

Implantation d'un réseau de mesures quantitatives aux principaux exutoires du Marais poitevin à la Baie de l'Aiguillon

Projet Aiguillon EBVBA (2016-2021)



IFREMER-Laboratoire Environnement & Ressources des Pertuis Charentais (LER/PC)
Deborde Jonathan, Geairon Philippe, Polsenaere Pierre, Soletchnik Patrick, Le Moine Olivier

Contributeurs : Chabirand Jean-Michel, Elise Coignot, Bruneau Audrey, Gérard Thomas, Christian Béchemin, Yoann Le Roy, Johann Leibreich, Emmanuel Joyeux, Sylvain Haye, Frédéric Corre, Olivia Mercier, Louise Froud, Jean-Pierre Guéret, Régis Gallais, Elise Chourré, Loïc Chaigneau

Fiche documentaire

Implantation d'un réseau de mesures quantitatives aux principaux exutoires du Marais poitevin à la Baie de l'Aiguillon

Résumé/ Abstract :

Cette étude a pour objectif d'estimer les apports quantitatifs des principaux exutoires du Marais poitevin vers la Baie de l'Aiguillon. L'étude a été réalisée sur deux années de mesure (2017 et 2018) contrastées en termes de pluviométrie. Au total, cinq sites estuariens ont été équipées de stations de mesures en continu et haute fréquence sur des périodes définies : la Sèvre, le Lay, le chenal du Curé, le canal de Luçon et le chenal Vieux. Les stations de mesures étaient situées à proximité du dernier ouvrage à la mer et équipées de courantomètres H-ADCP (vitesses, intensités, et directions des courants sur la colonne d'eau) et de sondes STPS (salinité, hauteur d'eau et température). Des campagnes de jaugeages ponctuelles ont complété ces données. Des modèles de débits ont été établis pour chacun des exutoires et ont permis d'estimer sur les périodes de suivi les débits instantanés, les volumes cumulés journaliers, les QMJ totaux et les QMJ d'eau douce selon l'hydrodynamique estuarienne. Finalement, des modèles prédictifs de débits d'eau douce ont été établis pour chaque cours d'eau et confronté aux données acquises *in situ*. Une application Web permettant la lecture et la récupération des données des stations de mesures de la Sèvre et du Lay a complété ce travail. Les résultats ont montré qu'en période de bas débits et quelle que soit l'année, environ 65 à 75 % des apports sont assurés par la Sèvre, environ 15 à 25 % par le Lay, et le reste par les chenaux secondaires (< 10 %). En revanche, lors des périodes de forts débits, les contributions du Lay augmentent fortement et deviennent du même ordre de grandeur voire supérieures à celles de la Sèvre si la période de précipitations se prolonge. Ces deux fleuves représentent chacun entre 45 à 50 % des apports totaux pendant ces périodes. De même, mais dans une moindre mesure, la contribution du chenal du Curé triple lors des périodes de crue, alors que celles du canal de Luçon et du chenal Vieux varient très peu. Les flux de surface de ces cinq exutoires représentent un apport total d'eau douce de $268.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ vers la Baie de l'Aiguillon en 2017, année exceptionnellement sèche, et de $1198.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ en 2018. Chaque année, la période de décembre à mai représente plus de 70 % de l'apport annuel.

Mots-clés :

Baie de l'Aiguillon, Marais poitevin, fleuves, chenaux, apports d'eau douces, courantomètres, QMJ, débits

Table des matières

INTRODUCTION	9
1.1 Contexte de l'étude	9
1.2 Objectifs de l'étude.....	9
II. MATERIELS ET METHODOLOGIES	11
2.1 Cartographie des sites de mesures.....	11
2.2 Mise en place des stations fixes de mesures en continu.....	12
A. Équipements des stations fixes.....	12
B. Courantomètres des fleuves côtiers	13
C. Courantomètres des chenaux secondaires.....	14
2.3 Les campagnes de jaugeages	17
A. Le principe des jaugeages	18
B. Déroulement des campagnes de jaugeages	19
2.4 Traitements des données	20
A. Synthèse des campagnes de mesures et des mesures acquises <i>in situ</i>	20
B. Mesures de hauteur d'eau et évaluation de la section mouillée	23
C. Mesures de courant en stations fixes	24
D. Constitution des modèles de débits	24
E. Estimations des débits, volumes instantanés et QMJ	30
F. Constitution des modèles prédictifs	32
G. Application WEB.....	32
III. RESULTATS	33
3.1 Mesures de volumes et de débits	33
A. Mesures des débits instantanés.....	34
B. Mesures des volumes totaux et QMJ totaux	36
C. Mesures des volumes d'eau douce et QMJ eau douce	39
3.2 Relation entre les débits mesurés et la pluviométrie	41
3.3 Modèles prédictifs de QMJ	43
IV. DISCUSSION.....	47
4.1 Fonctionnement hydrodynamique des exutoires de l'étude	47
4.2 Bouchon vaseux et son influence sur la qualité des mesures	49
4.3 Pourquoi des QMJ totaux négatifs ?.....	51
4.4 Qualité des modèles prédictifs	52
4.5 Relation entre débits et précipitations	53
4.6 Bilan des apports d'eau douce vers la Baie de l'Aiguillon	53

A.	Comparaison des données des modèles <i>versus</i> données des stations de mesures.....	53
B.	Apports d'eau douce vers la Baie de l'Aiguillon.....	55
V.	CONCLUSIONS & PERSPECTIVES.....	57
5.1	Aspects techniques positifs et pistes d'amélioration.....	59
5.2	Perspectives.....	59
VI.	Bibliographie.....	61
VII.	Annexes.....	64

Liste des Tableaux

Tableau 1.	Superficie totale des bassins versants (BV), Unité Hydrologique Cohérente (UHC) des stations de mesures (Figure 1) et turbidité moyenne (Matières En Suspension, MES min-max, Coignot et al. 2020) des cinq cours d'eau sélectionnés dans cette étude sur les années 2017 et 2018	12
Tableau 2.	Exemple de mesures de jaugeages sur la Sèvre réalisées le 11 janvier 2018 (/LR = par rapport aux horaires SHOM des marées à La Rochelle ; PM = Pleine mer ; E.T. = Ecart Type)	19
Tableau 3.	Synthèse des relations entre les paramètres mesurés <i>in situ</i> et les paramètres calculés avec ces données. Les paramètres calculés sont définis en parties II.4.D & II.4.E. * hauteur d'eau par faisceau ultrasonique.....	20
Tableau 4.	Matrice de corrélation entre les débits des 5 cours d'eau et la pluviométrie de « référence » enregistrée à la station Météo France Le Bout-Blanc à La Rochelle. Des corrélations sont établies entre le débit journalier des cours d'eau et la somme de la pluviométrie d'un jour (J0) à 18 jours $\sum 18J$, puis également en décalant la pluviométrie d'une semaine (7Ja) à quatre semaines (28Ja) ; la pluviométrie étant elle-même cumulée sur sept jours ($\sum 7J$) ou 14 jours ($\sum 14J$).	42
Tableau 5.	Stations hydrologiques <i>DREAL</i> ayant servi à l'obtention des modèles les mieux ajustés aux débits mesurés par l'étude, pour chacun des fleuves et exutoires	44
Tableau 6.	Corrélations directes entre les mesures EBVBA et les différentes stations de mesure <i>DREAL</i> . Le nombre d'étoiles indique la qualité croissante de la corrélation.....	46
Tableau 7.	Volumes cumulés et QMJ totaux moyens calculés sur 24 heures sans décalage et avec un décalage de 6h (T+6) et 12 heures (T+12)	51
Tableau 8.	Quantités mensuelles d'eau douce relâchées par les cinq exutoires de l'étude dans la Baie de l'Aiguillon sur la période du suivi, estimées avec les données issues des stations de mesures.	56
Tableau 9.	Quantités mensuelles et annuelles d'eau douce relâchées par les cinq exutoires de l'étude dans la Baie de l'Aiguillon sur la période 2017-2018, estimées avec les modèles prédictifs (détails en Annexes 9 & 10)	56

Liste des Figures

Figure 1. Localisation des stations de mesures : a : Lay au pont de l'Aiguillon (46°20'6.28"N, 01°18'58.89"O), e : Chenal Vieux (46°18'58.69"N, 01°12'8.38"O), c : Canal de Luçon (46°19'58.89"N, 01°9'58.58"O), d : Sèvre Niortaise au pont du Brault (46°19'0.52"N, 01°4'56.39"O), e : Canal du Curé (46°16'3.10"N, 01°6'26.14"O). Les points f, g et h correspondent aux trois sites côtiers suivis dans le volet qualitatif du projet (Coignot et al. 2020). Les aires

colorées représentent les unités hydrographiques cohérentes prises en compte par les stations de mesures (voir Tableau 1)..	11
Figure 2. Configuration des stations fixes de mesures en continu. LMH = Limite de Haute Mer ; LBM = Limite de Basse Mer ; NMM = Niveau Moyen de la Mer	13
Figure 3. Sonde STPS NKE Instrumentation© déployée sur chacun des sites pour les mesures in situ continues de température, pression et salinité	13
Figure 4. Channel Master (H-ADCP) et son support (A) et site d'implantation au pont du Brault (B). L'étoile rouge sur la photo B matérialise l'emplacement de l'HADCP sur son support	14
Figure 5. Mise en place des courantomètres en automne 2017 : pose d'un SonTek Argonaute au chenal Vieux (A) et d'un Doppler Volume Sampler (DVS) au Canal de Luçon (B)	15
Figure 6. Courantomètre Argonaute SonTek petits fonds installé sur le chenal Vieux et le chenal du Curé (gauche) et Courantomètre DVS mis en place sur le canal de Luçon (droite)	16
Figure 7. Installation initiale sur le fond, Janvier 2017 chenal du Curé : Armoire de protection de la batterie externe (gauche) et opération de paramétrisation par connexion filaire (droite)	16
Figure 8. Mise en place du courantomètre Argonaute SonTek sur le chenal du Curé (Ifremer/LERPC)	17
Figure 9. Représentation schématique de la méthodologie de jaugeage comparée à la mesure en station fixe (A) et réalisation d'un jaugeage sur la Sèvre Niortaise en 2018 par River Boat en acquisition (I-Sea & ONCFS) (B)	18
Figure 10. Localisation des transects réalisés pour les jaugeages hydrométriques par I-Sea sur le Lay et la Sèvre Niortaise (traits rouges) et des ADCP en continu (étoiles vertes)	19
Figure 11. Calendrier de mise en place des équipements et des campagnes de mesures in situ dans cette étude. Les flèches en pointillés indiquent que les équipements sont toujours en place sur ces sites, mais le suivi des mesures et la maintenance n'est plus assurée par l'Ifremer.	20
Figure 12. Taux d'acquisition et périodes d'acquisition (barres noires) et d'absences (barres blanches) de données enregistrées par les ADCP dans les cinq sites étudiés	22
Figure 13. Jaugeages sur la Sèvre en Morte Eau le 11/01/18 (A) et Vive Eau le 19/01/18 (B) et Vive Eau le 19/04/18 (C)	26
Figure 14. Résultats de l'analyse des jaugeages sur la Sèvre ; estimation de la section mouillée en fonction de la hauteur d'eau (A) et du Velocity Index ou courbe de tarage (B) = Indice d'évaluation de la vitesse moyenne sur la section mouillée en fonction de la vitesse mesurée par HADCP	26
Figure 15. Jaugeages réalisés sur le Lay, en Mortes Eaux le 10/01/2018 (A) et en Vives Eaux les 18/04/2018 (B et C)	27
Figure 16. Résultats de l'analyse des jaugeages sur le Lay; estimation de la section mouillée en fonction de la hauteur d'eau (A) et du Velocity Index (B) = Indice d'évaluation de la vitesse moyenne sur la section mouillée en fonction de la vitesse mesurée par HADCP	27
Figure 17. Évaluations de la section mouillée de la Sèvre (SM) lors de différents jaugeages le 11/01/2018 (losanges rouges), le 19/01/2018 (losanges verts) et le 19/04/2018 (losanges bleus)	28
Figure 18. Estimation de la section mouillée pour les chenaux secondaires en fonction de la côte de surface libre	29
Figure 19. Corrélations entre débits mesurés pendant les jaugeages et débits mesurés avec les ADCP (selon la section mouillée estimée) dans les chenaux secondaires	29
Figure 20. Taux d'exploitabilité des données enregistrées par les ADCP et les sondes STPS dans les 5 exutoires de l'étude pour les calculs de volumes cumulés journaliers, de QMJ totaux et de QMJ	

d'eau douce sur la période de mesure, selon les contraintes environnementales, techniques et mathématiques.....	31
Figure 21. Bassins versants et réseaux des cours d'eau dans la zone géographique de l'étude. Les stations de l'étude sont représentées par des cercles verts et les stations hydrologiques <i>DREAL</i> par les étoiles rouges (n =20).....	32
Figure 22. Structure de la chaîne d'acquisition, traitement et distribution des données par l'application Monitor MP River.....	33
Figure 23. Débits mesurés sur un intervalle de temps de 5 min (m ³ /s) en 2017 et 2018 sur les deux fleuves, Sèvre et Lay ; dit aussi « débits instantanés » (par comparaison aux débits journaliers = QMJ). Les valeurs positives et négatives représentent des débits instantanés de l'amont vers l'aval et de l'aval vers l'amont respectivement.	34
Figure 24. Débits « instantanés » mesurés sur un intervalle de temps de 10 min (m ³ /s) en 2017 et 2018, sur les trois chenaux secondaires : Curé, Luçon et Vieux	35
Figure 25. Distribution de fréquence des débits instantanés mesurés par classe de débits.....	36
Figure 26. QMJ totaux mesurés (m ³ /s) de la Sèvre Niortaise et du Lay entre février 2017 et janvier 2019	37
Figure 27. Volumes journaliers totaux mesurés pour la Sèvre et le Lay en aval du dernier ouvrage.....	38
Figure 28. QMJ totaux mesurés (m ³ /s) du chenal Vieux, du canal de Luçon et du chenal du Curé de novembre 2017 à mai 2018 en amont du dernier ouvrage	38
Figure 29. Volumes cumulés journaliers totaux des chenaux secondaires mesurés en amont du dernier ouvrage	39
Figure 30. Volumes journaliers d'eau douce et QMJ d'eau douce calculés dans les 5 exutoires.....	40
Figure 31. Comparaison relative des volumes journaliers d'eau douce relargués par les cinq exutoires au cours de l'hiver 2018 (janvier-mars)	41
Figure 32. Représentation des meilleures corrélations obtenues entre les débits journaliers des fleuves et chenaux secondaires et la pluviométrie enregistrée à la station Météo France de La Rochelle (Bout Blanc) (voir Tableau 4).....	42
Figure 33. Meilleures relations établies entre les stations de mesures de l'étude (cercles verts) avec les stations de mesure <i>DREAL</i> (étoiles rouges). Les flèches de même couleur représentent les stations qui permettent de modéliser les mesures pour chaque site du projet.	43
Figure 34. Modèles prédictifs des QMJ des stations <i>DREAL</i> (courbe rouge) comparés aux QMJ eau douce vers l'aval (triangles verts) et QMJ totaux (losanges bleus) calculés dans la Sèvre et le Lay au niveau des stations du projet.....	45
Figure 35. Modèles prédictifs des QMJ des stations <i>DREAL</i> (courbe rouge) comparés aux QMJ eau douce (triangles verts) et QMJ totaux (losanges bleus) calculés dans les chenaux secondaires au niveau des stations du projet.....	46
Figure 36. Volumes journaliers maximums et minimums, et moyens (m ³ /j) issus des modèles prédictifs pour les cinq exutoires en 2017 -2018.....	47
Figure 37. Volumes instantanés mesurés dans la Sèvre et le Lay	48
Figure 38. Variations de salinités instantanées dans les cinq exutoires	49
Figure 39. Schéma du mode de mélange des eaux douces et des eaux salées selon la classification de Pritchard (1955) dans les exutoires de l'étude. (A) : Estuaire partiellement mélangé lors des périodes de crue, (B) : Estuaire verticalement homogène la majorité de l'année (sources : OFB, Toublanc 2013, Deloffre 2005).	49

Figure 40. Formation du bouchon vaseux en estuaire macrotidal et mésotidal (à gauche, d'après Deloffre 2005). Exemple de bouchon vaseux dynamique dans la Charente (à droite, d'après Toublanc, 2013)	50
Figure 41. Influence de l'heure de marée sur le résultat du cumul de volume journalier	52
Figure 42. Volumes mensuels d'eau douces relargués par les cinq exutoires vers la baie de l'Aiguillon, calculés avec les données des stations de mesures (points, voir Tableau 8) et comparés à ceux établis avec les modèles prédictifs 2018 (courbes en pointillés, voir Tableau 9) sur la période 2017-2018.....	57
Figure 43. Contributions mensuelles et annuelles des cinq exutoires de l'étude aux apports totaux d'eaux douces vers la baie de l'Aiguillon sur la période 2017-2018	57
Figure 44. Volumes d'eau douce totaux apportés par les cinq exutoires de l'étude vers la Baie de l'Aiguillon en 2017 et 2018.....	58

Liste des Annexes

Annexe 1. Channel Master RDI H. ADCP	64
Annexe 2. Argonaute SonTek document technique	65
Annexe 3. DVS RDI document technique.....	66
Annexe 4. Résultats des jaugeages.....	67
Annexe 5. Distribution des débits instantanés à l'échelle du mois. Résultats de mesures. Les débits « instantanés » sont mesurés sur un intervalle de temps de 5 min (m ³ /s) sur les deux fleuves (Lay et Sèvre, figures du haut, gauche et droite respectivement) et de 10 min en 2018 sur les trois chenaux : Curé, Vieux et Luçon.....	69
Annexe 6. Distribution des volumes journaliers totaux par mois pour les trois chenaux secondaires... 70	70
Annexe 7. Volumes totaux journaliers mesurés transitant par les stations de mesures au niveau de la Sèvre et du Lay.....	70
Annexe 8. Coefficients de corrélations entre les stations de mesures du projet et les stations <i>DREAL</i> . 71	71
Annexe 9. Volumes journaliers d'eau douce relâchés par les cinq exutoires de l'étude, estimés avec les modèles prédictifs (Tableau de valeurs : moyenne, minimum & maximum) sur la période 2017-2018.	72
Annexe 10. Application Web monitorMPrivers.....	73

INTRODUCTION

1.1 Contexte de l'étude

En concentrant 60 % de la population au niveau mondial (Béoutis et al. 2009) et assurant de nombreux services écologiques (MEA 2005), les zones côtières sont le siège d'enjeux socio-économiques importants. Interfaces entre le continent et le milieu océanique, elles reçoivent d'importants apports continentaux et sont soumises aux marées. Cette position leur confère une dynamique chimique, biologique et physique particulièrement peu stable dans le temps et hétérogène dans l'espace. Ces écosystèmes jouent ainsi un rôle essentiel dans le transport et les transformations de matière et d'énergie (nutriments, carbone, contaminants, particules, ...) depuis les bassins versants vers l'océan. Les apports terrigènes influencent notamment la production primaire, le réseau trophique et la qualité des écosystèmes côtiers (Howarth et al. 2011, Conley et al. 2000) dont dépendent les activités économiques. Au sein du continuum terre-mer, les zones côtières sont aussi le réceptacle de pressions naturelles et anthropiques pouvant avoir un impact sur la biodiversité marine.

