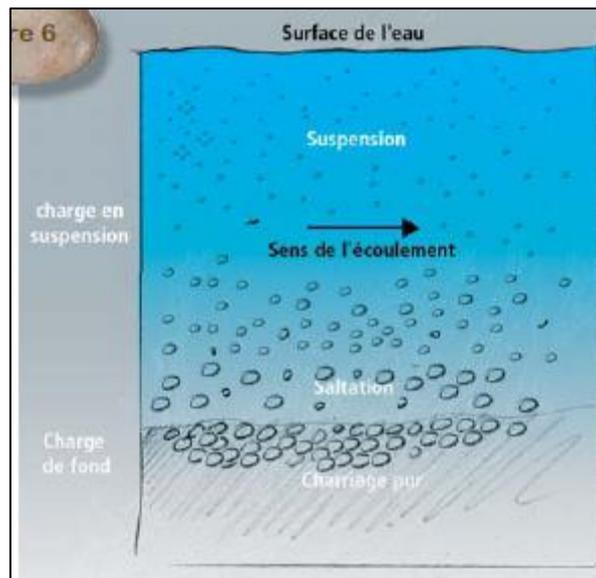


Figure 35 : Différents modes de transport des particules dans un cours d'eau (Malavoi et al., 2011)

La mise en mouvement d'une particule posée au fond du cours d'eau dépend à la fois de ses caractéristiques et des caractéristiques de l'écoulement.

Les travaux menés par Shields en 1936, ont permis de mettre en évidence la relation entre un paramètre et la mise en mouvement d'une particule. Ce paramètre, nommé paramètre de Shields s'exprime de la façon suivante :

Équation 2: Paramètre de Shields

$$\theta = \frac{\tau_0}{(\rho_s - \rho)gD} \quad (\text{sans unité})$$

Avec :

τ_0 : contrainte de fond (Pa)

$$\tau_0 = \rho g R_h I \quad (\text{Pa})$$

ρ : masse volumique de l'eau (kg/m³)

g : accélération de pesanteur (m/s²)

R_h : rayon hydraulique (m)

I : pente du fond (m/m) en régime permanent uniforme, lorsque le régime n'est pas permanent on utilise J : la pente d'énergie (la pente de la ligne d'eau) en m/m

ρ_s : masse volumique des sédiments (kg/m³)

ρ : masse volumique de l'eau (kg/m³)

g : accélération de pesanteur (m/s²)

D : diamètre d'une particule (m)

Le tableau-ci-dessous nous donne le mode de transport des particules en fonction de la valeur du paramètre de Shields.

Tableau 16: Mode de transport des particules en fonction de la valeur du paramètre de Shields

Valeur de paramètre de Shields	Mode de transport des particules
$\Theta < 0,03$	Aucun mouvement du substrat
$0,03 < \Theta < 0,047$	Apparition des premiers mouvements mais ils ne sont pas assez soutenus par générer un débit solide
$\Theta > 0,047$	Charriage
$0,062 < \Theta < 0,25$	Charriage avec apparition de dunes
$0,25 < \Theta < 2,5$	Charriage et suspension avec présence de dunes
$\Theta > 2,5$	Suspension intense sans dune – Cas de crue pas exemple

Les valeurs limites de ce paramètre pour la mise en mouvement des particules ont été calées grâce à des mesures effectuées dans des canaux à fond plat avec des particules de granulométrie uniforme.

Les limites entre les différents modes de transport peuvent donc légèrement varier dans une rivière naturelle.

Suite à ce constat, différentes formules de transport solide ont été établies au fil des décennies. Leur utilisation dépend du type de transport solide (charriage ou charriage + suspension), des caractéristiques du cours d'eau et des caractéristiques de l'écoulement.

Enfin, il est important de distinguer la capacité de transport et le débit solide réel. Ces formules nous donnent en effet le débit solide dans des conditions idéales, avec un stock de sédiments suffisamment important pour alimenter le débit solide. Il s'agit donc de la capacité maximale de transport du cours d'eau.

4.2.2. Le transport solide dans le Loiret

Les différents ouvrages présents sur le Loiret viennent perturber les écoulements. Le régime d'écoulement n'est donc pas uniforme.

Afin d'étudier le transport solide dans les bassins du Loiret, on s'intéresse donc à la pente d'énergie. Celle-ci correspond à la pente de la ligne d'eau. Or, comme l'on démontré les mesures précédentes, la pente de la ligne d'eau dans les bassins est nulle. La capacité de transport par charriage à l'intérieur de chaque bassin est donc nulle.

On n'a donc pas, en situation normale, de déplacements des sédiments déposés au fond des bassins. Cependant, localement une remise en mouvement de sédiments est possible, notamment à proximité des vannes ou des ponts où les turbulences sont importantes. Ce phénomène est notamment visible au niveau du pont du Maréchal Leclerc où les épaisseurs de sédiments stockés sont plus faibles que dans les autres zones du bassin et où il n'apparaît pas de phénomène de sédimentation. De même à l'amont et à l'aval direct des vannes, les épaisseurs de vase sont nulles.

Ainsi, comme l'avait affirmé Géo-Hyd dans son rapport de 2009, la majorité des matières qui décantent dans les bassins du Loiret ne provient pas d'une remobilisation des sédiments stockés au fond des bassins.

L'analyse des profils en travers a aussi permis de mettre en évidence des zones plus creuses donc plus favorables à la décantation des matières en suspension. Une première zone plus creuse se trouve au centre du bassin de Saint Samson, au niveau des transects 17 et 18. Des deux zones autres identifiées se trouvent dans le bassin des Tacreniers au niveau des transects 29 et 31. Ces zones correspondent effectivement à des zones d'accumulations de sédiments.

4.3. La gestion des vannes et les travaux

Enfin, la modification de la gestion des ouvrages et les travaux d'aménagement dans le Loiret ont modifié, au cours des décennies, sa capacité de transport.

Le dernier meunier du Loiret a cessé son activité dans les années 70. Suite à l'arrêt de l'activité des meuniers, les propriétaires ont continué de maintenir les niveaux d'eau à la cote légale de retenue, tout en conservant les vannes de roues fermées. Ainsi, en période d'étiage par exemple, la quasi-totalité des vannes de chaussée étaient fermées afin de maintenir le niveau d'eau dans les bassins.

Comme le souligne un rapport du SRAE de 1991, « tous les moulins étant arrêtés maintenant, il est certain que la modification des écoulements qui en résulte a pu favoriser les ensablements que l'on constate. » (SRAE, 1991)

En effet, la vitesse étant quasiment nulle, la décantation des matières en suspension à l'amont de la première chaussée a été favorisée.

Depuis plusieurs années une nouvelle politique de gestion des vannes a été mise en place. Afin de favoriser les écoulements dans le Loiret, certaines vannes restent constamment ouvertes. Le niveau de la ligne reste ainsi, la plupart du temps, inférieur à la cote légale de retenue. Pour un même débit la vitesse d'écoulement dans les bassins sera alors plus importante.

En modifiant les caractéristiques locales des écoulements, la nouvelle gestion des vannes a pu favoriser, localement la remise en suspension de sédiments.

4.4. Les opérations de curage

De nombreuses opérations de curage ont été menées dans les bassins du Loiret. Cependant, peu de sédiments ont été extraits dans les bassins amont. Aucune opération de curage n'a notamment été recensée dans le bassin de Saint Samson depuis 1969. Cela peut, en partie, expliquer les épaisseurs importantes que l'on retrouve dans les bassins amont.