La Baie de l'Aiguillon reçoit les eaux de différents bassins versants du Marais poitevin, situés dans les départements de la Charente Maritime, des Deux Sèvres, de la Vendée et, pour une faible partie, de la Vienne. Ces bassins versants représentent une superficie totale de 6 550 km². Les apports des bassins versants montrent des variations spatio-temporelles aux niveaux quantitatif (volumes, débits) et qualitatif (biogéochimie). Les fluctuations de ces apports et leur impact côtier sont donc une préoccupation majeure en termes de gestion, de préservation et d'utilisation aval du milieu, notamment par les professionnels de la pêche et de la conchyliculture. Dans ce contexte, les différents gestionnaires de la Réserve Naturelle Nationale (RNN) de la Baie de l'Aiguillon, et l'Établissement Public du Marais poitevin (EPMP) ont souhaité disposer d'une évaluation de la qualité et de la quantité de ces apports, en vue d'une éventuelle optimisation de leur gestion. Ce rapport correspond au deuxième axe de travail entrepris dans le cadre du projet Aiguillon (2016-2021) portant sur les aspects quantitatifs (développé dans ce rapport) et qualitatifs des apports terrestres à la Baie de l'Aiguillon (Le Marchand 2017, Lannuzel 2018, Polsenaere et al. 2018, Coignot et al. 2020).

1.2 Objectifs de l'étude

Conscients de la nécessité de mieux comprendre le fonctionnement hydraulique des différents bassins versants acheminant l'eau douce vers la baie, et de l'insuffisance des moyens actuels dont ils disposent pour atteindre cet objectif, les gestionnaires de la RNN de la Baie de l'Aiguillon et l'EPMP ont sollicité l'IFREMER, organisme référent en termes de surveillance et d'observation des eaux littorales.

Pour atteindre les objectifs de ce projet, une étude est réalisée pour mieux appréhender les relations hydrauliques entre la Baie de l'Aiguillon, le Marais poitevin et son bassin versant. Les objectifs principaux de ce volet quantitatif encadrés par la convention 16-5210626 (OPE CS12 & OPE MS41) sont :

- (1) la mise en place de stations de mesures des débits aux exutoires des différents cours d'eau du bassin versant de la Baie,
- (2) le traitement des données acquises, et leur validation afin d'obtenir des valeurs de débits journaliers,
- (3) l'hébergement des données résultantes sur un serveur et site internet, permettant leur mise à disposition aux partenaires,
- (4) *in fine*, une meilleure compréhension des apports d'eaux douces en confrontant les mesures *in situ* issues des stations du projet aux données des stations DREAL (Pays de la Loire et Nouvelle Aquitaine), en recherchant les corrélations. Cette dernière étape permettra de proposer des modèles prédictifs des débits en aval à l'aide de la banque de données des stations amont.

A terme, ces mesures quantitatives associées aux mesures qualitatives peuvent permettre de faire une estimation plus précise des apports terrestres de nutriments et de carbone à la Baie de l'Aiguillon, et leur influence sur cet écosystème côtier.

L'Ifremer assure l'assistance à maîtrise d'ouvrage et l'accompagnement scientifique et technique de l'étude. L'institut a validé sur le terrain la bonne mise en œuvre de l'installation des sondes multiparamètres (STPS) et des appareils de mesure de débits et des jaugeages nécessaires au calibrage des courantomètres (H-ADCP). Durant la phase de validation *in situ* (janvier 2017 à décembre 2018), l'Ifremer a assuré la collecte des données et le suivi métrologique des équipements. Sur l'ensemble du projet, l'Ifremer a assuré le traitement, l'analyse, l'interprétation et la valorisation des résultats acquis entre janvier 2017 et décembre 2018.

II. MATERIELS ET METHODOLOGIES

2.1 Cartographie des sites de mesures

Les principaux apports régionaux proviennent des deux fleuves côtiers et leurs affluents, à savoir la Sèvre Niortaise et le Lay ainsi que de nombreux chenaux et rivières canalisés dont un des plus importants est le Chenal du Curé (Figure 1). L'interface entre les eaux douces terrestres et le milieu marin est pour la plupart du temps délimitée par la présence d'ouvrages à la mer (portes à la mer) régulant les échanges entre les deux milieux. Cinq sites ont été sélectionnés pour la mise en place des stations de mesures sur les cours d'eau, le plus en aval possible, de façon à évaluer au mieux les apports de l'ensemble des bassins versants (Figure 1) au niveau de :

- deux fleuves côtiers : La Sèvre (d) et le Lay (a) ;
- trois chenaux secondaires : le Chenal Vieux (b), Le Canal de Luçon (c) et le Canal du Curé (e).

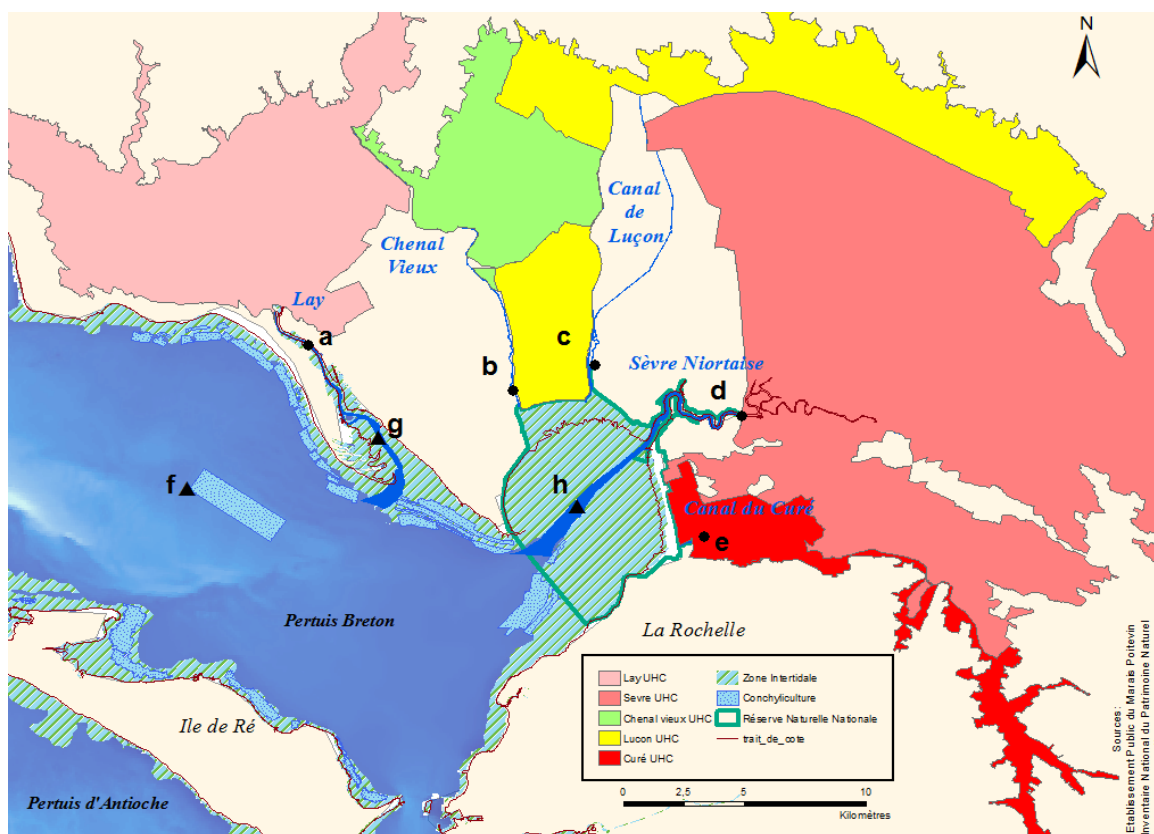


Figure 1. Localisation des stations de mesures : a : Lay au pont de l'Aiguillon (46°20'6.28"N, 01°18'58.89"O), b : Chenal Vieux (46°18'58.69"N, 01°12'8.38"O), c : Canal de Luçon (46°19'58.89"N, 01°9'58.58"O), d : Sèvre Niortaise au pont du Brault (46°19'0.52"N, 01°4'56.39"O), e : Canal du Curé (46°16'3.10"N, 01°6'26.14"O). Les points f, g et h correspondent aux trois sites côtiers suivis dans le volet qualitatif du projet (Coignot et al. 2020). Les aires colorées représentent les unités hydrographiques cohérentes prises en compte par les stations de mesures (voir Tableau 1).

Dans le cas des fleuves côtiers, la zone du bas estuaire a été choisie pour l'installation des stations de mesures en continu. Ces dernières sont situées sur la Sèvre Niortaise au Pont du Brault (d), et sur le Lay au pont de l'Aiguillon (a) (soit à environ 7,6 km de l'embouchure de ces deux fleuves).

Dans le cas des chenaux secondaires, les stations de mesures ponctuelles ont été positionnées immédiatement en amont des derniers ouvrages à la mer (voir caractéristiques des sous-bassins versants associés dans Lannuzel 2018, Polsenaere et al. 2018, Coignot et al. 2020).

L'ensemble des bassins versants qui alimente la Baie de l'Aiguillon représente 6550 km² (EPMP, 2015). L'ensemble du dispositif expérimental mis en place dans cette étude (cinq exutoires) couvre un secteur triangulaire formé par les communes de La Rochelle – Esnandes - Charron en Charente Maritime et Puyravault – Saint Michel en l'Herm – L'Aiguillon sur Mer en Vendée et représente un bassin versant total de 5277 km² (Tableau 1, Coignot et al. 2020). La différence est liée aux bassins versants de chenaux secondaires (Chenal de la Raque, ...). Ces cinq cours d'eau disposent d'ouvrages à la mer destinés à retenir les eaux de pluie en amont et à contenir les flux tidaux (en relation avec la marée) en fonction des différentes saisons. La gestion et l'usage de ces ouvrages impactent directement les apports hydriques vers la baie. Dans tous les cas, les eaux circulantes sont turbides (maximums en hiver et en automne) à hyper turbides (pour la Sèvre et le Lay). Les valeurs les plus faibles sont mesurées dans le Curé. Pour l'ensemble des cours d'eau, les berges et les fonds sont de nature silto-vaseuse (< 63 µm).

Tableau 1. Superficie totale des bassins versants (BV), Unité Hydrologique Cohérente (UHC) des stations de mesures (Figure 1) et turbidité moyenne (Matières En Suspension, MES min-max, Coignot et al. 2020) des cinq cours d'eau sélectionnés dans cette étude sur les années 2017 et 2018.

	Lay	Chenal Vieux	Canal de Luçon	Sèvre	Canal du Curé	TOTAL
Bassin versant (km ²)	1951	62	263	2645	356	5277
UHC des stations (km ²)	127	43	107	536	32	846
Turbidité (MES mg/L)	176-3500	52-260	4-540	291-9000	6-80	

2.2 Mise en place des stations fixes de mesures en continu

A. Équipements des stations fixes

L'évaluation quantitative des apports d'eau douce susceptibles d'impacter la Baie de l'Aiguillon est possible en mesurant la hauteur d'eau et la vitesse de courant en continu, variables nécessaires aux calculs des débits. L'expérience acquise ces dernières années par l'Ifremer dans le même type de milieu (fleuves Charente et Seudre, Le Moine et Geairon, 2013) a conduit à équiper chacun des sites de stations fixes pour des mesures en continu à haute fréquence (toutes les 5, 10 ou 20 minutes) avec des profileurs horizontaux de courant à effet Doppler (H-ADCP, Acoustic Doppler Current Profiler). Ces appareils, adaptés à ce type de masses d'eaux, mesurent la vitesse et la direction des courants sur l'intégralité ou sur une partie de la section du chenal ou fleuve (Figures 2 et 3). Dans cette étude, les cellules de mesures¹ ne concernent qu'une partie de la section du fleuve, soit une tranche d'eau entre deux piles de pont, représentant environ 70 % du chenal principal (Figure 2). Les courantomètres ont été positionnés à proximité du fond pour éviter

¹ Les cellules de mesures correspondent à un découpage par le courantomètre ADCP du profil de vitesse en segments uniformes (depth cells ou bins en anglais) sur la colonne d'eau mesurée.

au maximum leur émergence ou l'émergence des cellules mesurées à marée basse, et suffisamment au-dessus du fond (+0.5m), pour éviter leur envasement ou une perte de signal en raison de la turbidité excessive des cours d'eau. Différents types de courantomètres ont été déployés selon les contraintes ou la configuration des sites pour optimiser l'acquisition des données (voir 2.2.B et 2.2.C).

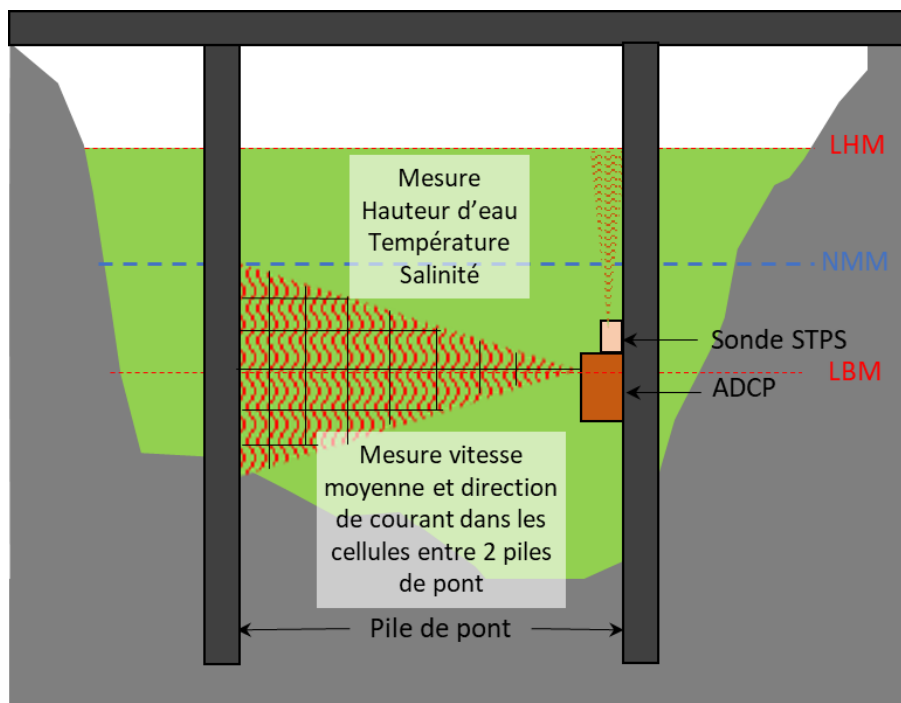


Figure 2. Configuration des stations fixes de mesures en continu. LHM = Limite de Haute Mer ; LBM = Limite de Basse Mer ; NMM = Niveau Moyen de la Mer.

En complément de ces équipements, chaque station a été également équipée d'une sonde STPS (NKE instrumentation®) qui enregistre la température, la pression (= hauteur d'eau) et la conductivité (= salinité) du flux hydrique toutes les 10 minutes (Figure 3). Ces capteurs ont été développés par la société NKE (<http://www.nke-instrumentation.fr/>) en collaboration avec l'Ifremer.



Figure 3. Sonde STPS NKE Instrumentation® déployée sur chacun des sites pour les mesures *in situ* continues de température, pression et salinité.

B. Courantomètres des fleuves côtiers

La Sèvre et le Lay ont été équipés de profileurs Doppler de type horizontal Chanel Master (H-ADCP, RDI) financés par l'EPMP et l'ONCFS et mis en place par la société ACRI-IN le 17 février 2017 (Figure 44). Les appareils ont été fixés sur les écluses du pont du Brault et le pont de l'Aiguillon, respectivement, afin de

prendre en compte l'ensemble des exutoires (position aval) à l'aide d'une structure rigide avec un système protégeant des embâcles (Figure 4A), ancrée sur les piles de pont (Figure 4B). Sur les sites d'implantation, la largeur de la Sèvre est d'environ 100 mètres, celle du Lay d'environ 80 mètres (d'une ligne d'arrêt de végétation à l'autre).



A



B

Figure 4. Channel Master (H-ADCP) et son support (A) et site d'implantation au pont du Brault (B). L'étoile rouge sur la photo B matérialise l'emplacement de l'HADCP sur son support.

Ces systèmes sont en acquisition autonome, sur batteries externes alimentées par panneaux solaires (Sèvre) ou l'électricité du réseau public (Lay). Les appareils mesurent la vitesse et la direction du courant sur 25 cellules horizontales de 50 cm, soit sur une portée totale de 12,5 m. Une mesure est la résultante de mesures moyennées toutes les deux minutes. L'enregistrement des données se fait toutes les 20 minutes du 17/02/2017 au 03/04/17, puis toutes les cinq minutes à partir du 04/04/2017. Une mesure de hauteur d'eau est aussi réalisée par faisceau ultrasonique vertical depuis le capteur intégré au courantomètre. Celle-ci est comparée aux mesures de hauteur d'eau réalisées par pression avec la sonde STPS et le capteur de pression de l'ADCP. Les deux implantations sont équipées d'un dispositif d'émission GSM permettant l'envoi des données de vitesses, direction, pression et hauteur d'eau en temps réel. Ces données sont hébergées par l'Ifremer, sur un site Web conçu par ACRI-IN permettant la visualisation et le téléchargement des données (<https://ebvba.ifremer.fr>, voir Partie 2.4.G et Annexe 10).

C. Courantomètres des chenaux secondaires

Les trois chenaux secondaires (du sud au nord, le Canal du Curé, le Canal de Luçon et le Chenal Vieux) étant de plus petite envergure (de 20 à 30 mètres de large), une stratégie de mesure temporaire et mobile a été prévue dès à l'origine du projet. La campagne hydrologique 2016-2017, particulièrement sèche, n'a pas permis d'obtenir suffisamment de mesures exploitables. De ce fait, et afin d'en garantir une série chronologique suffisante pour la robustesse des modèles quantitatifs, les trois chenaux ont été équipés, en 2017, de stations de mesures ADCP en continu, comme pour les deux fleuves côtiers. Les courantomètres ont été mis en place selon le même principe que celui utilisé pour les fleuves côtiers, en les fixant sur des structures rigides le long des parois des différents ouvrages (Figure 5). Contrairement aux fleuves côtiers,

les courantomètres des trois chenaux secondaires ont été positionnés en amont des ouvrages à la mer. Ce positionnement entraîne un enregistrement de vitesses de courant très faibles à quasi-nulles quand les ouvrages sont fermés. Lors de l'ouverture des ouvrages, tous les débits sont évacués vers la mer et sont alors positifs.

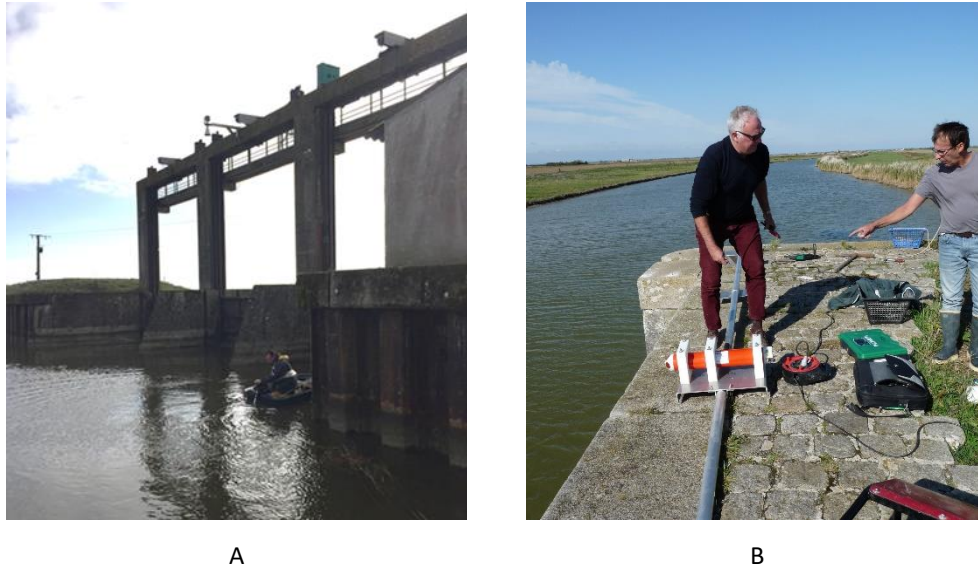


Figure 5. Mise en place des courantomètres en automne 2017 : pose d'un SonTek Argonaute au chenal Vieux (A) et d'un Doppler Volume Sampler (DVS) au Canal de Luçon (B).

Comme ces appareils ne disposent pas de faisceau ultrasonique intégré pour évaluer directement la hauteur de la section mouillée, celle-ci est estimée grâce au capteur de pression des sondes STPS qui permet l'évaluation continue de la hauteur d'eau de la section suivie. La mesure étant réalisée par la pression hydrostatique, une correction a été faite sur l'ensemble des données de sonde STPS pour éliminer l'influence des variations de pression atmosphérique (voir 2.4).

En vue, (i) d'optimiser le nombre des rotations nécessaires à la gestion de la capacité de mémoire de l'instrument et l'énergie de la batterie et (ii) d'obtenir le maximum de données dans le minimum de temps, le pas de temps d'acquisition des trois appareils a été réglé sur 10 minutes. Ceci correspondant à la moitié du pas de temps de mesures sur la Sèvre et le Lay. Ces informations sont à prendre en compte lors de l'analyse des volumes, estimés sur l'intervalle de temps entre deux mesures.

Équipement du Chenal Vieux. Le Chenal Vieux a été équipé d'un courantomètre de type SonTek Argonaute (équipement fourni par Ifremer LER-PC, Figure 6). Ce type d'appareil a été choisi pour son adaptation aux mesures en faible profondeur. L'installation de ce courantomètre a eu lieu le 10/10/2017 et l'équipement (ADCP et STPS) a été retiré le 03/04/2018.

Équipement du Canal de Luçon. Le Canal de Luçon a été équipé par un courantomètre de type Doppler Volume Sampler (DVS) RDI financé dans le cadre de ce projet (financement EPMP, Figure 6). L'installation

de ce courantomètre a eu lieu le 08/11/2017 et les équipements (ADCP et STPS) ont été retirés le 29/05/2018.



Figure 6. Courantomètre Argonaute SonTek petits fonds installé sur le chenal Vieux et le chenal du Curé (gauche) et Courantomètre DVS mis en place sur le canal de Luçon (droite).

Équipement du Chenal du Curé. Comme pour le Chenal Vieux, le Chenal du Curé a été équipé d'un Argonaute SonTek fin janvier 2017 (équipement fourni par Ifremer LER-PC, Figure 6). Contrairement aux 4 autres sites, le courantomètre a été initialement fixé sur une plaque PVC lestée depuis le pont en janvier 2017, de manière à être positionné au fond et au centre du chenal (Figure 7). Il a été alimenté par une batterie externe indépendante disposée dans une armoire de protection sous le pont. Une liaison filaire a permis la paramétrisation et la récupération des données (Figure 7).



Figure 7. Installation initiale sur le fond, Janvier 2017 chenal du Curé : Armoire de protection de la batterie externe (gauche) et opération de paramétrisation par connexion filaire (droite).

Cependant, l'envasement du dispositif positionné au fond du chenal du Curé, en janvier 2017, a conduit à modifier le déploiement du dispositif Argonaute SonTek ; l'appareil a été mis en place sur une perche fixée à la paroi du pont, comme dans les autres sites le 08/11/2017 (Figures 5 et 8). Les données acquises avant cette modification ne sont donc pas exploitées dans cette étude. Les équipements (ADCP et STPS) ont été retirés le 23/05/2018.



Figure 8. Mise en place du courantomètre Argonaute SonTek sur le chenal du Curé (Ifremer/LERPC).

L'ensemble de ces dispositifs, installés au niveau dans ces cinq exutoires, ont nécessité des visites mensuelles pendant leur déploiement, afin d'assurer la maintenance des équipements (rotations des batteries, nettoyage des capteurs et des courantomètres), et pour récupérer les données et vider les mémoires internes des enregistreurs.

2.3 Les campagnes de jaugeages

Les données acquises par les mesures en continu en stations fixes ont été complétées par des campagnes ponctuelles de jaugeages. L'objectif du jaugeage est d'évaluer les vitesses et directions des courants sur l'ensemble de la section mouillée pour estimer les débits associés dans toutes les conditions de flux possibles [flot, jusant, Vives Eaux (VE), Mortes Eaux (ME), débit du fleuve (fort ou faible), crue et étiage]. Ces données permettent d'établir une relation mathématique (courbe de tarage) entre la vitesse moyenne sur l'ensemble de la section et la partie mesurée en continu avec les ADCP, afin de mieux calibrer les modèles de débits. Les jaugeages des deux fleuves côtiers (Lay/Sèvre) ont été réalisés par la société I-Sea (en sous-traitance) et ceux des chenaux secondaires, par Ifremer. Les mesures de courants ont été effectuées avec un ADCP tracté ou à couple d'une embarcation (professionnel et Ifremer sur le Lay et OFB sur la Sèvre, Figure 9).

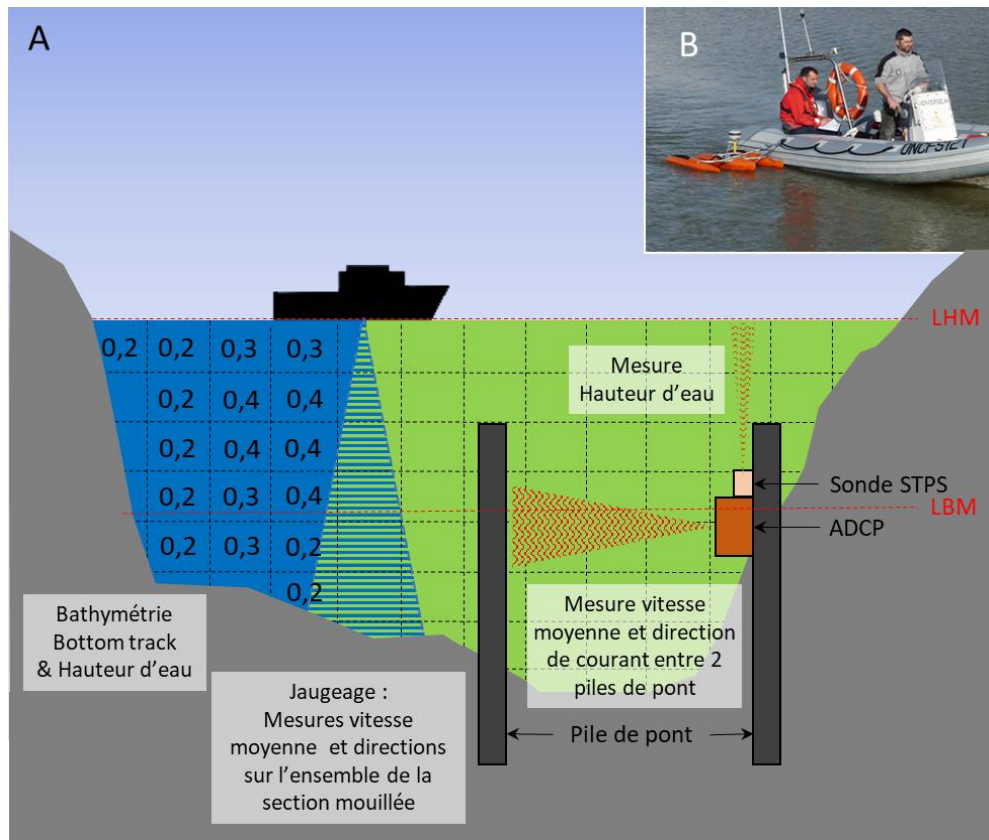


Figure 9. Représentation schématique de la méthodologie de jaugeage comparée à la mesure en station fixe (A) et réalisation d'un jaugeage sur la Sèvre Niortaise en 2018 par River Boat en acquisition (I-Sea & ONCFS) (B).

A. Le principe des jaugeages

L'opération de jaugeage consiste à mesurer les vitesses de courant et leurs directions sur l'ensemble de la section mouillée² et la totalité de la colonne d'eau en réalisant des transects en surface avec un bateau (Figure 9). L'embarcation est munie d'un profileur ADCP RiverPro (RDI) orienté vers le fond mesurant les vitesses et les directions de courant sur un nombre défini de cellules de taille pré-paramétrée couplé à un sondeur hydrographique qui mesure la hauteur d'eau avec une précision centimétrique. En parallèle, un suivi du fond (Bottom Track) est réalisé pour la bathymétrie.

L'ensemble des mesures est synchronisé et géolocalisé au cours de l'acquisition par un DGPS assurant le positionnement dynamique, et la hauteur d'eau avec une précision centimétrique. La Hauteur d'eau se calcule selon un référentiel commun qui est le niveau moyen des mers (NMM). Le bateau tracteur se déplace le plus lentement possible avec une vitesse constante de 0,1 à 0,2 m/s, et sur une radiale perpendiculaire au cours d'eau (= transect). Pour chaque mesure, 6 à 8 radiales sont opérées, jusqu'à obtention de la qualité de mesure recherchée (Tableau 2). Une valeur d'écart type est calculée, donnant une incertitude sur le débit (E.T m³/s) et aussi en pourcentage (E.T %).

² La surface mouillée correspond à la surface de l'écoulement relative à une hauteur d'eau mesurée à instant t (variable selon le débit, la marée, ...).

Tableau 2. Exemple de mesures de jaugeages sur la Sèvre réalisées le 11 janvier 2018 (/LR = par rapport aux horaires SHOM des marées à La Rochelle ; PM = Pleine mer ; E.T. = Ecart Type).

Marée /LR	Heure	Débits (m ³ /s)	E.T. (m ³ /s)	E.T. (%)	Vitesse courant moyenne (m/s)	Surface Mouillée (m ²)	Largeur section mouillée (m)	Nombre de mesures retenue:
PM	12:35	24,05	1,27	5,3	-0,09	234,9	72,3	3/3
PM +0H47	13:20	11,06	0,40	3,7	-0,05	240,2	74,5	4/6
PM +1H27	14:00	88,51	2,98	3,4	-0,39	227,5	72,3	5/6
PM +2H12	14:45	124,92	1,95	1,6	-0,60	207,3	71,0	6/6
PM +2H57	15:30	130,52	1,11	0,9	-0,72	181,4	67,2	6/6
PM +3H37	16:10	137,89	4,45	3,2	-0,72	159,0	65,2	5/6
PM +4H07	16:40	130,11	1,92	1,5	-0,96	136,2	63,8	4/4

B. Déroulement des campagnes de jaugeages

Les mesures ont été réalisées en 2018 en vives et mortes eaux, en flot, étale et jusant, en suivant les horaires SHOM des marées à La Rochelle-Pallice (France) (Coordonnées : 046°09'36.0" N, 001°12'42.0" W) (SHOM, <http://maree.info>). Sur les fleuves côtiers, les mesures de jaugeage ont été réalisées à proximité immédiate des ADCP de mesure en continu (Figure 10) et la vitesse sur la section a été estimée directement (voir 2.4.D).



Figure 10. Localisation des transects réalisés pour les jaugeages hydrométriques par I-Sea sur le Lay et la Sèvre Niortaise (traits rouges) et des ADCP en continu (étoiles vertes).

Sur la Sèvre, 24 jaugeages ont été réalisés par I-Sea, sept en flot entre BM et BM+4h07 en mortes eaux (11/01/2018), 10 en fin de flot et en jusant entre BM-1h25 et BM+5h22 en vives eaux (19/01/2018), et sept en jusant entre PM+1h59 et PM+6h34 en vives eaux (19/04/2018). I-Sea a réalisé 20 jaugeages sur le Lay, cinq en jusant entre PM+1h18 et PM+4h43 (10/01/2018) en mortes eaux, puis huit en flot entre BM+1h44 et

BM+5h04 en vives eaux (11/02/2018) et enfin sept autres en jusant entre PM+2h06 et PM+6h03 en vives eaux (18/04/2018).

Pour les campagnes de jaugeages dans les chenaux secondaires, il était impossible de réaliser les mesures à proximité des ADCP en continu. En effet, des contraintes techniques liées à la configuration des sites (pont trop bas, problèmes de sécurité dus à la proximité des écluses, étroitesse du site) ont contraint à adapter la méthode en utilisant des relations débit_jaugeage/débit_point de mesure continue (voir 2.4.D.2). Ces campagnes de mesures ont été réalisées le 04 et 05 avril 2018 sur le chenal Vieux, le 24/01, 05/03 et 18/04/18 sur le Canal de Luçon et le 10/01/18 et 03/04/18 sur le chenal du Curé.

2.4 Traitements des données

A. Synthèse des campagnes de mesures et des mesures acquises *in situ*

Les différentes campagnes de mesures *in situ*, réalisées dans le cadre de ce projet, sont résumées dans la figure suivante (Figure 11).

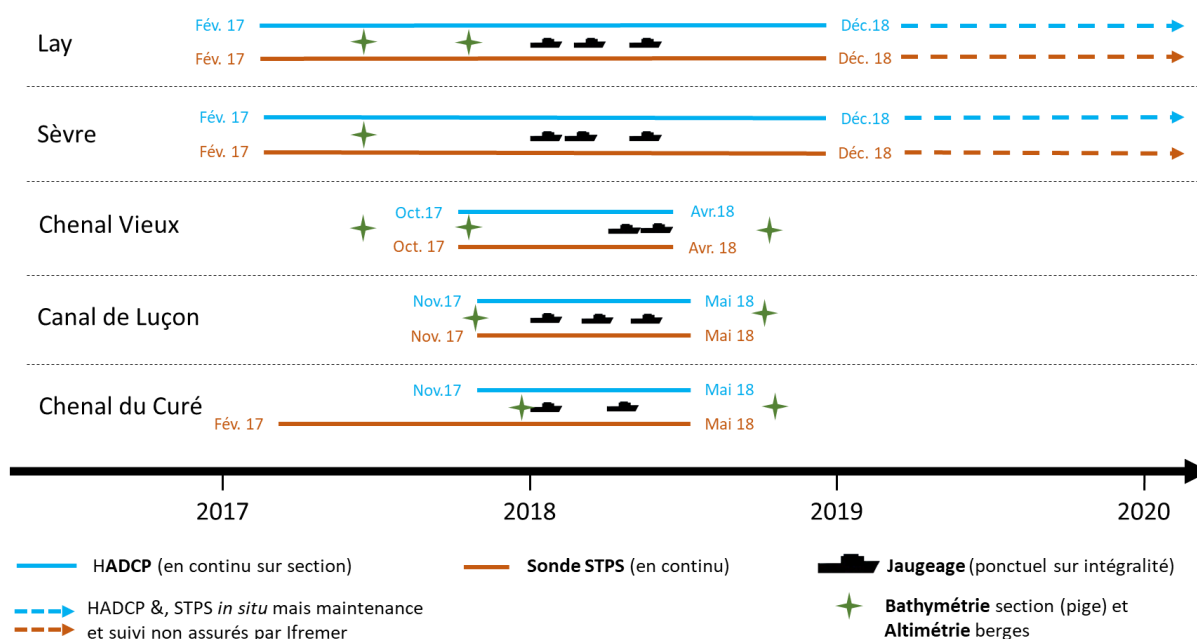
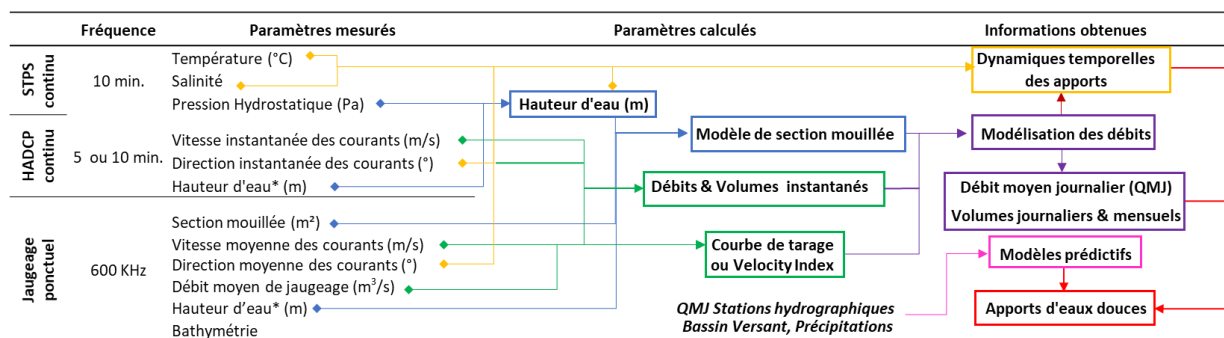


Figure 11. Calendrier de mise en place des équipements et des campagnes de mesures *in situ* dans cette étude. Les flèches en pointillés indiquent que les équipements sont toujours en place sur ces sites, mais le suivi des mesures et la maintenance n'est plus assurée par Ifremer.

Le tableau suivant (Tableau 3) schématise l'utilisation des données acquises *in situ* et montre leur complémentarité pour calculer les paramètres et développer des modèles permettant une meilleure compréhension de la dynamique des apports d'eaux douces dans la Baie de l'Aiguillon.

Tableau 3. Synthèse des relations entre les paramètres mesurés *in situ* et les paramètres calculés avec ces données. Les paramètres calculés sont définis en parties II.4.D & II.4.E. * hauteur d'eau par faisceau ultrasonique.



Cependant, les contraintes inhérentes à ces environnements très particuliers et dynamiques (variations brutales de la turbidité et du niveau d'eau, biofouling...) et à la maintenance des équipements (batterie, nettoyage, mémoires internes) ne garantissent pas un taux de 100 % d'acquisition³ des données acquises *in situ*.

Les sondes STPS mises en place ont eu un rendement de 100 % d'acquisition pour les trois chenaux secondaires et de 97 % pour la Sèvre. Pour le Lay, la sonde STPS a eu un rendement de 66 % d'acquisition en raison de plusieurs périodes d'émersion du capteur lors des marées les plus basses, et également une dérive du capteur de salinité en octobre 2017, et entre juillet 2018 et octobre 2018 qui a entraîné la perte par non-conformité des données de sur cette période.

Pour les courantomètres, malgré la complexité technique de ces appareils et de leur sensibilité vis-à-vis des facteurs environnementaux, le taux d'acquisition est globalement satisfaisant (> 78 %, Figure 12). Il semble qu'une des causes de perte de données enregistrées par les ADCP soit liée à la turbidité et, dans une moindre mesure, à l'envasement des appareils. Pour exemple, l'ADCP mis en place dans la Sèvre, dont les concentrations en MES excèdent régulièrement les 400 mg/L, présente une proportion plus importante de données non mesurées (22 %) que les autres cours d'eau (2 à 12 %), moins turbides (Figure 12). Ceci s'observe notamment en 2017, année exceptionnellement sèche, ou lors des périodes d'étiage, qui accroissent la turbidité des eaux (remontée de bouchons vaseux, moins de dilution) et la sédimentation des particules fines, empêchant l'enregistrement de données par les ADCP ou enregistrant des données aberrantes et inexploitable pour les futurs calculs. Des turbidités élevées ont aussi été observées ponctuellement dans les 4 autres exutoires, provoquant les mêmes effets.

De plus, les équipements immergés sur de longues périodes sont rapidement colonisés par des organismes sessiles qui nuisent au bon fonctionnement des capteurs. Ce biofouling entrave également l'acquisition de données valides et exploitables, notamment dans les périodes précédant les opérations de maintenance. L'impact du biofouling a cependant pu être minimisé par un nettoyage mensuel des équipements immergés dans les chenaux secondaires, mais cette maintenance mensuelle n'a pu être réalisée dans les deux fleuves.

³ Le taux d'acquisition (%) est calculé entre le nombre de données théoriques de données attendues (fonction du pas d'enregistrement du capteur) et le nombre de données brutes valides enregistrées.