A l'inverse, le Bras du Couasnon et le Bras de Montées ont été régulièrement curés. La dernière opération dans ces bras date respectivement de 2000 et 2001. Le lit du Bras du Couasnon a été creusé d'une cinquantaine de centimètres et celui du Bras des Montées de plus de 75 cm.

Suite à ces opérations de creusement lit, la décantation des matières en suspension est facilitée. Cela explique, en partie, les taux de sédimentations importants constatés entre 2003 et 2006 et encore actuellement.

Conclusion : Les épaisseurs de sédiments les plus importants se trouvent dans les bassins amont. Les apports extérieurs en provenance du bassin urbain, de la station d'épuration de la source et du Dhuy ont fortement contribué à l'envasement de cette zone. De plus, suite à l'arrêt des moulins, la fermeture de nombreuses vannes a facilité la décantation des matières en suspension dans les bassins amont. Enfin, peu de sédiments y furent extraits.

Le volume de sédiments stockés dans les bassins du Loiret a diminué entre 2006 et 2016. L'une des principales hypothèses pour expliquer ce phénomène est la nouvelle gestion des vannes. Cependant, localement, des zones de sédimentation sont visibles. Les Dhuy et le bassin versant urbain constituent des sources importantes de matières en suspension. Les caractéristiques hydrauliques, la géométrie du cours d'eau et la présence de plantes envahissantes favorisent leur décantation dans certaines zones.

Conclusion générale

Le Loiret est un cours d'eau atypique, aux caractéristiques uniques. Celui-ci connaît de fort problème d'envasement depuis de nombreuses années.

Une nouvelle campagne de mesures menée au printemps 2016 a estimé que les volumes de vase stockés dans les bassins du Loiret et le bras des Montées étaient de l'ordre de 306 000 m³. Les épaisseurs de vase les plus importantes se trouvent dans la partie amont du Loiret et dans le Bras des Montées. Cependant sur ces dix dernières années, la sédimentation des bassins a diminué de plus de 15%, avec de fortes disparités locales.

L'étude des caractéristiques du Loiret a permis de mettre en évidence différents facteurs explicatifs. Les apports extérieurs via le Dhuy et le bassin versant urbain ont joué et jouent toujours un rôle important dans la sédimentation du Loiret et du Bras des Montées. De plus la géométrie du lit et les nombreux ouvrages que compte le Loiret facilitent le dépôt de matières en suspension dans certaines zones. Enfin, les plantes envahissantes aident à retenir les MES et maintiennent les sédiments stockés dans les bassins. Cependant, la nouvelle gestion des niveaux d'eau et des vannes a joué un rôle important dans la limitation de la sédimentation des bassins ces dernières années.

Les mesures effectuées en mars 2016 traduisent l'état d'envasement du Loiret à un moment donné. Suite à la crue de fin mai-début juin 2016, la répartition des sédiments a été quelque peu modifiée.

Ainsi, la situation d'envasement du Loiret tend à se stabiliser voire à s'améliorer. Cependant, les résultats des thèses de Léo CHASSIOT et Thomas THIEBAULT soulèvent de nouvelles interrogations sur ces sédiments. En effet, la présence de nombreux résidus médicamenteux dans les sédiments du bassin de Saint Samson est un facteur qu'il est important de prendre en compte pour la gestion future des sédiments stockés dans les bassins du Loiret.

Bibliographie

AQUASCOP, 1995, *Etude globale des apports en matières en suspension, phosphore, pesticides dans le bassin versant du Loiret – Rapport principal*

BINET S., AUTERIVES C., CHARLIER J.B., 2011, *Impact des Changements Environnementaux sur la Ressource en Eau- Construction d'un modèle d'étiage sur le Val D'Orléans*, 47 p.

BOSSER P., 2013, *Introduction à l'Interpolation Spatiale et aux Géostatistiques*, Ecole Nationale des Sciences Géographiques – Département positionnement terrestre et spatial, 50 p.

CAMEMEN B., PROUST S. et LE COZ J., 2009-2010, *Transport solide dans le lit des cours d'eau*, Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg, 62 p.

CHASSIOT L., 2015, *Forçage naturels et anthropiques sur la sédimentation en domaine lacustre – Application aux archives naturelles et artificielles d'Auvergne et du bassin versant de la Loire*, Thèse de doctorat, Sciences de la Terre, Université d'Orléans.

D'ILLIERS L., 1952, *Une rivière de France : Le Loiret, Son cours – Son histoire*, 96 p.

DURAND D., 2003, *Caractérisation physico-chimique des produits de l'assainissement pluvial. Origine et devenir des métaux traces et des polluants organiques*, Thèse de doctorat, Ingénierie chimique, biologique et géologique, Université de Poitiers, 268 p.

GÉO-HYD, 2009, *Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux du Loiret : Détermination des origines des sédiments des bassins du Loiret*, 91 p.

MALAVOI J.R., GARNIER C.C., LANDON N., RECKINGA., BARAN P., 2011, *Eléments de connaissance pour la gestion du transport solide en rivière*, Onema, 216 p.

MALEVAL V. et JIGOREL, *La sédimentation dans un lac artificiel. Exemple du lac de Saint-Pardoux, massif d'Ambazac, Limousin, France/Sedimentation in an artificial lake at Saint-Pardoux, massif d'Ambazac (Limousin, France)*, *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 2002, vol. 8, n° 4, p. 307-319.

MINISTERE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT ET DE L'AMÉNAGEMENTS DURABLES – DIRECTION GÉNÉRALE DE L'URBANISME, DE L'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION, 2007, *Guide méthodologique pour le pilotage des études hydraulique*, 272 p.

REGUIGNE R., 1967, *L'eau dans le Val d'Orléans : Etude de géographie physique appliquée au problème du ravitaillement en eau potable dans le Val d'Orléans*, Mémoire de DES, Faculté des lettres et Sciences d'Orléans.

ROUSSEAU C., GIRARD F. et BARTHELEMY E., année inconnue, *Mesures par ADCP (Station Hydrométrique ENSE3 Campus)*, Ecole Nationale Supérieure de l'Energie, de l'Eau et l'Environnement.

SAGE VAL DHUY-LOIRET, 2002, *Elaboration du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux du bassin du Loiret – Dossier d'Etat des lieux du Bassin Versant du Loiret*, 244 p.

SRAE, 1983, *Bassin du Dhuy -Recherche de l'origine des éléments nutritifs et de transport solide*

SRAE, 1991, Dévasement des bassins du Loiret

THIEBAULT T., 2016, L'adsorption des produits pharmaceutiques par interactions organo-minérales : processus et applications environnementales, Science de la Terre et de l'Univers, Université d'Orléans.

VÄSTILÄ K., JÄRVELÄ J. et KOLVUSALO H., 2016, Flow-vegetation-sediment interaction in a cohesive compound channel, *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 142, n°1, p. 04015034.