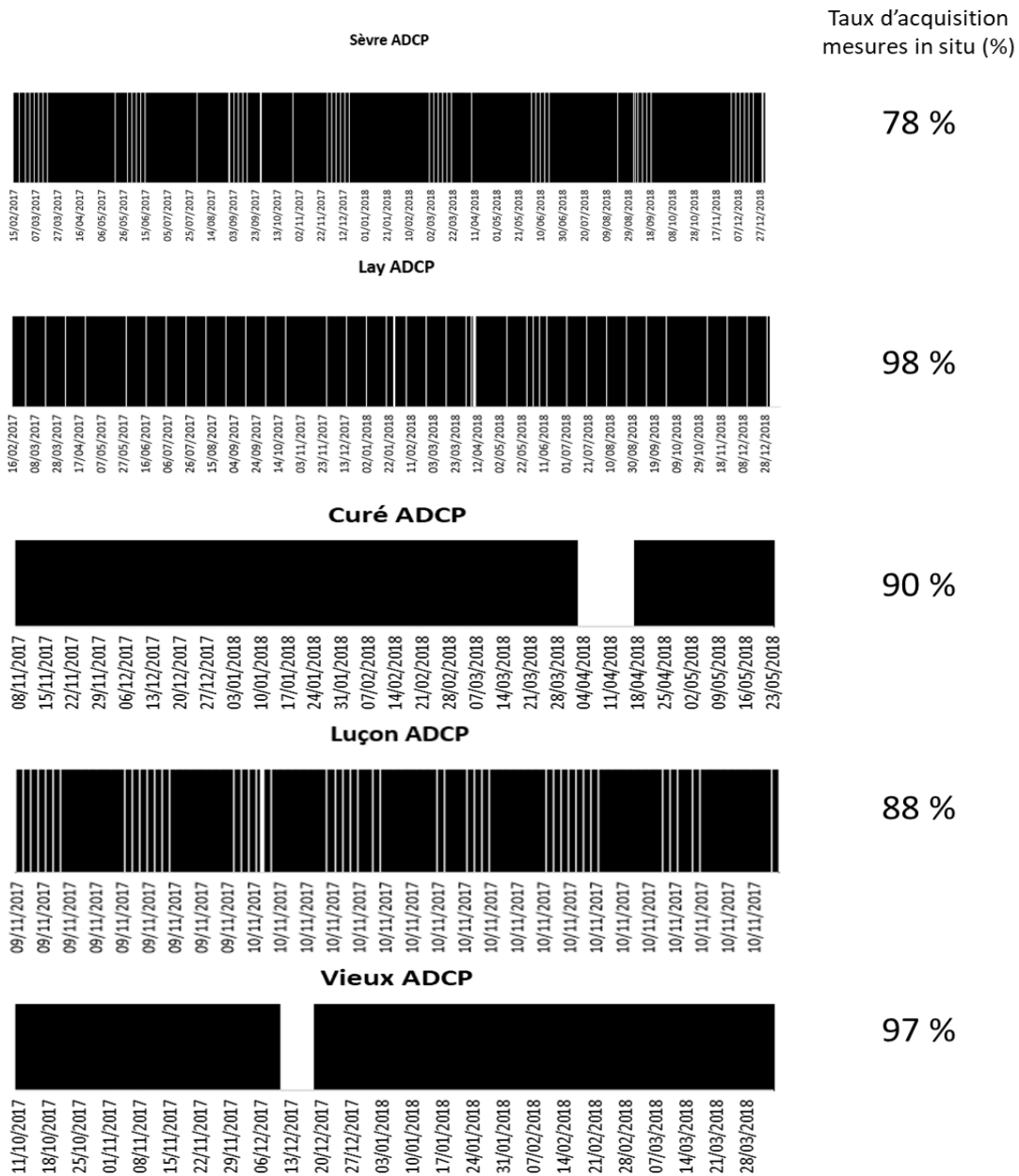


Figure 12. Taux d'acquisition et périodes d'acquisition (barres noires) et d'absences (barres blanches) de données enregistrées par les ADCP dans les cinq sites étudiés.

Enfin, la perte de données est également liée au niveau technique des appareils : arrêt des équipements par un épuisement des batteries internes ; coupure de courant d'alimentation ; pause dans l'enregistrement de données lors de la télétransmission ; arrêt de l'enregistrement en cas de saturation des mémoires internes. Le chenal du Curé a connu une panne de batterie en avril 2018 entraînant la perte de 14 jours d'enregistrements, le Chenal Vieux a eu une saturation de sa mémoire interne en décembre 2017 entraînant la perte de 5 jours d'enregistrements, enfin les courantomètres du Lay et de la Sèvre ont eu des pannes d'alimentation et la perte de courts intervalles de mesures lors de la télétransmission (Figure 12). Globalement, le pourcentage d'acquisition de données est satisfaisant, avec plus de 78 % de données enregistrées sur les périodes de suivi.

B. Mesures de hauteur d'eau et évaluation de la section mouillée

Dans le cas des fleuves côtiers, les données acquises par les ADCP sont directement transmises vers le site internet. Les mesures de hauteur d'eau dans ces sites, qui tiennent compte du niveau moyen des mers (NMM), sont acquises par faisceau ultrasonique interne de l'ADCP et ne nécessitent pas de traitement.

Dans les chenaux secondaires, les ADCP n'étaient pas équipés de faisceau ultrasonique pour la mesure de la hauteur d'eau. La hauteur d'eau de la section mouillée a donc été estimée en continu avec le capteur de pression des sondes STPS qui mesure la pression hydrostatique dans le cours d'eau. Ces sondes possèdent un algorithme interne de calcul de hauteur d'eau ; les appareils sont régulièrement recalibrés pour une meilleure précision (voir 2.2). Les données acquises sont ensuite corrigées pour éliminer l'influence liée aux variations de la pression atmosphérique et en tenant compte du NMM⁴ et de la différence de hauteur d'installation entre l'ADCP et la sonde STPS. Pour cela, il est aussi nécessaire de connaître la densité de l'eau ρ , calculée par le script ies80 UNESCO (utilisable car nous disposons de mesures sur les mêmes sites de température et salinité avec les sondes STPS), et la pression atmosphérique sur la durée de mesure estimée par le modèle AROME de Météo France.

La méthodologie est alors la suivante :

L'évaluation de la pression dans l'eau est : $P = \rho gh$, et donc la hauteur d'eau est : $h = P / \rho g$

Avec P = Pression mesurée (eau + atmosphère) en N/m^2 (ou Pa),

P_{0atm} est la pression atmosphérique,

ρ = masse volumique de l'eau de mer en Kg/m^3 ,

h = hauteur d'eau mesurée par faisceau en m,

g = intensité de la pesanteur = $9,81 kg/m^3$.

On ramène la mesure de calibration à la pression de référence P_{0ref} :

$$\sigma h = h - ((P_0 - P_{0ref}) / \rho g)$$

Puis on ramène toutes les mesures à la pression atmosphérique de référence :

$$\sigma h = ((P_{0atm} - P_{0ref}) / \rho g)$$

On corrige ensuite toutes les données de hauteur d'eau de σh . Dans notre cas, la hauteur d'eau n'étant pas disponible nous appliquons à chaque mesure de pression l'équation de calcul de densité ρ (Unesco, 1980), puis de hauteur d'eau suivante :

$$h = (P_{ADCP} - P_{0atm}) / \rho g$$

La section mouillée dépend de la hauteur d'eau, et de la calibration du cours d'eau considéré. Elle est mesurée lors des jaugeages, à différentes hauteurs d'eau (pleine mer, basse mer, crue, étiage), et régimes de marée (flot et jusant). Puis, pour estimer sa valeur en continu, il est nécessaire d'élaborer un modèle de

⁴ NMM : Niveau Moyen de la Mer, valeur moyenne de la fonction représentative de la marée au cours d'une longue période, calculée avec la moyenne arithmétique des hauteurs horaires des marées.

correspondance entre les mesures de jaugeages et la valeur corrigée de pression mesurée par les sondes STPS en temps réel (voir 2.4.D).

C. Mesures de courant en stations fixes

Le projet a débuté en 2017 au cours d'une saison hydrologique exceptionnellement sèche (SAGE du LAY 2017, Coignot et al. 2020). En conséquence, les jaugeages de la Sèvre et du Lay qui nécessitent des débits circulants significatifs, n'ont pu être réalisés qu'en 2018. De même, les faibles quantités d'eau douce arrivant en aval des ouvrages ont facilité la remontée des bouchons vaseux sur notre site de mesure de la Sèvre, provoquant, de fait, un dysfonctionnement du courantomètre et une dégradation des mesures qui en résultaient (biais de mesures les rendant en partie inexploitable). Un post-traitement a diminué le filtrage des données (« correlation beam ») initialement configuré dans le courantomètre à 100 % (valeur utilisée pour les eaux non turbides, transparentes) à 64 % (valeur généralement admise au-dessus de laquelle les données sont considérées conformes, Cathalot et al. 2015) a permis de récupérer un nombre beaucoup plus important de données mais a toutefois entraîné un retard important dans les différents traitements mathématiques.

Du fait de cette sécheresse hydrologique exceptionnelle de l'année 2017, les chenaux secondaires n'ont pu être équipés avec les courantomètres qu'en automne 2017. Les jaugeages ont été également réalisés, a posteriori, en 2018 seulement. De plus, les appareils « petits fonds » utilisés pour les mesures de vitesse dans les chenaux secondaires ont une portée très inférieure à ceux des fleuves. Ils mesurent en conséquence une épaisseur d'eau beaucoup plus réduite. Cette première « limite méthodologique » et l'élimination de mesures inexploitable (turbidité trop élevée lors des périodes d'étiage, émergence des cellules de mesures les plus hautes à basse mer de forts coefficients, période d'étiage) affaiblit notablement la robustesse des modèles de débits obtenus (voir D.II. 4.2.).

D. Constitution des modèles de débits

Afin d'évaluer en continu les débits circulants quelle que soit la hauteur d'eau, la méthodologie appliquée a été celle de l'Index Velocity, développée par l'United State Geological Survey (USGS) en 1982 (Rantz 1982 ; Sloat & Hull 2004) :

1. Mesures en continu à poste fixe des vitesses de flux sur une partie de la section du fleuve (II.2).
2. Jaugeage hydrométrique du fleuve (II.3).
3. Établissement des relations caractéristiques du point de mesure (section mouillée et débit moyen sur la section en fonction des mesures fixes, II.4.D).
4. Les relations sont ensuite appliquées aux mesures réalisées en continu sur la campagne pour estimer la vitesse moyenne en continu sur l'ensemble de la section mouillée. La multiplication de cette vitesse par la section au même moment donne le débit recherché.

Les opérations de jaugeages, réalisées ponctuellement, permettent donc d'établir cette relation mathématique entre les vitesses de courant et les hauteurs d'eau pour réaliser une courbe de tarage (= Velocity Index). Cette méthode consiste à rechercher la régression (linéaire, polynomiale ou exponentielle) entre (i) la section mouillée du fleuve mesurée par le sondeur hydrographique lors du jaugeage et la hauteur d'eau mesurée avec le courantomètre ou la sonde STPS installé en station fixe, et (ii) la vitesse moyenne de la section totale du fleuve obtenue lors du jaugeage et la vitesse moyenne mesurée en continu par le courantomètre ADCP en station fixe sur la section du fleuve.

Les différentes abréviations des variables utilisées lors des mesures de jaugeage et du post-traitement sont les suivantes :

- Variables mesurées par H-ADCP :

P_{ADCP} : Pression (hPa)

Z_{ADCP} : Hauteur d'eau au-dessus de l'appareil (m)

V_{M_ADCP} : Vitesse moyenne sur la tranche d'eau ($m\ s^{-1}$)

- Variables mesurées par le jaugeage :

SM_{JAU} : Section Mouillée (m^2)

V_{JAU} : Vitesse moyenne sur la section ($m\ s^{-1}$)

D_{JAU} : Débit total moyen ($m^3\ s^{-1}$)

Avec $SM_{JAU} = D_{JAU} / V_{JAU}$

- Variables à calculer :

SM : Section Mouillée estimée à chaque pas de temps (m^2), calculé par la régression linéaire entre Z_{ADCP} et SM_{JAU} au temps t

V_{SM} : Vitesse moyenne calculée sur la section mouillée SM ($m\ s^{-1}$), calculé par la régression (linéaire ou polynomiale) entre V_{M_ADCP} et V_{JAU} au temps t

D_{SM} : Débit volumétrique moyen sur la section mouillée ($m^3\ s^{-1}$) est ensuite calculé selon l'équation : $D_{SM} = V_{SM} \times SM$

D.1. Calculs des équations de débits pour les fleuves côtiers

Le résumé complet des données de jaugeages est donné en Annexe 4.

La Sèvre. Les données issues du courantomètre fixe sont très bien corrélées aux 24 mesures du jaugeage ($R^2 = 0,94$; Figure 13). Les mesures réalisées autour des basses mers montrent un léger écart entre la mesure de vitesse du doppler fixe et celles du jaugeage. Cet écart augmente avec le coefficient de marées (Figure 13B,C). Autour de l'étale de basse mer, le jaugeage montrait des vitesses légèrement supérieures aux mesures faites avec l'ADCP en poste fixe. Ceci montre que l'appareil à poste fixe, près du fond, fournit une mesure de vitesse équivalente à celle de la vitesse moyenne de la section du fleuve. Lors de la basse mer, le courant devient moins homogène sur la section en raison des courants secondaires (turbulences et force de frottements sur les berges) et surestime les valeurs réelles (8 %).

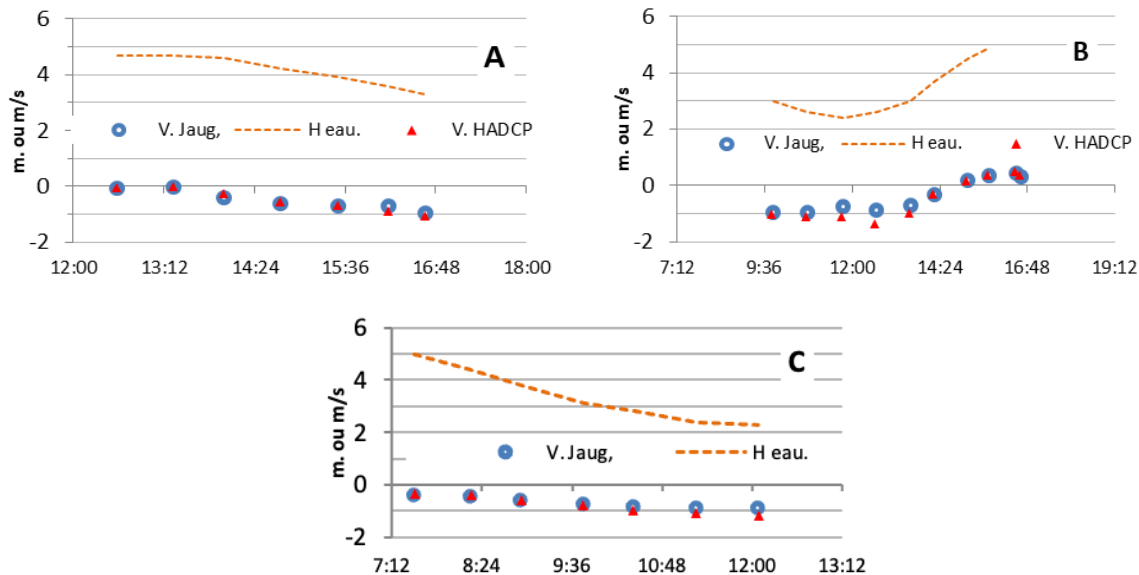


Figure 13. Jaugeages sur la Sèvre en Morte Eau le 11/01/18 (A) et Vive Eau le 19/01/18 (B) et Vive Eau le 19/04/18 (C).

Une fois cette vérification faite sur la représentativité des mesures acquises par les ADCP en station fixe, le croisement des données des mesures prises en continu (P_{ADCP} , V_{M_ADCP} , Z_{ADCP}) avec celles acquises lors des jaugeages (SM_{JAU} , V_{JAU} , D_{JAU}) a permis d'extraire des relations fiables permettant de calculer les variables recherchées (SM , V_{SM} , D_{SM} , Figure 14).

Des relations linéaires et robustes ont été obtenues pour la Sèvre :

$$SM = (65,5 * Z_{ADCP}) - 55,087 \quad \text{avec } R^2 \text{ de } 0.88 \text{ (Figure 9A)}$$

et

$$V_{SM} = 0,8289 * V_{ADCP} \quad \text{avec } R^2 \text{ de } 0.94 \text{ (Figure 9B)}$$

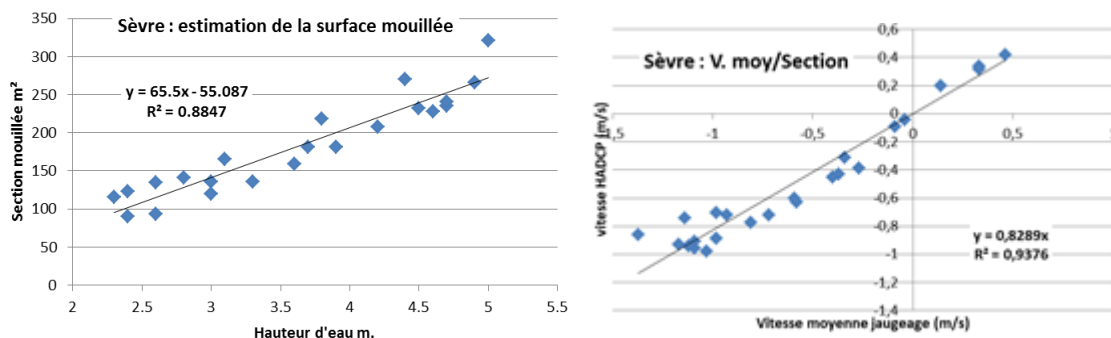


Figure 14. Résultats de l'analyse des jaugeages sur la Sèvre ; estimation de la section mouillée en fonction de la hauteur d'eau (A) et du Velocity Index ou courbe de tarage (B) = Indice d'évaluation de la vitesse moyenne sur la section mouillée en fonction de la vitesse mesurée par HADCP.

Par conséquent, le débit de la section mouillée de la Sèvre se calcule selon l'équation suivante :

$$D_{SM} = ((65,5 * Z_{ADCP}) - 55,087) * (0,8289 * V_{ADCP})$$

Lay. Les mesures de l'ADCP à « poste fixe » superposées aux mesures de jaugeages montrent la validité des mesures obtenues (Figure 15A, B, C). L'étales réelle mesurée à Pleine Mer (PM), en marée de Morte Eau dure près de quatre heures et les vitesses de courant oscillent autour de 0 m/s (Figure 15A). A Basse Mer (BM), en marée de Vive Eau (Figure 15B,C), la vitesse HADCP est légèrement supérieure à celle du jaugeage.

Il est probable que ce phénomène soit similaire à celui observé sur la Sèvre. Les étales y sont extrêmement réduites. L'inversion du sens de courant coïncide avec la pleine mer vraie (Figure 15A), comme avec la basse mer vraie (Figure 15C).