Dictionnaire en ligne Larousse

<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/vase/81162>

Qgis Documentation – Analyse spatiale (Interpolation)

https://docs.qgis.org/2.6/fr/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html

Banque Hydro

<http://www.hydro.eaufrance.fr/>

ANNEXES

Annexe 1 : Réalisation de la carte des épaisseurs de sédiments par méthode d'interpolation triangulaire sous Qgis

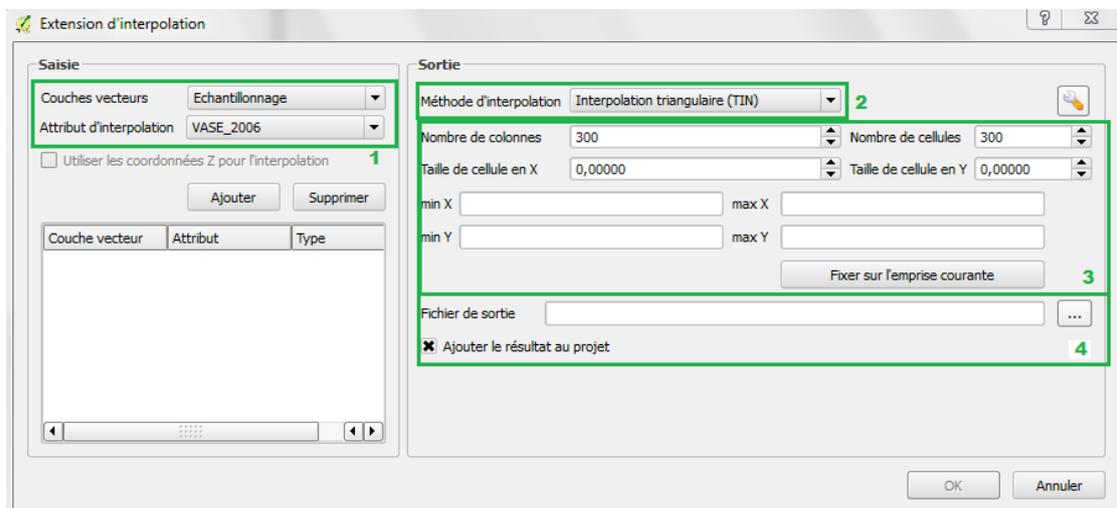
Interpolation

Pour interpoler les hauteurs de vase on utilise ici l'interpolation triangulaire (TIN) qui se base sur la méthode de la triangulation de Delaunay.



L'interpolation n'est faite que sur la zone visible à l'écran. Régler le zoom de façon à voir entièrement la zone d'étude à l'écran

Menu « Raster », « Interpolation », « Interpolation »



1. Choisir la couche des données dans « Couches vecteurs » et la colonne des valeurs à interpoler dans « Attribut d'interpolation » et ajouter ces données.
2. Choisir la méthode d'interpolation, ici « Interpolation triangulaire (TIN) ».
3. Cliquer sur « Fixer sur l'emprise courante » pour déterminer automatiquement les limites de la zone d'étude et la taille des cellules. Si besoin changer manuellement la taille des cellules (pour augmenter la résolution de l'interpolation par exemple).

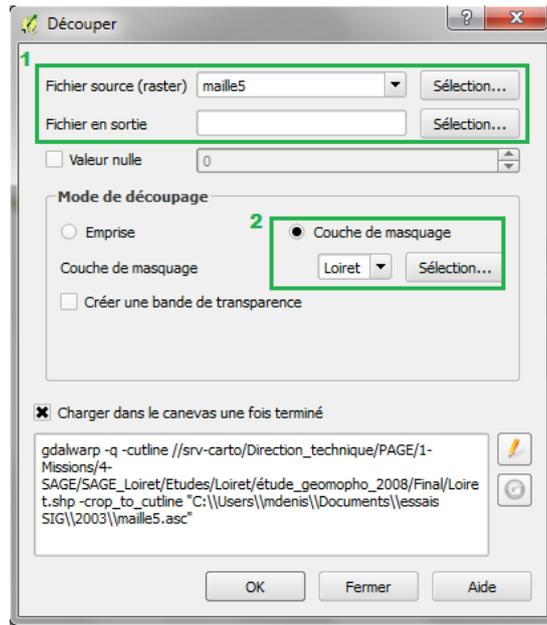
La taille des cellules des cartes réalisées dans cette étude est de 5 * 5 mètres. (Taille de cellule en X = 5 ; Taille de cellule en Y = 5)

4. Choisir l'emplacement et le nom du fichier de sortie.

Redécoupage

La couche interpolée sort de la zone d'étude. On peut la redécouper selon les contours de la zone d'étude.

Menu « Raster », « Extraction », « Découper ».



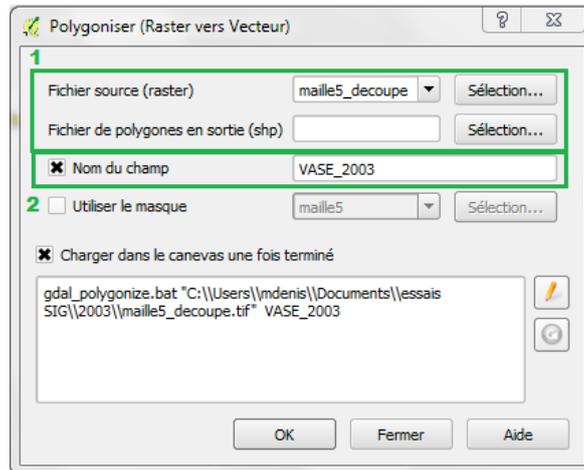
1. Choisir le fichier à découper dans « Fichier source (raster) » et l'emplacement et le nom du fichier découpé dans « Fichier en sortie ».
2. Cocher « Couche de masquage » et choisir la couche « Loiret » pour découper selon les contours de cette couche.

Annexe 2 : Vectorisation de la couche des épaisseurs de sédiments et extraction des épaisseurs dans chaque polygone sous Qgis

Transformation de la couche raster en couche vecteur

On commence par convertir la couche raster afin de pouvoir estimer les surfaces associées à chaque hauteur de vase.

Menu « Raster », « Conversion », « Polygoniser (raster vers vecteur) »



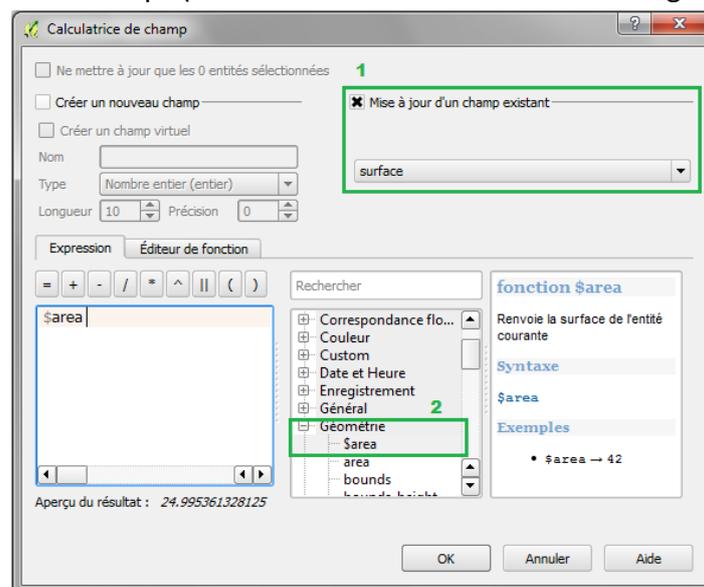
1. Choisir le fichier à vectoriser et le dossier et le nom du nouveau fichier vecteur
2. Renommer champ de valeurs attribué aux polygones. Ici à chaque polygone sera identifié par une hauteur de vase

Calcul de la surface de chaque polygone

Ouvrir la table attributaire de la couche vecteur que l'on vient de créer et activer le mode édition.

Ajouter une nouvelle colonne, qui servira au calcul des surfaces.

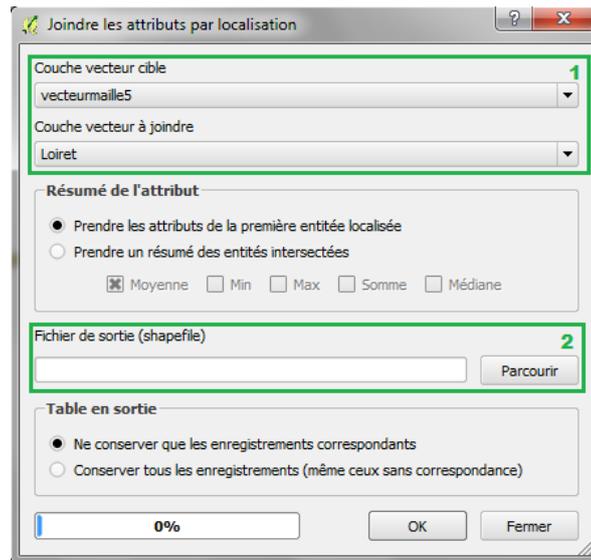
Ouvrir la calculatrice des champs (icône en forme de boulier en haut à gauche).



1. Choisir l'intitulé de la colonne que l'on vient de créer
2. Dans « Géométrie », double-cliquer sur \$area et fermer la fenêtre
3. Quitter le mode édition

Localisation des polygones

Enfin, pour faciliter le repérage, chaque polygone doit être associé à un bassin. Menu « Vecteur », « Outils de gestion de données », « Joindre les attributs pour la localisation ».



1. Sélectionner la couche vecteur qui contient les polygones que l'on veut localiser dans « Couche vecteur cible » et la couche contenant les noms des bassins dans « Couche vecteur à joindre ».
2. Choisir le dossier et le nom du nouveau fichier localisé.

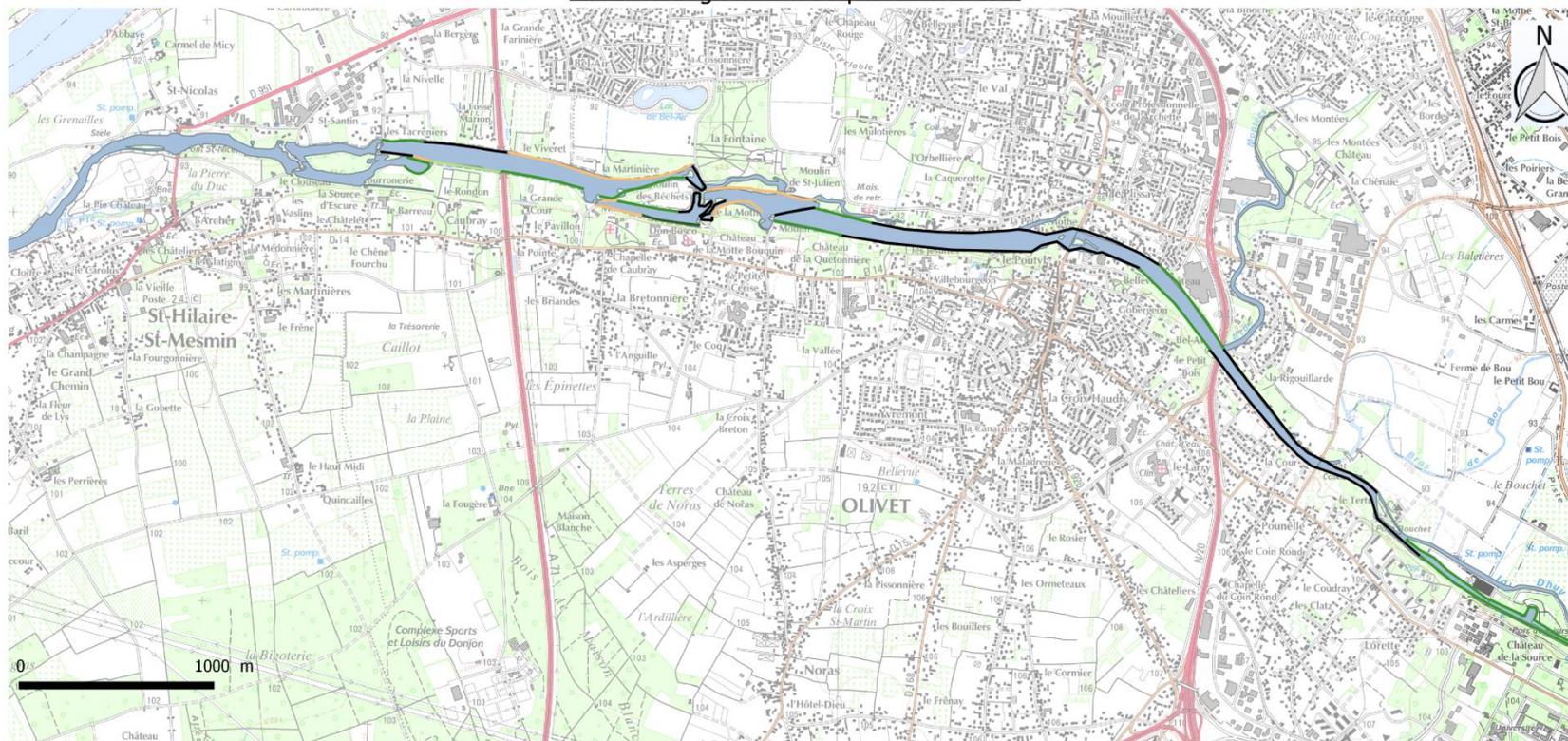
Chaque polygone est maintenant associé à une surface, une hauteur de vase et un bassin. On peut donc calculer les volumes de vase par bassin sous excel.

Pour exporter les données de la table attributaire en fichier .csv, faire un clic droit sur la couche, « Enregistrer sous » et choisir le format .csv.

Le volume de vase présent dans chaque bassin est ensuite estimé comme la somme des volumes de vase de chaque polygone du bassin considéré.