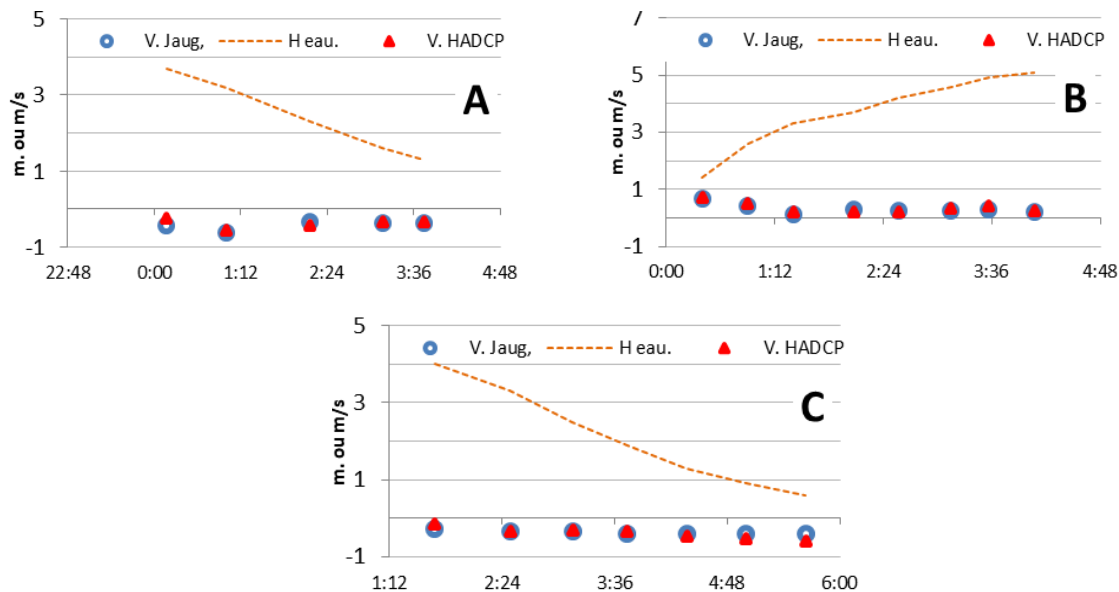


Figure 15. Jaugeages réalisés sur le Lay, en Mortes Eaux le 10/01/2018 (A) et en Vives Eaux les 18/04/2018 (B et C).

Les relations de SM et Velocity index sont également linéaires et robustes pour le Lay (Figure 16) :

$$SM = 62,132 * Z_{ADCP} \quad \text{avec } R^2 \text{ de } 0.98 \text{ (Figure 11A)}$$

et

$$V_{SM} = 0,9234 * V_{ADCP} \quad \text{avec } R^2 \text{ de } 0.94 \text{ (Figure 11B)}$$

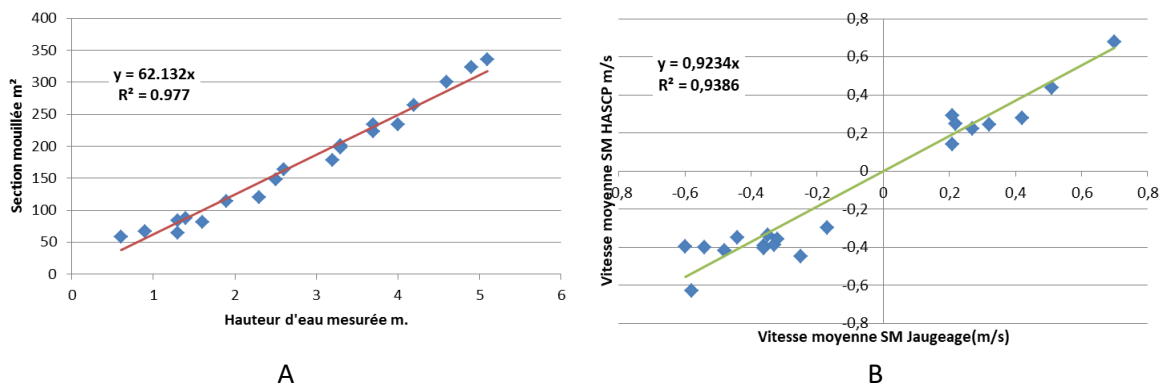


Figure 16. Résultats de l'analyse des jaugeages sur le Lay; estimation de la section mouillée en fonction de la hauteur d'eau (A) et du Velocity Index (B) = Indice d'évaluation de la vitesse moyenne sur la section mouillée en fonction de la vitesse mesurée par HADCP.

Par conséquent, le débit de la section mouillée du Lay se calcule selon l'équation suivante :

$$D_{SM} = (62,132 * Z_{ADCP}) * (0,9234 * V_{ADCP})$$

Il est à noter que l'estimation de la surface mouillée de la Sèvre (0.88) montre un coefficient de corrélation moins élevé ($\approx 10\%$ de moins) que dans le Lay (0.98). Cela peut provenir d'une évolution du profil bathymétrique, avec un changement significatif entre les différentes campagnes de mesures. Cela est illustré par la Figure 17 qui individualise les différents jaugeages ; les diverses évaluations de section

mouillée diffèrent sensiblement en fonction du jour des mesures. Les valeurs maximales sont observées à pleine mer en vive eau et les minimales à basse mer en morte eau.

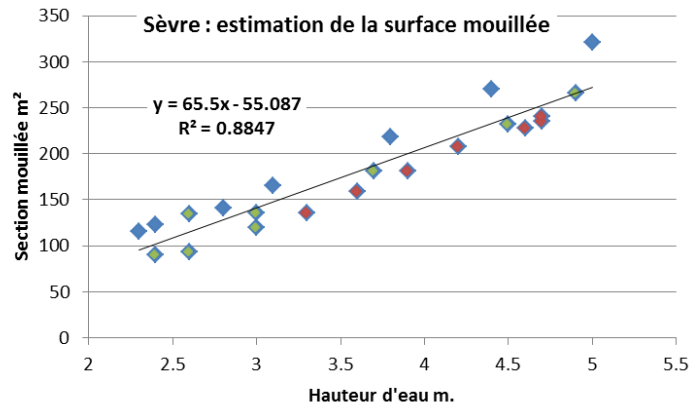
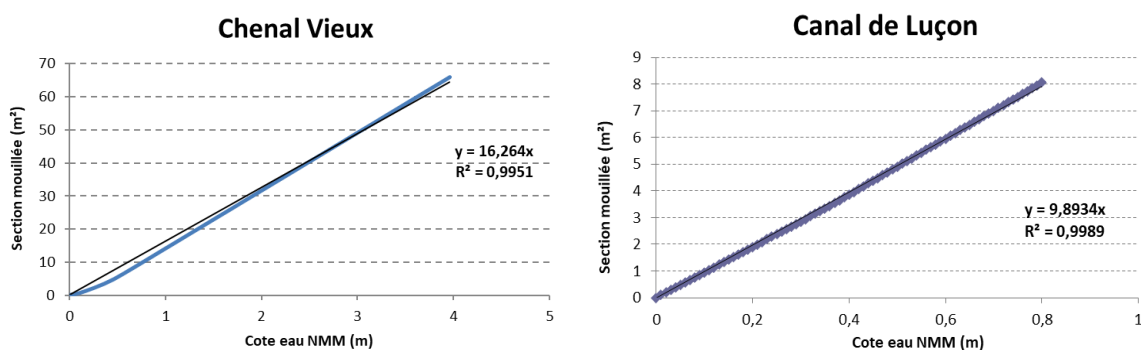


Figure 17. Évaluations de la section mouillée de la Sèvre (SM) lors de différents jaugeages le 11/01/2018 (losanges rouges), le 19/01/2018 (losanges verts) et le 19/04/2018 (losanges bleus).

Cela ne se remarque pas sur le Lay qui présente un profil bathymétrique sans doute plus stable que la Sèvre. Si la position du site de mesure, dans l'estuaire, est à peu près la même pour les deux fleuves (environ 7,6 km de l'embouchure), la distance amont aux écluses de gestion est de 3 km pour la Sèvre et 2 km seulement pour le Lay (Figure 1). De plus, les profils géomorphologiques sont différents ; plutôt rectiligne pour le Lay, mais avec des méandres importants pour la Sèvre (Figure 1). Cette configuration favorise une diminution des vitesses de courants, et par conséquent un fonctionnement hydro-sédimentaire en faveur d'une sédimentation plus importante pour la Sèvre. Des différences de pratique des gestions des écluses amont ont pu également avoir une influence sur la chasse plus ou moins efficace des sédiments vers l'aval. La pratique de chasses pourrait induire un profil géomorphologique spécifique du cours d'eau.

D.2. Calculs des équations de débits pour les chenaux secondaires

Dans le cas des chenaux secondaires, les ADCP n'étant pas équipé de faisceau ultrasonique, la section mouillée a été estimée par un modèle section mouillée / cote de la surface libre (en Niveau Moyen des Mers, NMM) et non par la relation section mouillée / hauteur d'eau au-dessus de l'ADCP comme cela a été fait sur la Sèvre et le Lay. Ce modèle a été élaboré à partir des levés bathymétriques et topographiques réalisés dans les chenaux secondaires (Figure 18).



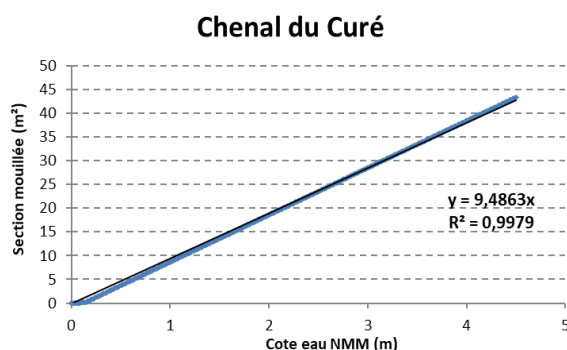


Figure 18. Estimation de la section mouillée pour les chenaux secondaires en fonction de la côte de surface libre.

Les sections mouillées présentent des coefficients R^2 très élevés ($\approx 0,99$) du fait des structures en béton des ouvrages où ont été effectués les jaugeages (plus aisés à mesurer avec précision qu'au niveau de berges végétalisées). Le débit moyen calculé par jaugeage a ensuite été corrélé à celui estimé par la vitesse du courantomètre selon l'équation : $D_{ADCP} = V_{ADCP} * SM$ (Figure 19).

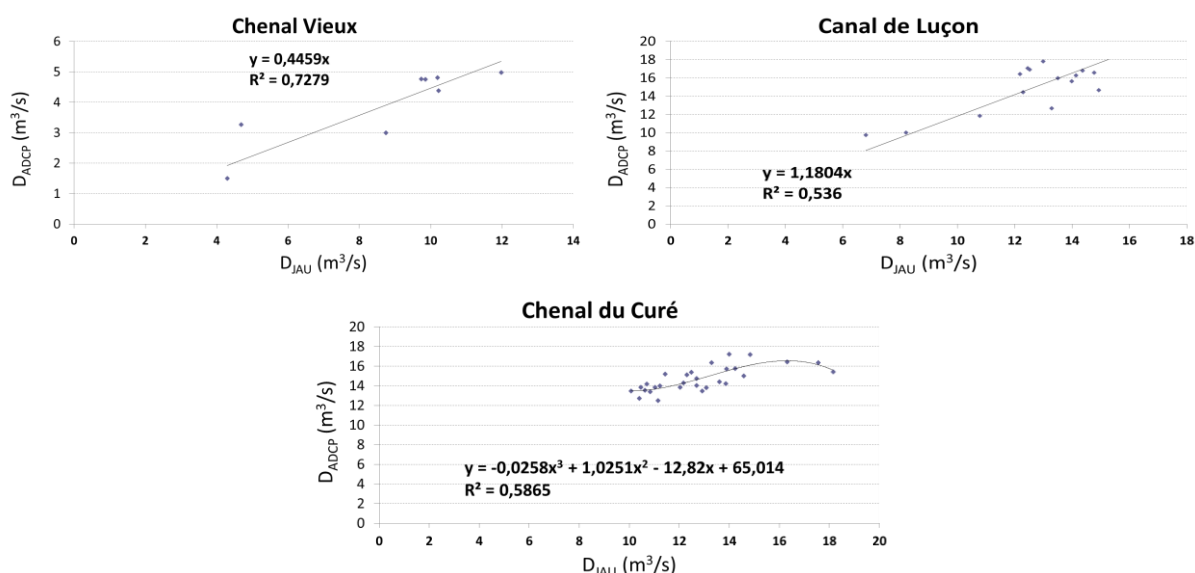


Figure 19. Corrélations entre débits mesurés pendant les jaugeages et débits mesurés avec les ADCP (selon la section mouillée estimée) dans les chenaux secondaires.

Pour les chenaux, les corrélations entre les débits de jaugeage et les mesures de courant (ADCP) sont moins bonnes ($0,54 < R^2 < 0,73$) que pour les fleuves. Le fait que ces chenaux étroits et peu profonds soient sujets à des turbulences (frottements sur les berges, effets des vents, changement rapide du niveau d'eau) induisent des écarts de vitesses entre le fond et la surface ou les bords plus importants que pour la Sèvre et le Lay, et par conséquent des mesures de courants moins précises. De plus, le choix du matériel a été fait pour réaliser des mesures ponctuelles en faible profondeur. Les mesures ne sont faites que sur quelques cellules proches du fond, pour éviter des biais de mesure liés à l'émersion des cellules les plus hautes, en étiage ou à marée basse. Cette adaptation méthodologique génère secondairement des relations moins robustes, mais acceptables pour des cours d'eau aux débits aussi fluctuants.

Par conséquent, les débits des sections mouillées des chenaux secondaires se calculent à partir des équations suivantes :

- Chenal Vieux : $D_{SM} = 0.4459 * D_{ADCP}$
- Canal de Luçon : $D_{SM} = 1.1804 * D_{ADCP}$
- Chenal du Curé : $D_{SM} = - 0.0258 * D_{ADCP}^3 + 1.0251 * D_{ADCP}^2 - 12.82 * D_{ADCP} + 65.014$

E. Estimations des débits, volumes instantanés et QMJ

Les données de volumes « transitant » sont obtenues à partir de deux mesures de vitesses de courant consécutives. Les pas de temps de mesure des ADCP (72 mesures en 24 heures puis 288 mesures en 24 heures à partir du 04/04/17 pour les fleuves et 144 mesures en 24 heures pour les chenaux secondaires) justifient l'appellation « instantanée » (ou aussi : « haute fréquence »).

Par convention dans ce document, les données négatives sont les données de courant en flot, les positives en jusant. Les débits des cours d'eau sont donc obtenus sur la phase positive du signal.

E.1. Précisions sur les calculs

Le **débit instantané** (m^3/s) est le débit de la section mouillée estimé avec les équations établies pour chaque exutoire en partie II.4.D (modèles de débits) lors de chaque enregistrement par l'ADCP des mesures de vitesse et de hauteur d'eau valides.

Le **volume instantané** est ensuite calculé par le produit de la moyenne des débits instantanés calculés à deux mesures consécutives et la durée réelle entre ces deux mesures. Une valeur positive représente un volume transporté vers l'aval, une valeur négative représente un volume transporté vers l'amont. La somme des volumes instantanés estimés sur une journée permet d'obtenir un **volume cumulé journalier total** (= **résultante** des volumes transportés sur une journée vers l'aval et vers l'amont en m^3/j).

L'évaluation des **Quantités Moyennes Journalières totales** (QMJ en m^3/s) est estimée *in fine* par le Volume cumulé journalier total / (24 x 3600). Il correspond donc au volume moyen résultant rapporté en m^3/s et transporté par les courants vers l'amont (négatif) et vers l'aval (positif) dans ces stations estuariennes.

L'évaluation des **QMJ d'eau douce** (en m^3/s) en zone estuarienne est basée sur les volumes instantanés calculés mais en tenant compte de l'orientation de l'écoulement et de la salinité. Un QMJ vers l'aval est donc calculé et un QMJ vers l'amont est calculé pour une même journée. A chaque valeur de volume instantané est corrélée une valeur de salinité mesurée au même moment par la sonde STPS pour évaluer le coefficient de dilution avec l'eau de mer. La valeur de ce coefficient est calculée par rapport au maximum de salinité mesuré dans l'exutoire : 100 % du volume instantané à 0 de salinité ; 0 % du volume instantané au maximum de salinité. Le signe indique l'orientation des QMJ (positif vers l'aval, négatif vers l'amont).

E.2. Validation et exploitabilité des données

Pour permettre des estimations de volumes cumulés journaliers et de QMJ pertinents, le nombre de débits instantanés non valides (ou absents) par jour de mesure a été fixé à 20 % du total des valeurs de débits théoriques journaliers.

Ainsi, même avec des taux d'acquisition de mesures *in situ* satisfaisants malgré les contraintes environnementales et techniques citées plus haut (78 à 98 %, Figure 12, II.4.A.), cette condition diminue le nombre de données exploitables pour les calculs et les estimations de QMJ totaux et de volumes journaliers (Figure 20).

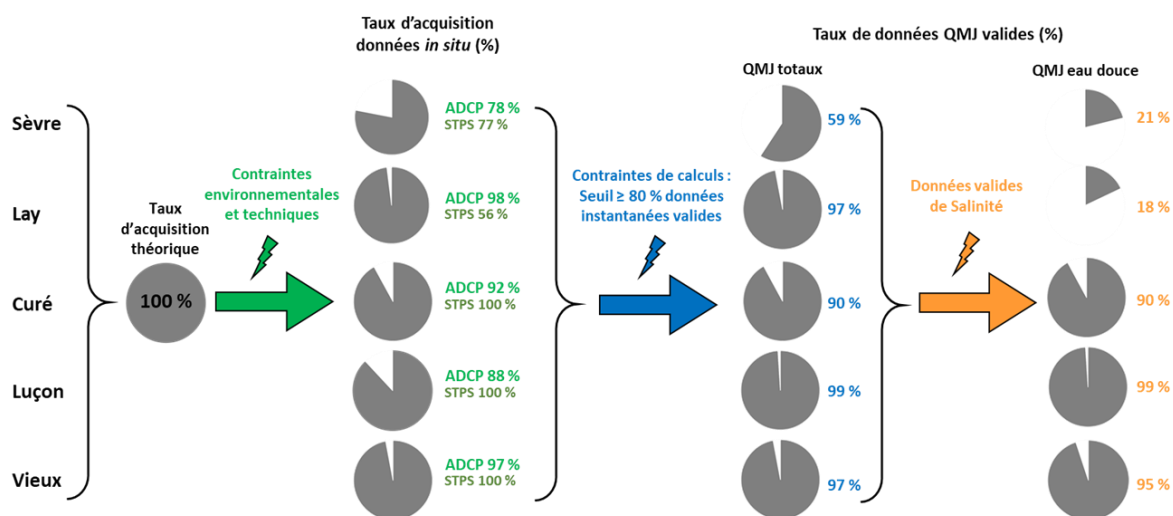


Figure 20. Taux d'exploitabilité des données enregistrées par les ADCP et les sondes STPS dans les 5 exutoires de l'étude pour les calculs de volumes cumulés journaliers, de QMJ totaux et de QMJ d'eau douce sur la période de mesure, selon les contraintes environnementales, techniques et mathématiques.

Cette diminution est notamment observée pour la Sèvre, où 59 % des QMJ totaux et volumes journaliers ont pu être calculés à partir des mesures *in situ* de débits instantanés, et entre 90 et 99 % pour les autres exutoires. Ce taux bas dans la Sèvre s'explique par des turbidités régulièrement élevées plusieurs fois par jour, notamment pendant les phases de flot, limitant l'acquisition de données de débits instantanés à ces périodes et induisant un nombre de jours important où moins de 80 % des volumes instantanés ont pu être calculés.

Il en est de même pour les calculs de QMJ d'eau douce, qui dépendent également de données valides de salinité. Des dérives du capteur de salinité observées (dus au biofouling, envasement et dérive interne) dans la Sèvre et le Lay et plusieurs périodes d'émersion ont entraîné moins de données de salinité exploitables et donc moins de calculs de QMJ d'eau douce possibles (21% et 18% respectivement, Figure 20). A contrario, pour les 3 chenaux secondaires, les données de salinité étaient conformes et ont ainsi permis de calculer 90 à 99 % des QMJ d'eau douce.

F. Constitution des modèles prédictifs

Des modèles de débits d'eau douce dits « modèles prédictifs » ont également été élaborés pour chacun des 5 exutoires afin de pallier les séries temporelles manquantes et obtenir des valeurs de QMJ au-delà de la période de mesures sur les sites. Ces modèles prédictifs se basent sur les données issues des stations de mesures *DREAL* (<http://www.hydro.eaufrance.fr/selection.php>) et situées dans les bassins versants du site d'étude (Figure 21).