Annexe 3 : Etat des berges du Loire en mai 2016

Etat des berges du Loiret privé - Mai 2016



Sources : observations de terrain - mai 2016, IGN Scan 25

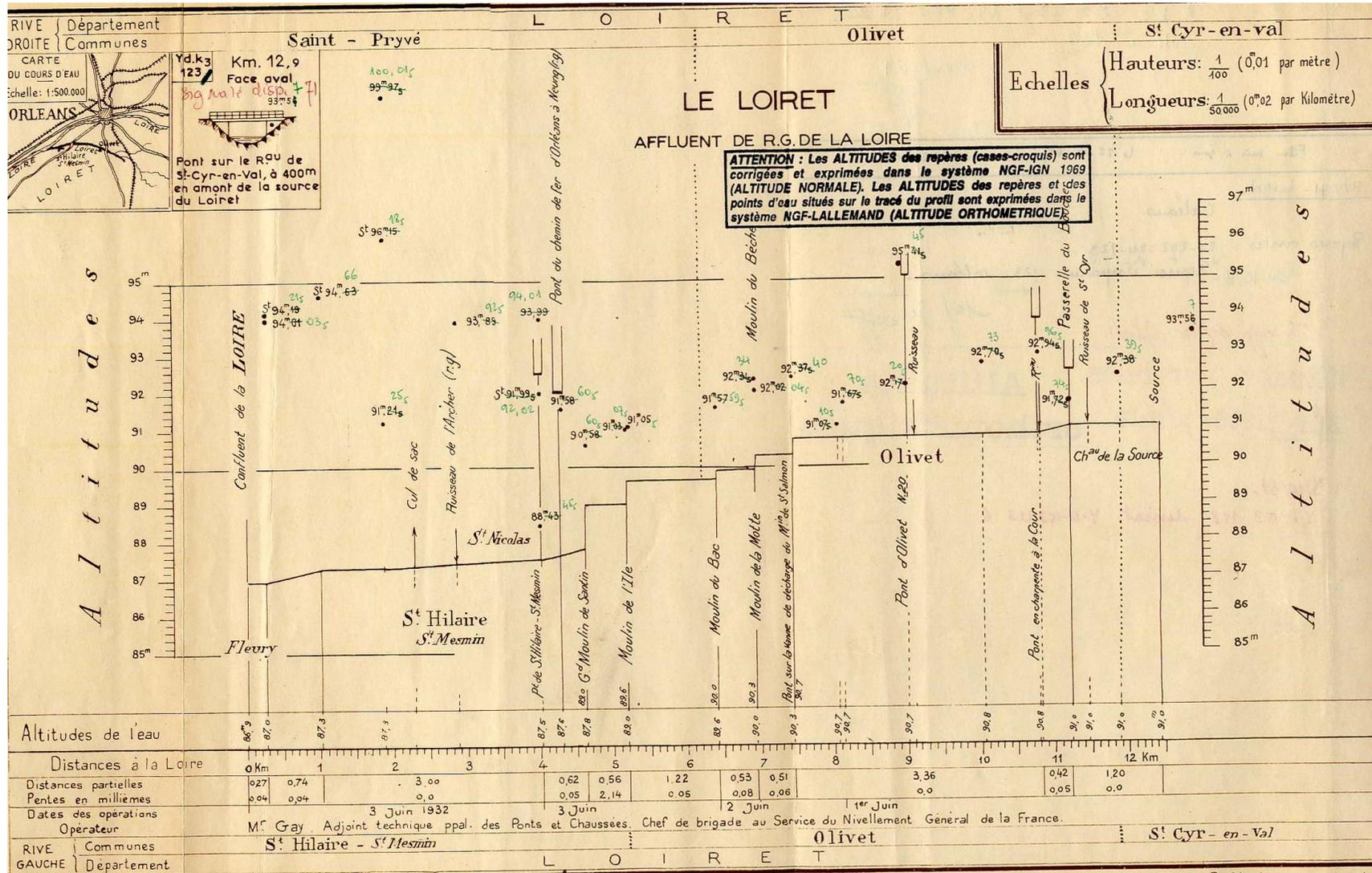
Etat des berges

Loiret

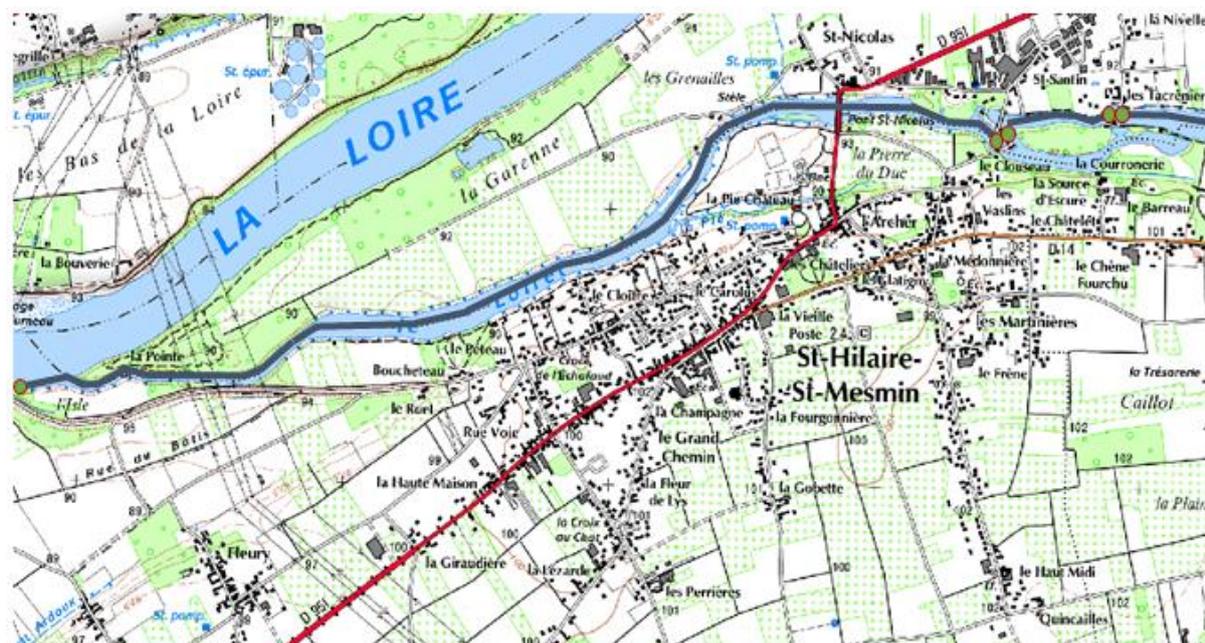
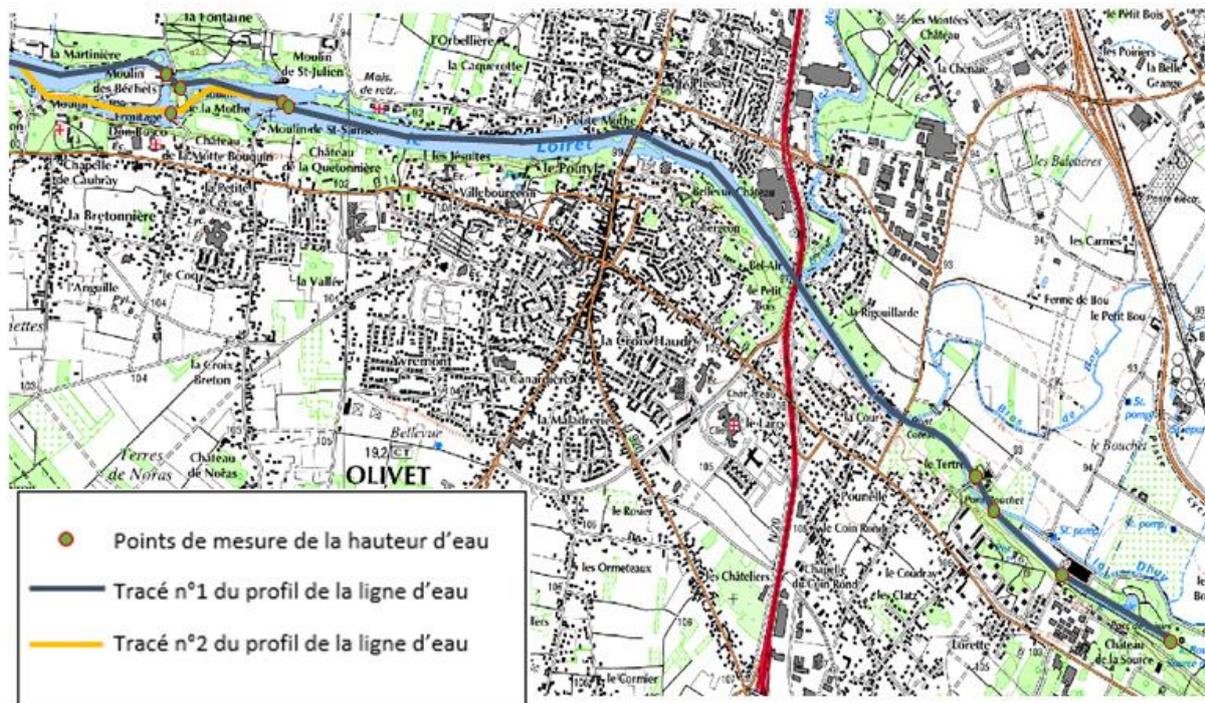
- bloquée
- pas ou peu érodée - berges très haute
- pas ou peu érodée
- quelques traces d'érosion
- érodée



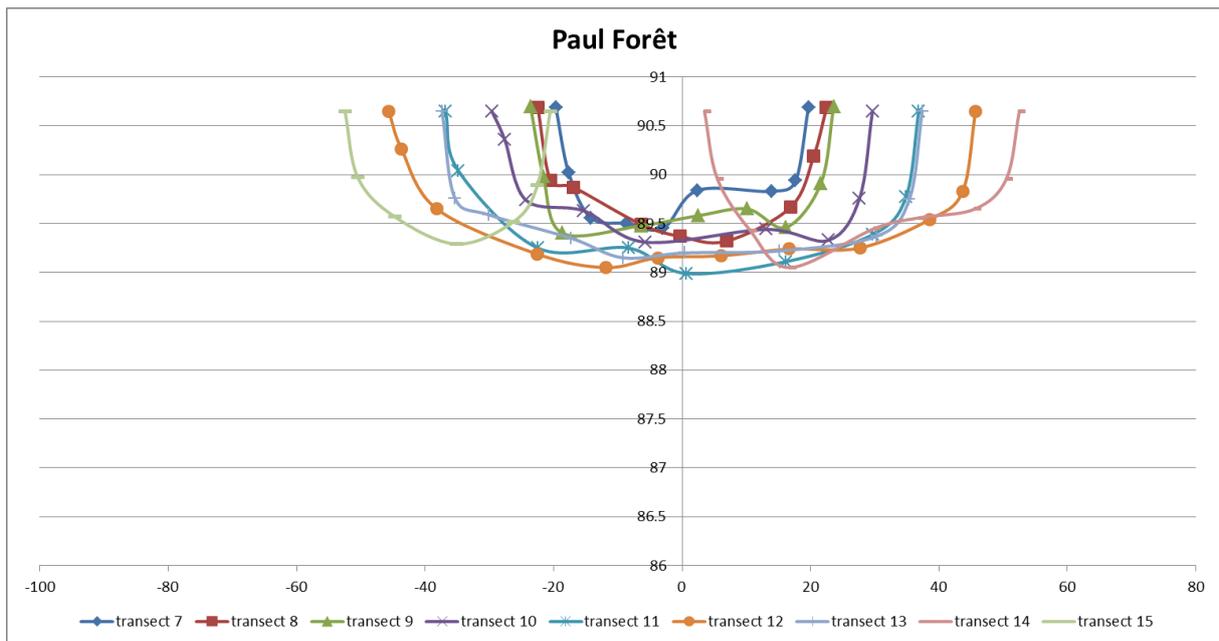
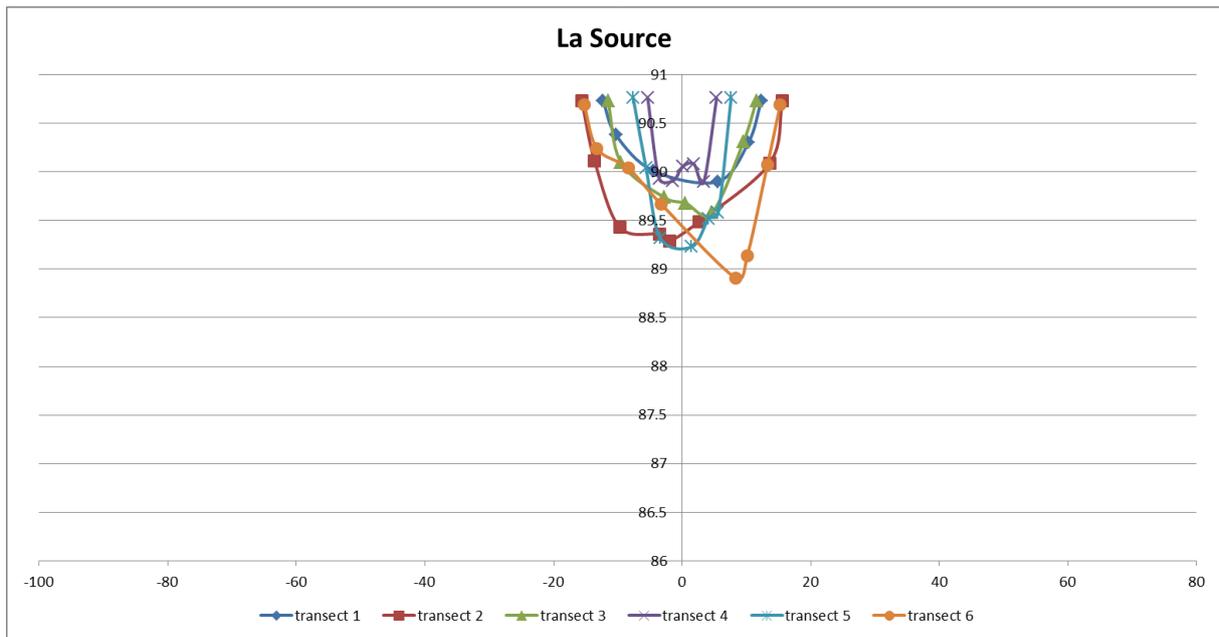
Annexe 4 : Ligne d'eau dans le Loiret en 1932 (Source : IGN)