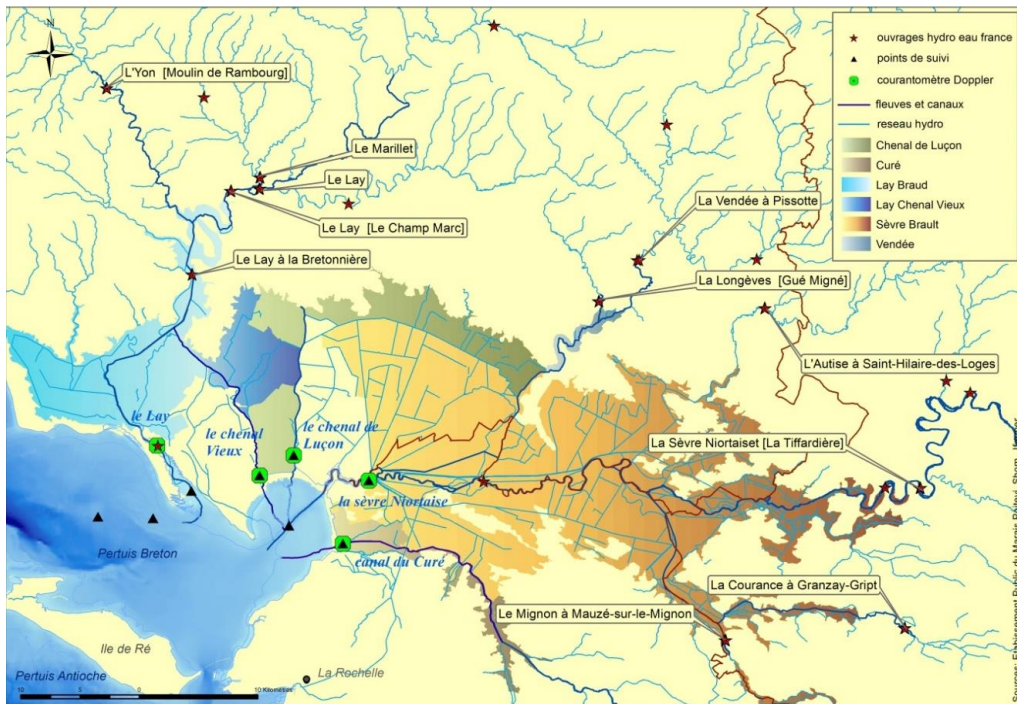


Figure 21. Bassins versants et réseaux des cours d'eau dans la zone géographique de l'étude. Les stations de l'étude sont représentées par des cercles verts et les stations hydrologiques *DREAL* par les étoiles rouges (n =20).

Pour les élaborer, des analyses mathématiques ont été réalisées en trois temps :

- 1) en relation directe ;
- 2) testées avec plusieurs niveaux de déphasage (nombre de jours), correspondant aux délais supposés de circulation des flux entre les stations hydrographiques *DREAL* situées en amont et les stations du projet situées en aval (entre 1 et 5 jours de déphasage) ;
- 3) le meilleur modèle prédictif des mesures a été recherché en utilisant les stations hydrographiques les mieux corrélées aux QMJ calculés avec les mesures de débits instantanés obtenues sur les sites de l'étude.

G. Application WEB

L'application WEB, issue de la collaboration entre ACRI-IN (développement de l'interface) et IFREMER (LER-PC, RIC) (hébergement des données) durant le projet, est présentée en Annexe 10. Elle se nomme *Monitor MP River* (Figure 22). Les données de vitesses et hauteurs d'eau acquises par les courantomètres dans la Sèvre et le Lay sont transmises par connexion filaire à une DIABOX qui enregistre les données en continu et les transmet au serveur web deux fois par jour. Les données sont ainsi récupérées deux fois par jour sur un

serveur puis elles sont décryptées et enregistrées dans une base de données. L'application web permet de visualiser et télécharger les données (graphique ou fichier texte).

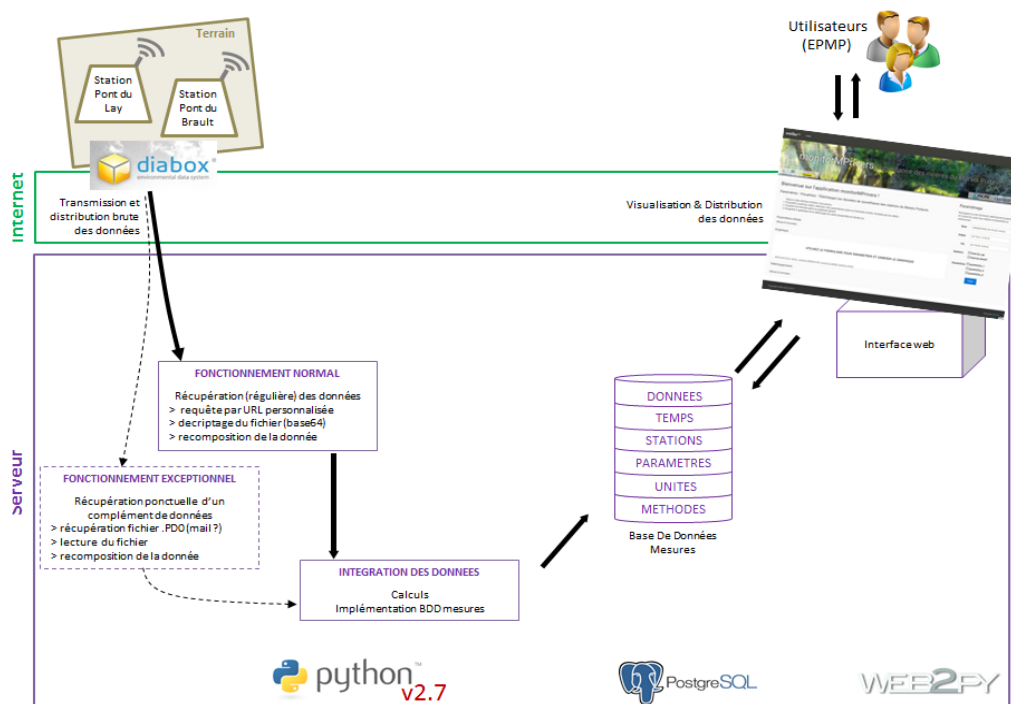


Figure 22. Structure de la chaîne d'acquisition, traitement et distribution des données par l'application Monitor MP River.

Le serveur qui héberge les routines de récupération, le traitement et la distribution est hébergé par IFREMER/RIC. ACRI-IN a fourni les routines de traitement et la création de la Base De Données (BDD) et les fichiers de l'application web. Les données acquises directement par l'ADCP sont la température (°C), la pression (Pa), la hauteur d'eau par faisceau vertical (m). Les données de vitesse (m/s) et de direction (°) moyenne du courant sont calculées avec les valeurs des cellules mesurées valides (corrélation ADCP ≥ 64 , source Teledyne RDI).

A partir de ces dispositifs et données obtenues, Ifremer/LER-PC a fourni les équations nécessaires pour l'obtention des débits en continu à partir des formules de jaugeages (II.4.D.1).

Les données sont ensuite écrites dans une base de données archivée sur les serveurs Ifremer. Par un menu sur l'interface, accessible par <https://ebvba.ifremer.fr>, l'utilisateur peut sélectionner la période de son choix sur l'intégralité de la série contenue dans la base de données et visualiser ou télécharger les données (Annexe 10).

III. RESULTATS

3.1 Mesures de volumes et de débits

Dans le cadre de cette étude, les stations mises en place sur les cinq cours d'eau ont permis de mesurer des flux d'eau (volumes instantanés transitant par les appareils de mesures) et des débits instantanés, mesurés

à un pas de temps de 10 minutes pour les chenaux secondaires et de 5 minutes pour les fleuves. Ces débits et volumes instantanés ont ensuite été transformés en volumes cumulés journaliers et quantités moyennes journalières (QMJ), qui ont ainsi pu être comparés aux mesures faites par la *DREAL*, i.e. à des stations de mesures plus en amont au niveau des bassins versants. Des modèles prédictifs de débits, établis le plus en aval possible des cours d'eau, ont permis ensuite de mettre en relation les QMJ obtenus aux stations de mesure du projet, avec ceux des stations de mesures *DREAL* (www.hydro.eaufrance.fr).

A. Mesures des débits instantanés

Les débits instantanés de la Sèvre et du Lay (Figure 23), en aval du dernier ouvrage présentent des débits oscillants au rythme des marées et de leurs intensités (maximum lors des marées de vives eaux). Pour les deux fleuves, malgré la fréquence d'oscillations comparable (en relatif), les signaux sont différents, avec plus de contrastes dans les débits durant la période allant d'avril 2017 à la fin d'année pour la Sèvre, et au contraire plus de contrastes entre janvier et avril 2018 pour le Lay.

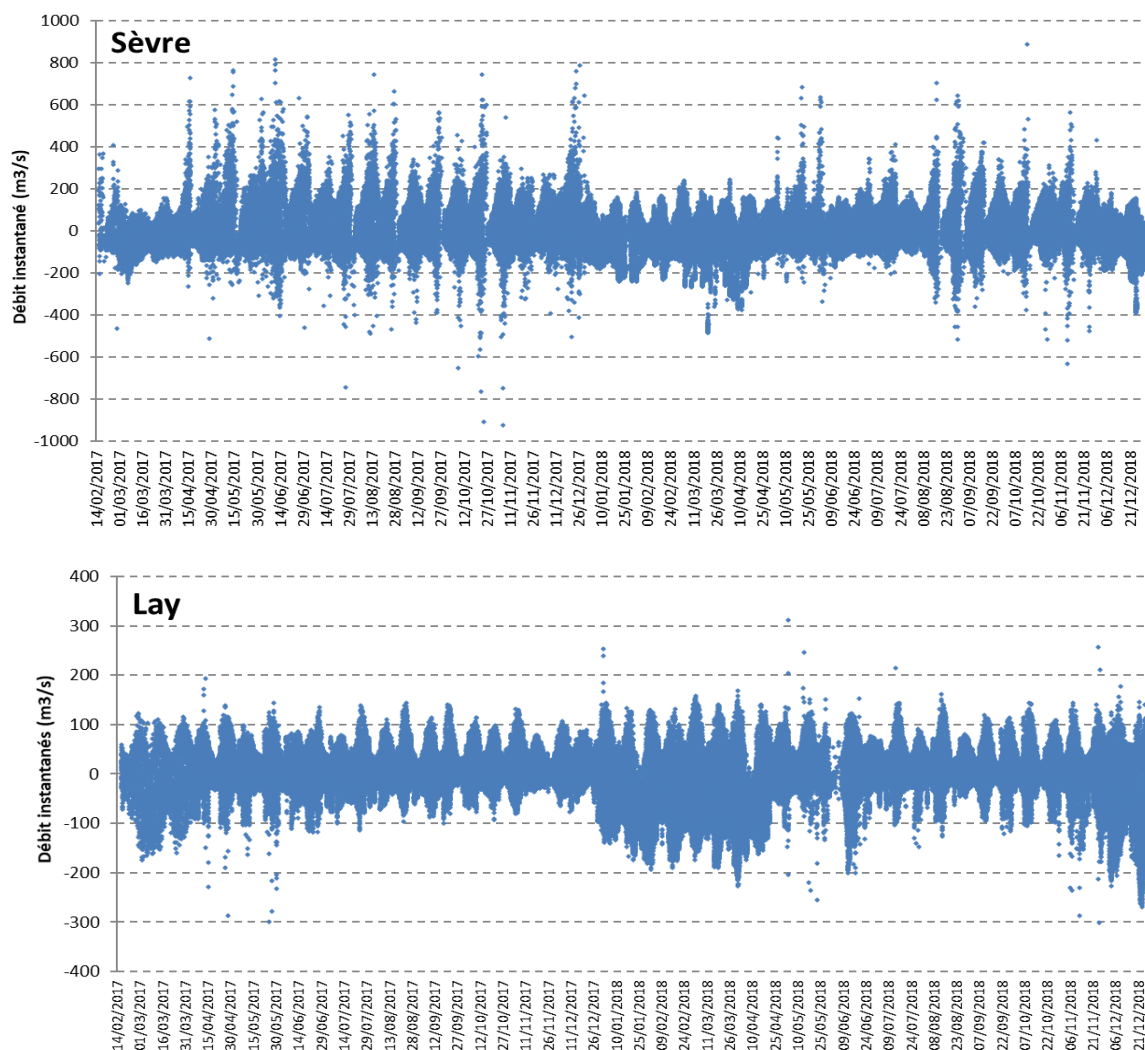


Figure 23. Débits mesurés sur un intervalle de temps de 5 min (m³/s) en 2017 et 2018 sur les deux fleuves, Sèvre et Lay ; dit aussi « débits instantanés » (par comparaison aux débits journaliers = QMJ). Les valeurs positives et négatives représentent des débits instantanés de l'amont vers l'aval et de l'aval vers l'amont respectivement.

La Sèvre montre des débits instantanés très élevés, avec de nombreuses valeurs comprises entre 200 et 800 m³/s en jusant et entre -300 et -400 m³/s en flot. Les débits instantanés du Lay sont sensiblement plus faibles et représentés par des valeurs comprises entre 50 et 150 m³/s en jusant et entre -50 et -200 m³/s en flot (Figure 23). L'influence de la marée sur le sens des courants et sur les volumes d'eau transitant est parfaitement identifiée au niveau de ces stations.

Par ailleurs des valeurs de débits extrêmes en positif et en négatif sont plus fréquentes pour la Sèvre que pour le Lay (Figure 23). Ainsi, ces points « extrêmes » apparaissent bien dans les distributions en « boîtes à moustaches », à la fois comme des valeurs qui « sortent de la distribution », comme mesures aberrantes (= points rouges), soit comme valeurs exceptionnelles (« outliers » = points bleus, Annexe 5).

Le Canal de Luçon et le chenal du Curé présentent des débits instantanés avec des pics maximaux autour de 20 m³/s lors de l'ouverture des ouvrages à la mer. Le chenal Vieux reste dans une gamme de 5 à 7 m³/s (Figure 24). Dans les chenaux, les appareils de mesure situés en amont des ouvrages à la mer, n'enregistrent plus l'effet de la marée. Le sens du courant est uniquement « descendant » de l'amont vers l'aval des cours d'eau (Figure 24 ; Annexe 5).

Les profils de débits et de volumes instantanés montrent également une gestion différenciée des différents chenaux (Annexes 5 et 6A). S'agissant de manœuvres manuelles, les actions d'ouverture et fermeture ne sont pas synchrones.

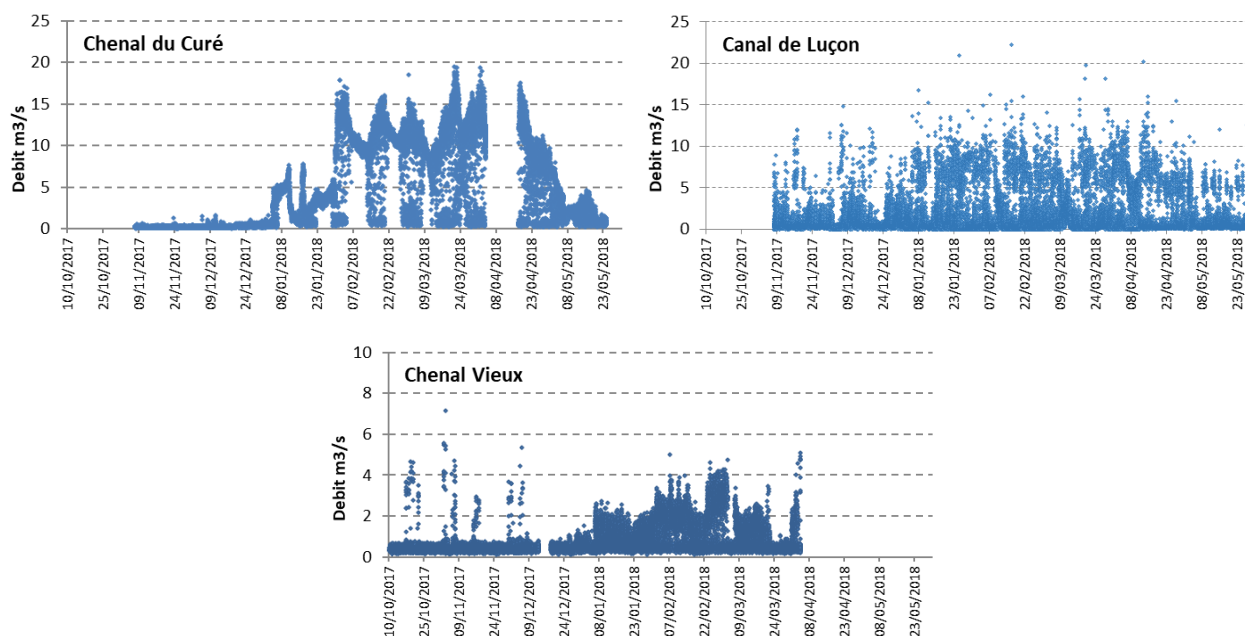


Figure 24. Débits « instantanés » mesurés sur un intervalle de temps de 10 min (m³/s) en 2017 et 2018, sur les trois chenaux secondaires : Curé, Luçon et Vieux.

La distribution de fréquence des débits instantanés est « modale » autour de débits « nuls » pour les fleuves (Sèvre et Lay) (Figure 25). La distribution est asymétrique avec des effectifs qui diminuent lorsque l'intensité des débits augmente pour les chenaux. Par ailleurs des effectifs en valeurs fortes ou faibles de

débites, isolés du reste de la distribution apparaissent pour les cinq cours d'eau (Figure 25, barres d'histogramme en rouge). Ces valeurs traduisent probablement des interventions ponctuelles et humaines. Les « dates-heures » d'observation de ces valeurs « hors normes » (Annexes 5 et 6A) demanderaient à être comparés aux calendriers de gestion des ouvrages.

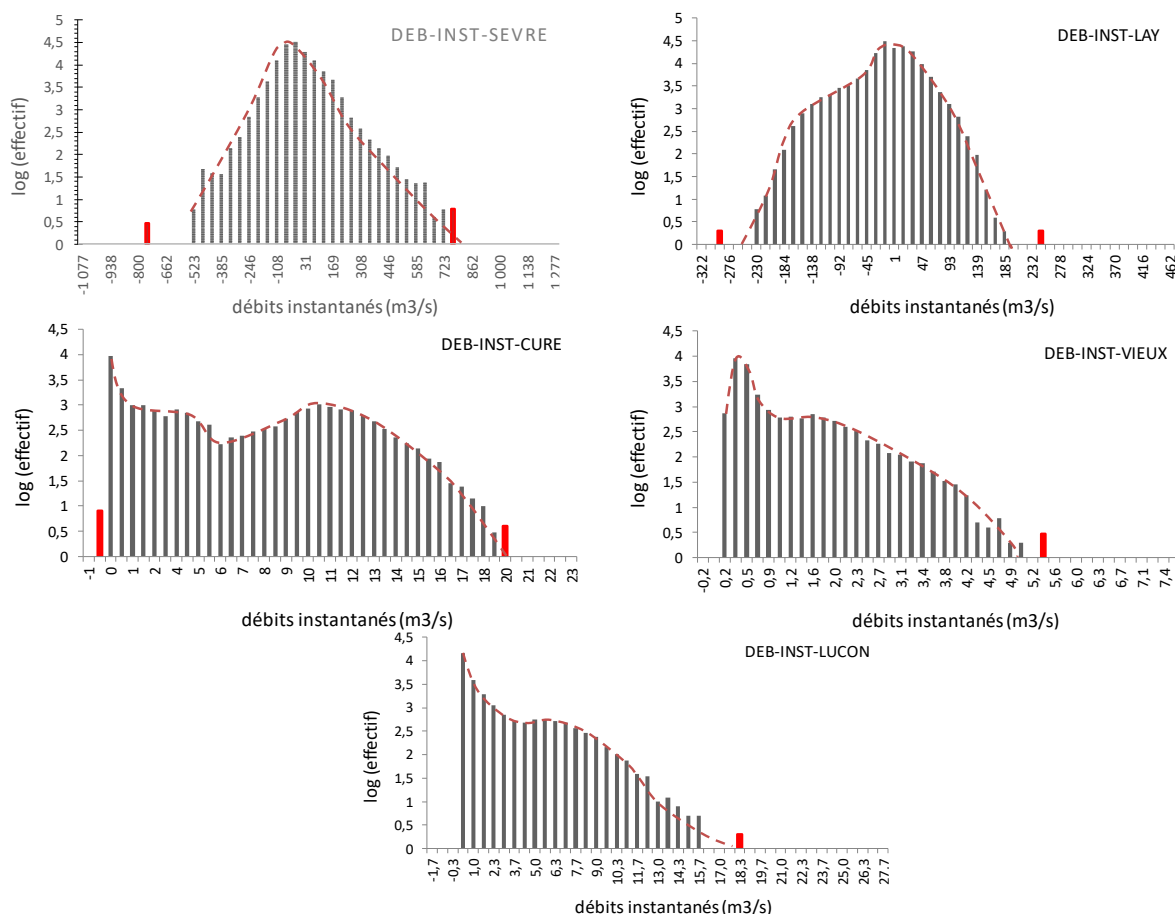


Figure 25. Distribution de fréquence des débits instantanés mesurés par classe de débits.