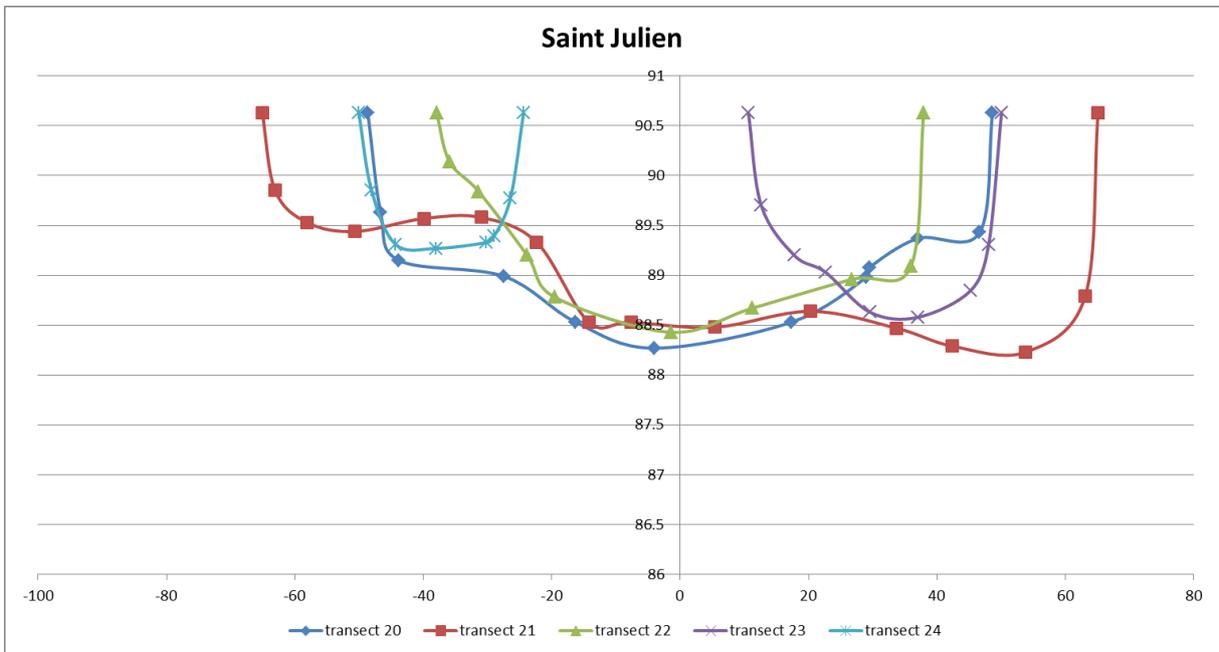
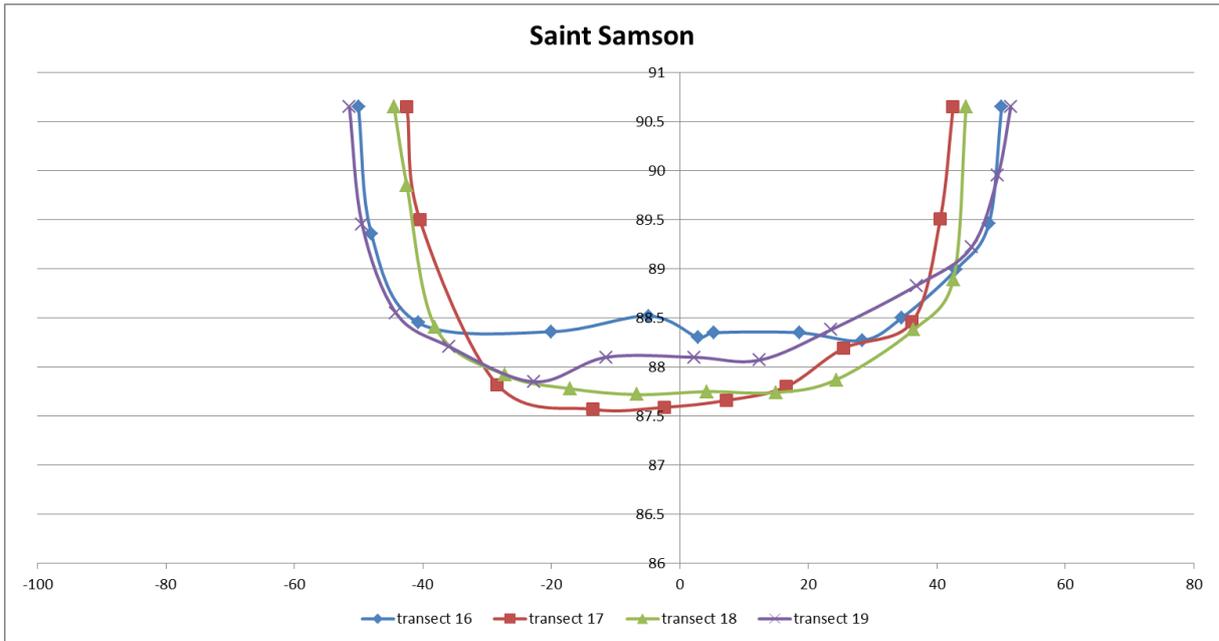


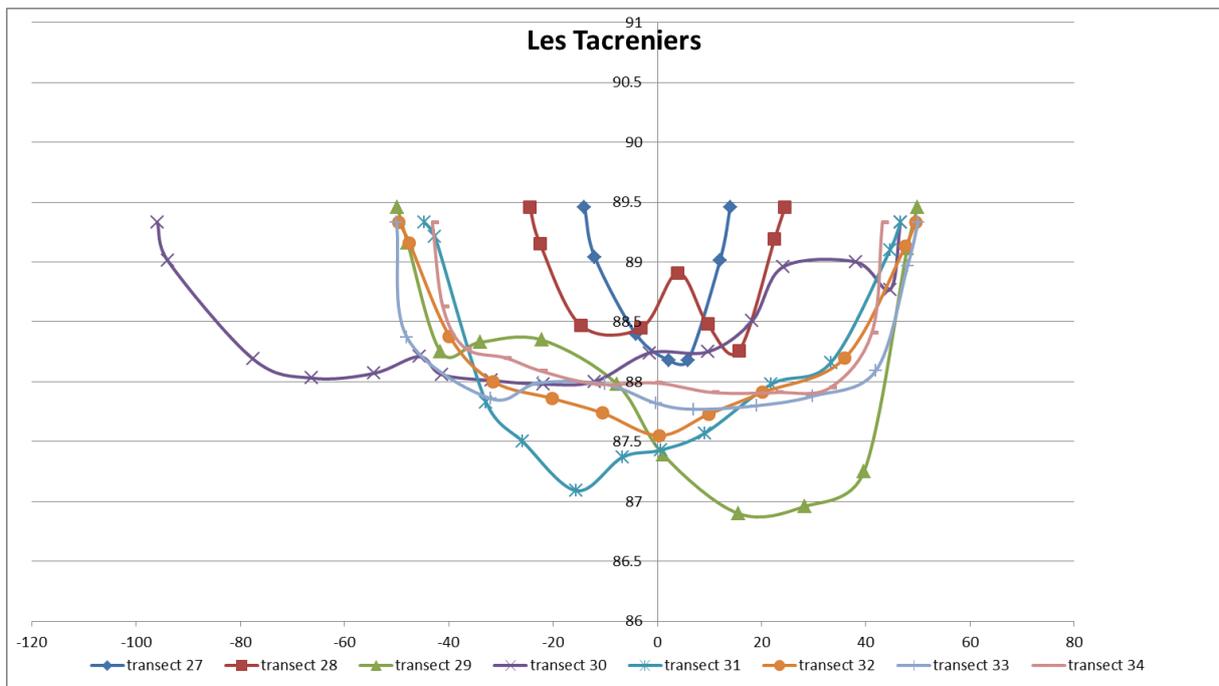
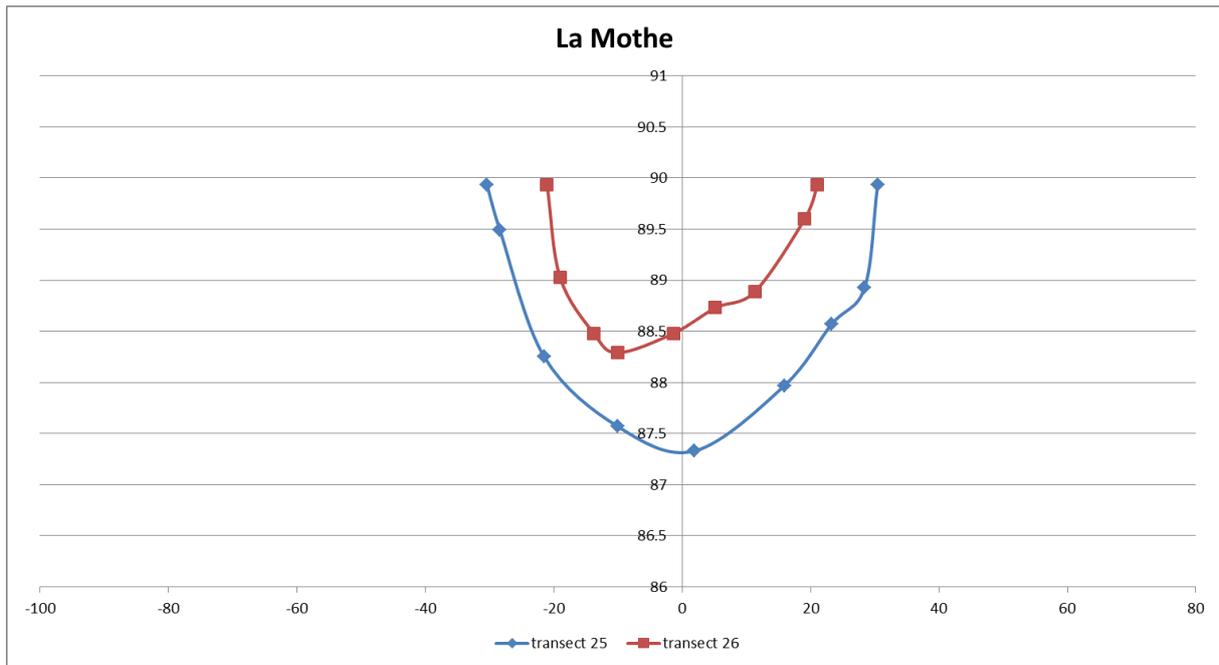
Annexe 5 : Localisation des points de mesure de la ligne d'eau



Annexe 6 : Profils en travers tracés par bassin

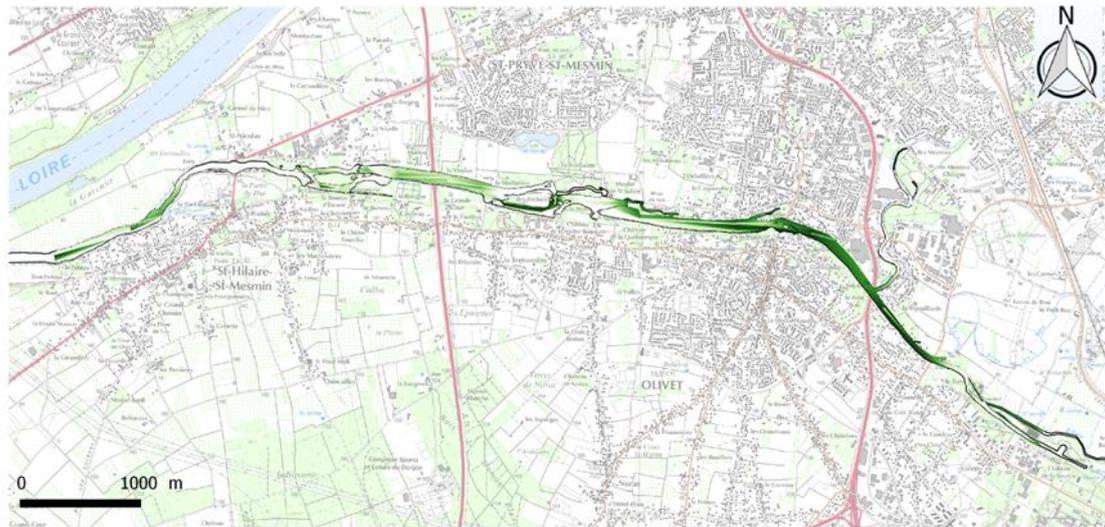






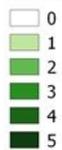
Annexe 6 : Répartition des plantes envahissantes dans le Loiret

Répartition des algues vertes filamenteuses dans le Loiret - été 2015

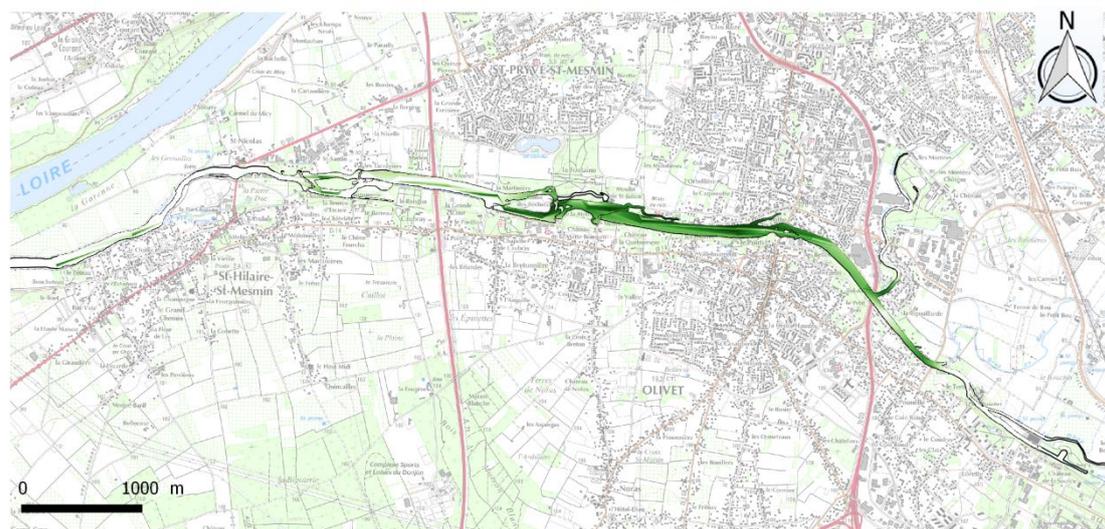


Source : Inventaires des plantes envahissantes 2015 du SAGE Val Dhuy Loiret, IGN Scan 25

Classes de densité



Répartition de l'Egeria Densa dans le Loiret - été 2015

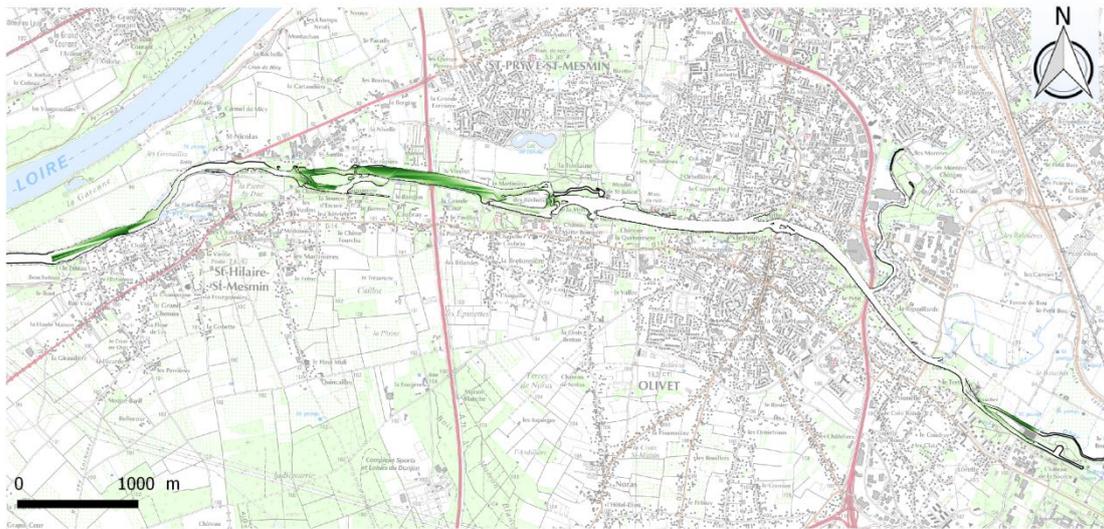


Source : Inventaires des plantes envahissantes 2015 du SAGE Val Dhuy Loiret, IGN Scan 25

Classes de densité



Répartition de l'*Elodea nuttallii* dans le Loiret - été 2015



Source : Inventaires des plantes envahissantes 2015 du SAGE Val Dhuy Loiret, IGN Scan 25

Classes de densité

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