B. Mesures des volumes totaux et QMJ totaux

Les débits sont mesurés en aval du dernier ouvrage (écluses) pour l'estuaire de la Sèvre et du Lay et en amont du dernier ouvrage pour le Chenal du Curé, Canal de Luçon et le Chenal Vieux. De ce fait, les volumes journaliers négatifs sont ceux pour lesquels le flot entrant, sous l'effet de la marée, est supérieur au flux descendant résultant à la fois de l'effet de jusant et de l'export de l'eau douce vers l'embouchure des fleuves. Ainsi les QMJ peuvent-être négatifs seulement au niveau des mesures de la Sèvre et du Lay (Figure 26). Au niveau des chenaux secondaires, le courant de flot ne franchit qu'exceptionnellement les ouvrages, soit du fait d'erreurs ou retards de manœuvre des écluses⁵, soit parce que les vannes des ouvrages ne ferment pas complètement la communication avec l'amont du chenal (Figure 28). Une partie du flot peut aussi transiter par le fond du chenal lors des marées montantes de vives eaux.

⁵ Cette situation se rencontrerait uniquement lors d'opération de gestion et de « chasse » de la vase dans le cours d'eau pendant une période de marée montante.

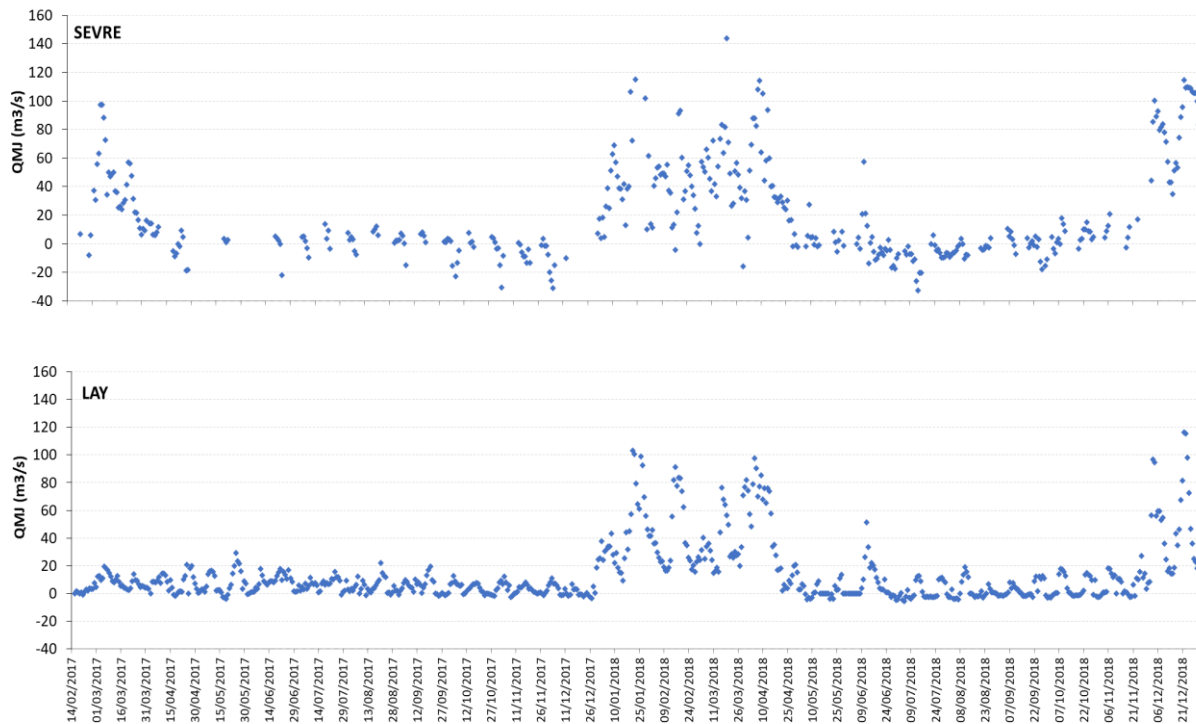


Figure 26. QMJ totaux mesurés (m³/s) de la Sèvre Niortaise et du Lay entre février 2017 et janvier 2019.

Pour la Sèvre, les QMJ positifs oscillent entre quelques m³/s et 144 m³/s pendant les périodes de crue. Les QMJ négatifs (liés au flot de marée montante) oscillent entre -0.1 m³/s et -32.9 m³/s.

Pour le Lay, les QMJ positifs oscillent entre quelques m³/s et 116 m³/s pendant les périodes de crue. Les QMJ négatifs oscillent entre -0.1 m³/s et -5.5 m³/s (Figure 26).

Les volumes journaliers totaux sont calculés en cumulant les volumes instantanés mesurés sur 24h, et correspondent à des volumes transitant vers l'aval (positifs) ou vers l'amont (négatifs). Ils sont négatifs sur la Sèvre entre avril et début décembre 2017, puis entre juin et début octobre 2018 (Figure 27), deux périodes d'étiage où le prisme de marée est nettement supérieur aux débits des fleuves. Sur le Lay, les volumes cumulés journaliers négatifs sont rares et de faible amplitude, également localisés sur les périodes d'étiage (Figure 27).

Les volumes journaliers totaux transitant vers l'estuaire sont entre quelques centaines de milliers et 2 x 10⁶ de m³/jour, entre février et décembre 2017 et entre mai et décembre 2018 pour la Sèvre et le Lay. Lors des périodes de crues, les volumes maximums journaliers mesurés se situent entre 2 et 10 x 10⁶ m³/jour, entre janvier et avril 2018, puis à partir décembre 2018 (Figure 26 et Annexes 6 et 7). Les volumes transitant vers l'aval de l'estuaire sont du même ordre de grandeur pour le Lay et la Sèvre, notamment pendant les périodes de crue. La Sèvre, de par sa configuration et localisation, semble plus sensible au prisme de marée et présente des volumes transitant vers l'amont sous l'effet du flot plus fréquents et plus intenses que dans le Lay (Figures 26 et 27).

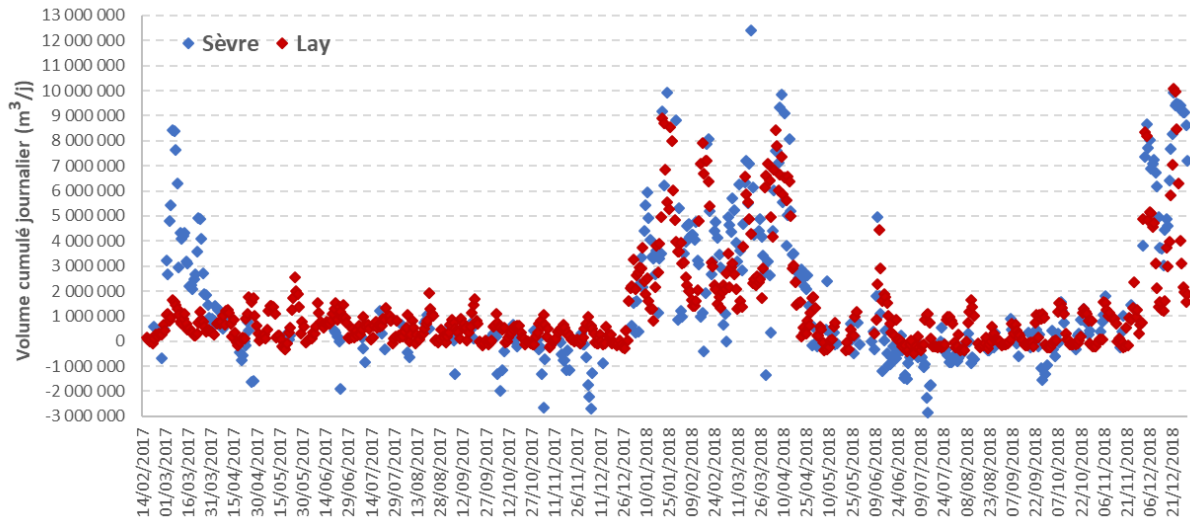


Figure 27. Volumes journaliers totaux mesurés pour la Sèvre et le Lay en aval du dernier ouvrage.

Au niveau des chenaux secondaires, les QMJ sont beaucoup plus faibles, entre 0 et 13 m³/s pour le chenal du Curé, entre 0 et 4.2 m³/s, pour le canal de Luçon, et 0 et 2 m³/s, pour le chenal Vieux (Figure 28).

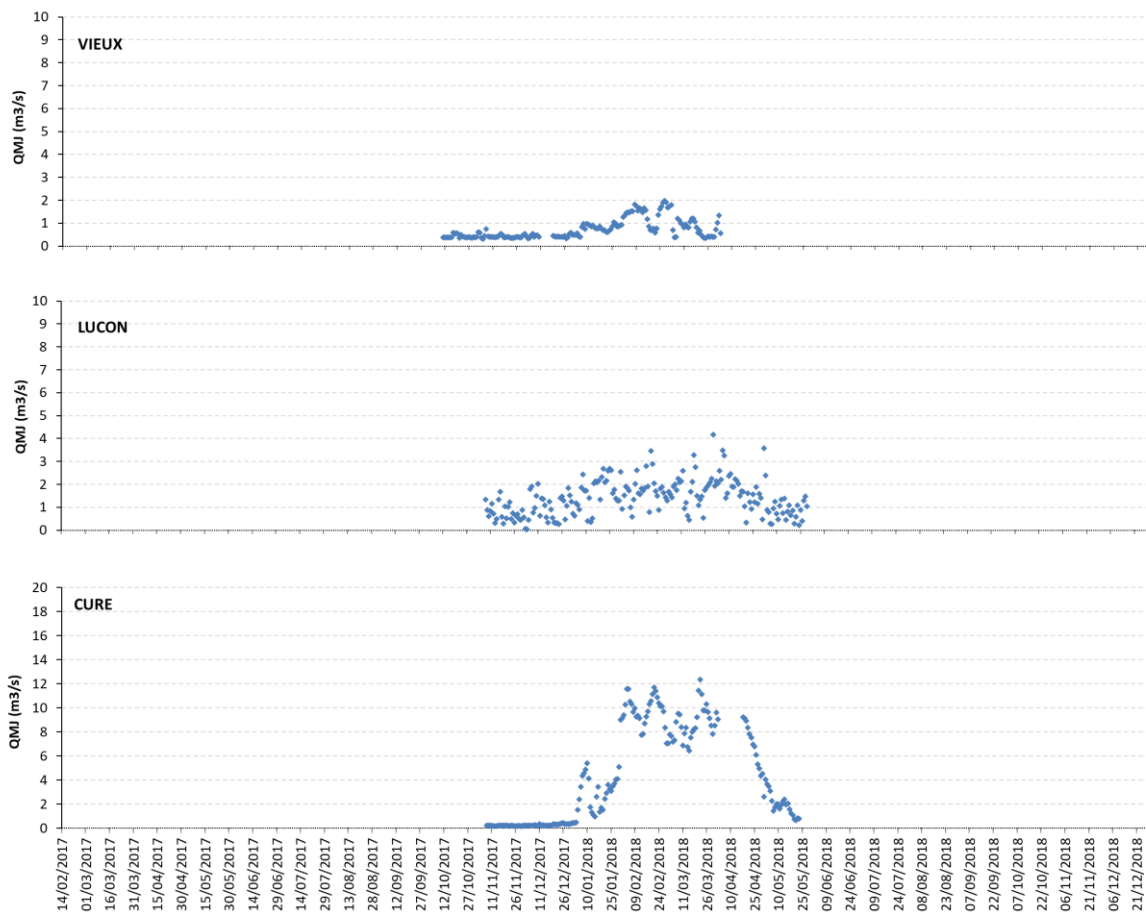


Figure 28. QMJ totaux mesurés (m³/s) du chenal Vieux, du canal de Luçon et du chenal du Curé de novembre 2017 à mai 2018 en amont du dernier ouvrage.

Les volumes journaliers totaux mesurés dans les chenaux secondaires représentent quelques dizaines de milliers de m³ pour le chenal Vieux (66 000 à 190 000 m³/j) et le canal de Luçon (30 000 à 390 000 m³/j) à quelques centaines de milliers pour le chenal du Curé (258 000 à 1 100 000 m³/j) entre janvier et avril 2018 (Figure 29, Annexe 6 et 7).

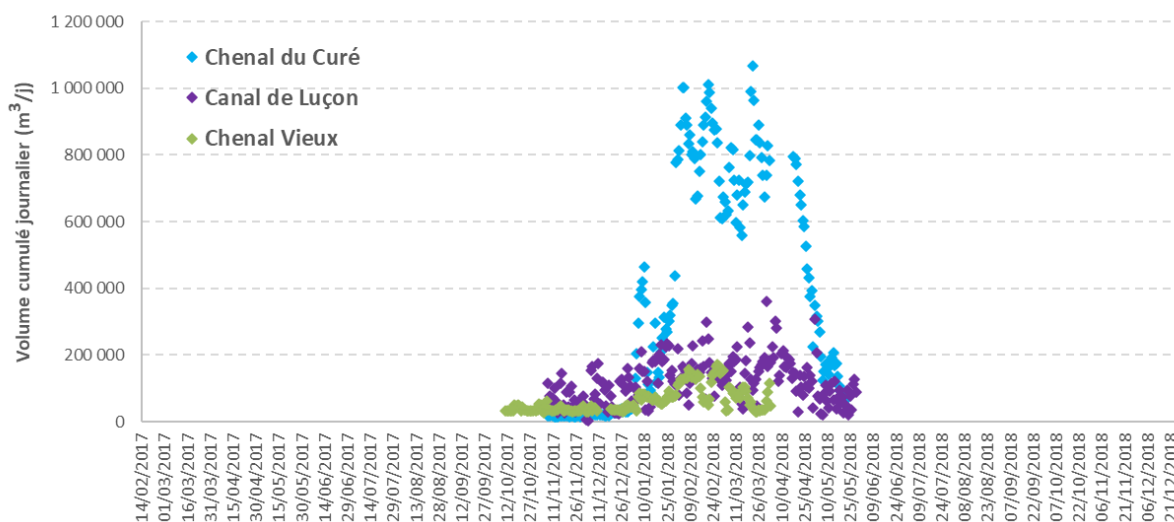


Figure 29. Volumes cumulés journaliers totaux des chenaux secondaires mesurés en amont du dernier ouvrage.

C. Mesures des volumes d'eau douce et QMJ eau douce

En tenant compte des salinités mesurées au même instant qu'une mesure de volumes instantanés, il a été possible d'évaluer les volumes d'eau douce qui transitent vers la baie par les 5 exutoires (valeurs positives) ou qui remontent le fleuve en flot (valeurs négatives, Figure 30).

Pour la Sèvre et le Lay, les volumes journaliers d'eau douce descendants vers l'aval oscillent entre 2 et 13.5 x 10⁶ m³/jour en périodes de crue et sont entre quelques centaines de milliers et 1 x 10⁶ de m³/jour le reste de l'année (NB : peu de données d'eau douce ont pu être calculées pour les périodes d'étiage). Les flux d'eau douces vers l'amont, lors des flots, sont comparativement très faibles en périodes de crues : entre 0.5 et 1.1 x 10⁶ m³/jour pour le Lay, et entre 0.5 et 3.1 x 10⁶ m³/jour pour la Sèvre. En étiage, le manque de données rend difficile l'interprétation, globalement les volumes d'eau douce journaliers à ces périodes sont du même ordre de grandeur que ceux vers l'aval sur une même journée.

Pour les chenaux secondaires, les volumes d'eau douce sont logiquement similaires aux volumes totaux calculés.

Les QMJ d'eau douce vers l'aval oscillent entre 0.3 et 160 m³/s pour la Sèvre et 0.5 et 118 m³/s pour le Lay, et sont compris vers l'amont entre -0.1 et -36 m³/s pour la Sèvre et -0.2 et -13 m³/s pour le Lay (Figure 30). Pour les chenaux secondaires, les valeurs de QMJ d'eau douce oscillent entre 0.05 et 12.2 m³/s pour le

chenal du Curé, entre 0.01 et 4.1 m³/s pour le canal de Luçon et entre 0.01 et 2.0 m³/s pour le chenal Vieux (Figure 30).

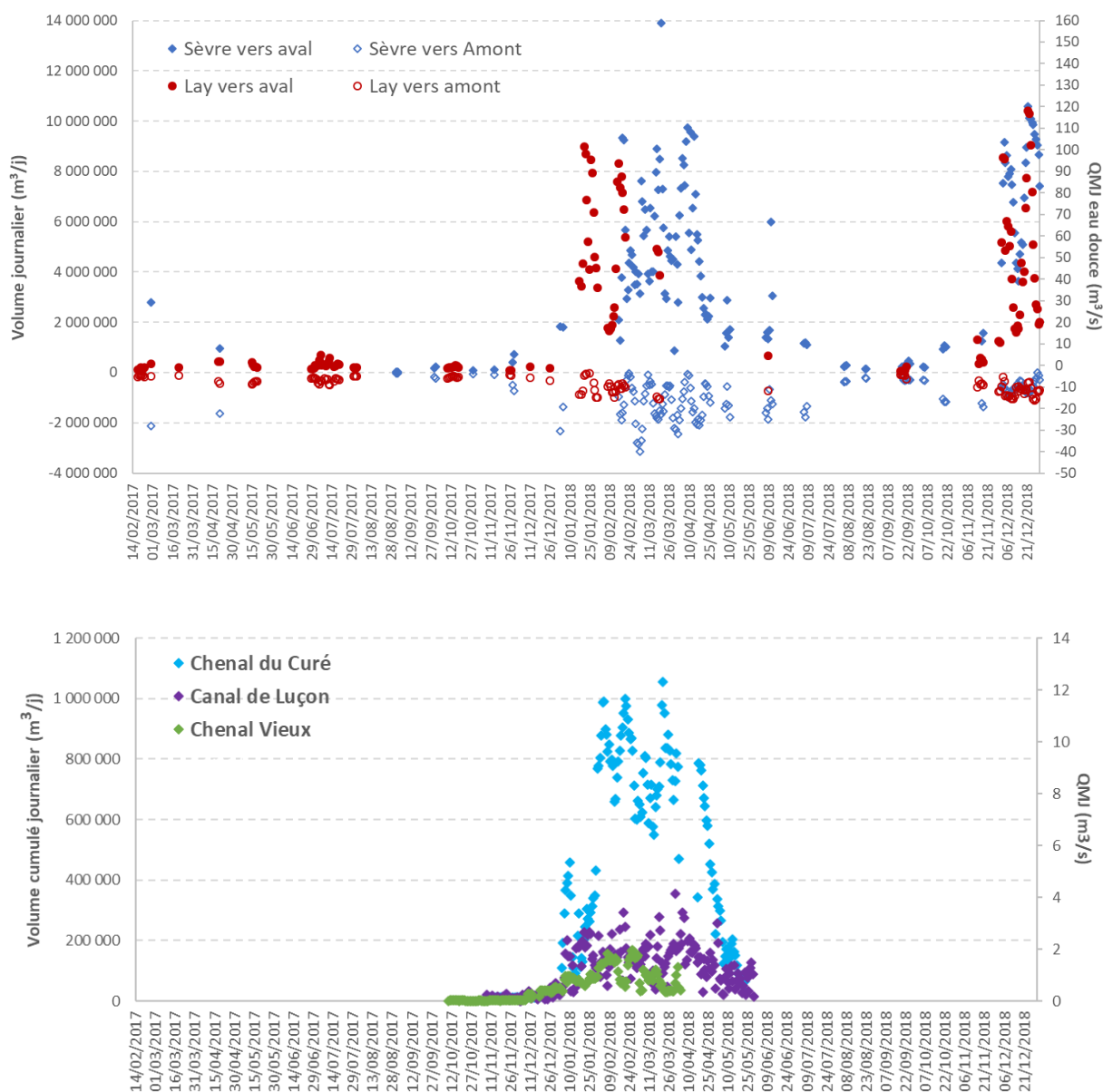


Figure 30. Volumes journaliers d'eau douce et QMJ d'eau douce calculés dans les 5 exutoires.

Au cours de l'hiver et début de printemps 2018 (janvier à avril), les volumes d'eau douce relâchés par les fleuves et les chenaux vers l'aval du système peuvent être comparés afin d'évaluer leur contribution hydrique en période de crue. La Sèvre et le Lay représentent 48 % et 42 %, respectivement des apports hydriques sur cette période. Les trois chenaux secondaires représentent 10 % des apports hydriques avec : Vieux (1 %), Luçon (2 %) et Curé (7 %) (Figure 31).

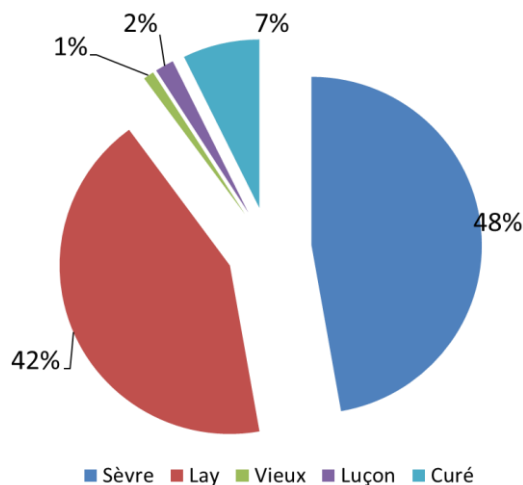


Figure 31. Comparaison relative des volumes journaliers d'eau douce relargués par les cinq exutoires au cours de l'hiver 2018 (janvier-mars).

3.2 Relation entre les débits mesurés et la pluviométrie

Une analyse de corrélations est réalisée à partir des données de pluviométrie enregistrées à la station Météo France Le Bout Blanc située à La Rochelle et des débits journaliers mesurés des fleuves et chenaux de l'étude (Figure 32 ; Tableau 4). L'objectif est ici de chercher à comprendre si la pluviométrie régionale est à même d'expliquer les débits des fleuves et chenaux, et selon quelle dynamique.

Ainsi la meilleure corrélation entre les débits de la Sèvre et du Lay et la pluviométrie est de 0,59-0,61, respectivement, en cumulant la pluviométrie sur une période de 16-18 jours qui précède la date de mesure du débit (Tableau 4). Ce résultat montre ainsi qu'il faut additionner les précipitations sur le secteur pendant environ deux semaines (12 jours à 18 jours d'après le Tableau 4) pour qu'elles impactent de façon significative les débits de la Sèvre et du Lay.

Pour les chenaux secondaires, des corrélations de 0,50 à 0,68 ont été obtenues en prenant en compte un cumul de précipitations sur 14 jours (identique aux résultats de la Sèvre et du Lay), mais décalé également de 14 jours à 28 jours, respectivement pour le canal de Luçon d'une part et pour le chenal Vieux et le chenal du Curé d'autre part (Tableau 4). Dans le cas des chenaux, le décalage temporel de 2 à 4 semaines nécessaire pour que les précipitations régionales impactent les débits n'existe pas pour les fleuves. Cet effet différé doit très probablement être mis sur le compte de la gestion de l'eau douce avec une « retenue » probablement volontaire de l'eau douce par l'homme au niveau des surfaces (cultures, élevage, marais, ...) avant que l'eau ne soit « relâchée » et parvienne aux chenaux mais aussi de la capacité tampon du Marais poitevin à retenir les précipitations dans leurs sols associés.

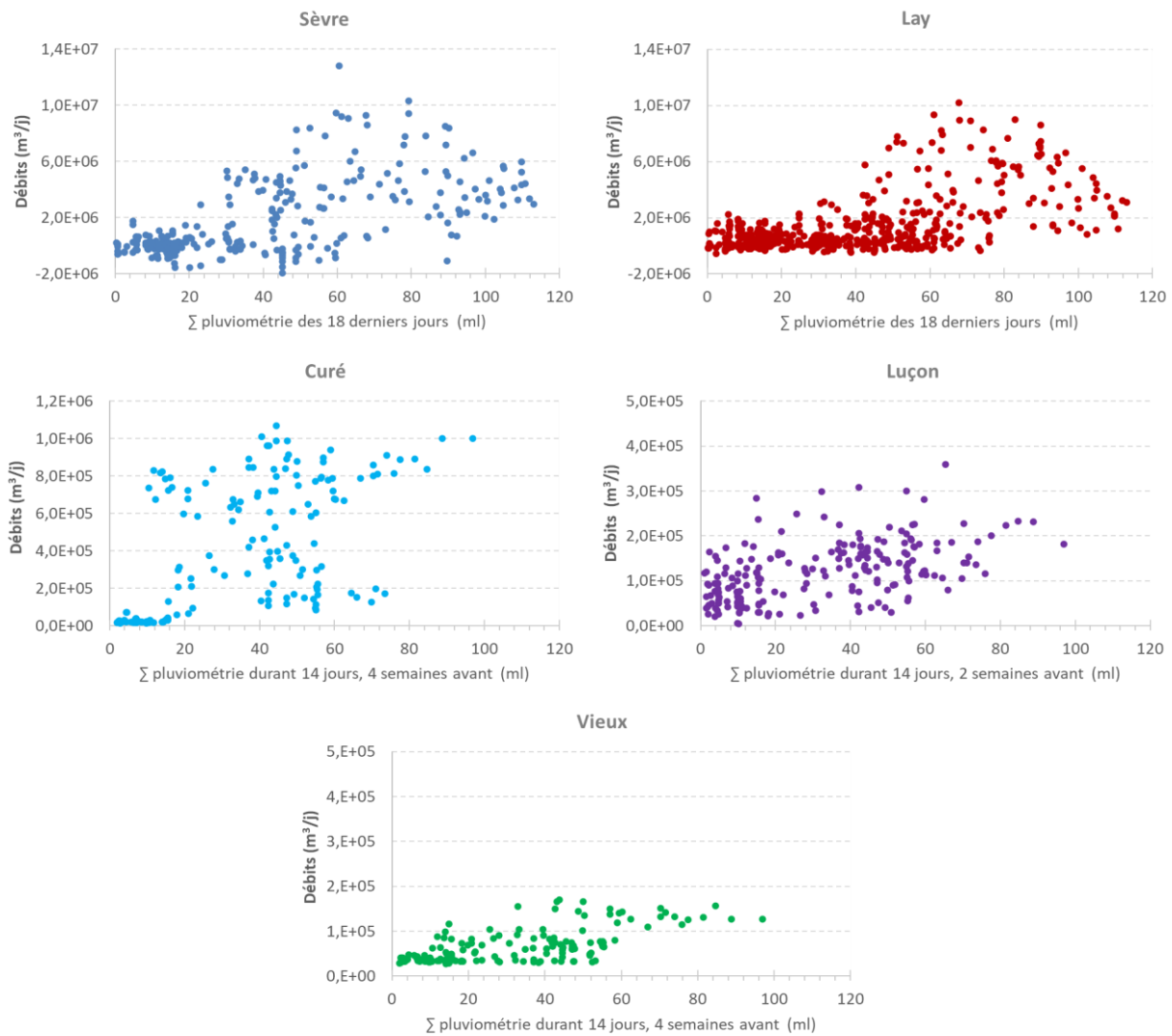


Figure 32. Représentation des meilleures corrélations obtenues entre les débits journaliers des fleuves et chenaux secondaires et la pluviométrie enregistrée à la station Météo France de La Rochelle (Bout Blanc) (voir Tableau 4).

Tableau 4. Matrice de corrélation entre les débits des 5 cours d'eau et la pluviométrie de « référence » enregistrée à la station Météo France Le Bout-Blanc à La Rochelle. Des corrélations sont établies entre le débit journalier des cours d'eau et la somme de la pluviométrie d'un jour (J0) à 18 jours (Σ18J), puis également en décalant la pluviométrie d'une semaine (7Ja) à quatre semaines (28Ja) ; la pluviométrie étant elle-même cumulée sur sept jours (Σ7J) ou 14 jours (Σ14J).

		P1	ΣP2	ΣP3	ΣP7	ΣP10	ΣP12	ΣP14	ΣP16	ΣP18	ΣP7.D7	ΣP7.D14	ΣP14.D7	ΣP14.D14	ΣP14.P21	ΣP14.D28
Débit Sèvre (J)	R2	0,10	0,17	0,32	0,52	0,57	0,59*	0,60	0,61	0,61	0,49	0,40	0,52	0,51	0,52	0,42
	n	-286	-286	-286	-286	-286	-286	-286	-286	-286	-286	-286	-286	-286	-286	-286
	p	0,10	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Débit Lay (J)	R2	0,13	0,23	0,42	0,55	0,57	0,58	0,58	0,58	0,59	0,38	0,34	0,43	0,54	0,54	0,35
	n	-592	-592	-592	-592	-592	-592	-592	-592	-592	-592	-592	-592	-592	-592	-592
	p	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Débit Vieux (J)	R2	0,03	0,06	0,10	0,10	0,13	0,17	0,21	0,24	0,26	0,23	0,29	0,32	0,36	0,53	0,68
	n	-167	-167	-167	-167	-167	-167	-167	-167	-167	-167	-167	-167	-167	-167	-167
	p	0,73	0,44	0,20	0,22	0,10	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
Débit Luçon (J)	R2	0,19	0,28	0,33	0,39	0,36	0,37	0,37	0,40	0,43	0,19	0,37	0,35	0,5	0,44	0,24
	n	-203	-203	-203	-203	-203	-203	-203	-203	-203	-203	-203	-203	-203	-203	-203
	p	0,01	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0,006	0	0	0	0	0,00
Débit Curé (J)	R2	-0,02	-0,01	0,03	0,10	0,16	0,21	0,24	0,27	0,29	0,28	0,28	0,35	0,37	0,49	0,60
	n	-182	-182	-182	-182	-182	-182	-182	-182	-182	-182	-182	-182	-182	-182	-182
	p	0,79	0,92	0,67	0,17	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0

Pour les cinq cours d'eau, les meilleures corrélations significatives obtenues entre la pluviométrie et les débits des cours d'eau se situent entre 0,50 à 0,68. Ces valeurs démontrent qu'il existe d'autres facteurs à prendre en compte, en plus de la pluviométrie, pour expliquer les débits de ces 5 exutoires : perte d'une partie de l'écoulement par pompage lié aux activités humaines, retenues dans des réservoirs (barrages, ouvrages, sols, ...), évaporation au cours de l'écoulement, et écoulements souterrains qui ne sont pas comptabilisés dans les mesures de débits en aval.

3.3 Modèles prédictifs de QMJ

L'objectif est ici de comprendre dans quelle mesure les débits mesurés plus en amont aux stations *DREAL* peuvent être prédictifs des débits des fleuves et chenaux, au niveau des cinq stations de mesures du projet (Figure 33 ; Annexe 8). Les modèles sont établis afin de mettre en relation les mesures de débits et calculs de QMJ d'eau douce effectuées en 2017-2018 (144 jours de mesures pour la Sèvre, 123 jours pour le Lay, 183 jours pour le chenal du Curé, 203 jours pour le canal de Luçon et 168 jours pour le chenal Vieux) avec les QMJ des stations *DREAL*. Cette modélisation, basée sur les conditions hydrographiques enregistrées dans les stations les plus proches des sites de mesure, permet donc d'évaluer les volumes transitant vers l'aval pour les périodes situées en dehors des mesures sans l'effet marée et également pour les périodes.

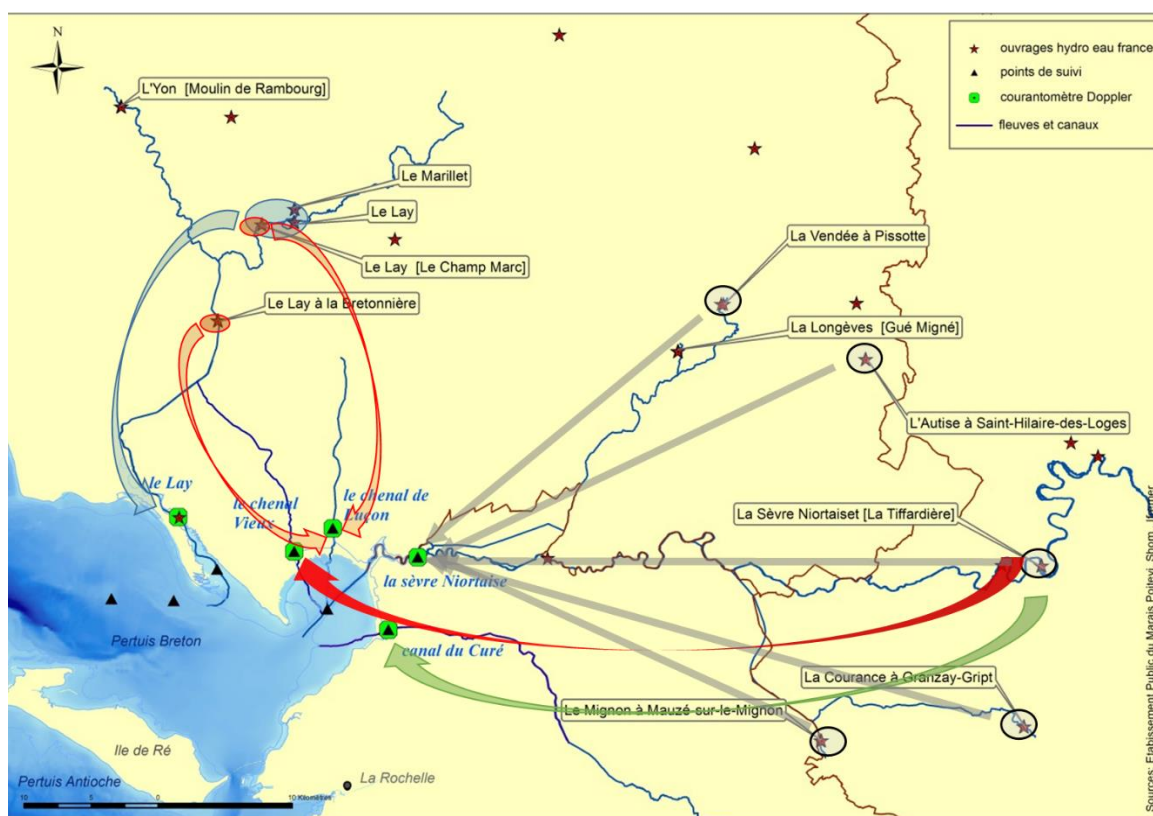


Figure 33. Meilleures relations établies entre les stations de mesures de l'étude (cercles verts) avec les stations de mesure *DREAL* (étoiles rouges). Les flèches de même couleur représentent les stations qui permettent de modéliser les mesures pour chaque site du projet.

On constate qu'aucune station *DREAL* ne se situe sur les bassins versants (BV) des trois chenaux secondaires alors qu'il en existe plusieurs sur les BV des fleuves Sèvre et Lay (Figure 21). Ainsi les modèles

pour expliquer les débits mesurés de la Sèvre et du Lay prendront bien en compte les stations *DREAL* des bassins versants concernés, alors que ceux des chenaux seront approchés par des stations situées hors de leurs BV et les meilleures corrélations.

Les Figures 34 et 35 présentent les modèles obtenus les plus robustes comparativement aux données acquises *in situ*; et le Tableau 5 les équations de ces modèles utilisés dans l'étude. Les modèles sont d'autant plus précis que les coefficients de corrélation sont élevés.

Tableau 5. Stations hydrologiques *DREAL* ayant servi à l'obtention des modèles les mieux ajustés aux débits mesurés par l'étude, pour chacun des fleuves et exutoires.

Coefficients corrélation <i>Mod. vs Mes.</i>	Stations <i>DREAL</i> (<i>Hydro EauFrance.fr</i>)	Modèles prédictifs obtenus à partir des mesures aux stations <i>DREAL</i>
QMJ-SEVRE $R^2 = 0,78$	La Sèvre Niortaise à Niort [La Tiffardière]	<i>SEV</i>
	Autise à St. Hilaire des Loges	<i>AUT</i>
	Le Mignon à Mauzé-sur-le-Mignon	<i>MIG</i>
	La Courance à Granzay-Gript	<i>COU</i>
	La Vendée à Pissotte [Pont de Crochet]	<i>VEN</i>
QMJ-LAY $R^2 = 0,79$	Le Lay à Mareuil-sur-Lay-Dissais	<i>LAY1</i>
	Le Marillet à Mareuil-sur-Lay-Dissais [Moulin Fleury]	<i>MAR</i>
	Le Lay à Mareuil-sur-Lay-Dissais [Le Champ Marc]	<i>LAY2</i>
QMJ-VIEUX $R^2 = 0,81$	La Sèvre Niortaise à Niort [La Tiffardière]	<i>SEV</i>
QMJ-LUCON $R^2 = 0,73$	Le Lay à Mareuil-sur-Lay-Dissais [Le Champ Marc]	<i>CHA</i>
	Le Lay à la Bretonnière [Port de la Claye]	<i>BRET</i>
QMJ-CURE $R^2 = 0,83$	La Sèvre Niortaise à Niort [La Tiffardière]	<i>SEV</i>

Pour la Sèvre et le Lay, les coefficients de corrélation entre les QMJ modélisés et ceux calculés aux stations du projet sont de 0.78 et 0.79 respectivement (Figures 34, 35 ; Tableau 5 ; Annexe 8). Pour le chenal Vieux, le canal de Luçon, et le chenal du Curé, les modèles sont également bien ajustés avec les QMJ mesurés, avec des R^2 respectivement de 0.81, 0.73 et 0.83.

Les stations prises en compte pour établir le modèle prédictif des débits de la Sèvre sont situées entre 44 et 80 km de la station de mesure, celles du Lay à seulement 33-37 km et celles des chenaux entre 20 et 73 km. Les débits de la Sèvre sont significativement corrélés aux débits du Lay ($p < 0,01$). Les débits du canal de Luçon, du chenal Vieux et du Curé sont corrélés tout à la fois avec les débits de la Sèvre et du Lay ($p < 0,001$). Ces corrélations directes entre les deux chenaux et les deux fleuves permettent alors de comprendre que les débits de ces deux chenaux peuvent être modélisés à partir de stations situées sur les bassins versants des fleuves (Tableau 5). Ainsi les débits à la station du chenal de Luçon sont modélisés à partir de deux stations du BV du Lay ($R^2 = 0.79$), ceux du Curé et du Vieux par la station la Tiffardière à l'Est du bassin versant de la Sèvre niortaise ($R^2 = 0,83$).

Pour la Sèvre au pont du Brault, la meilleure estimation du débit mesuré est obtenue comme la somme des débits de cinq stations situées sur le pourtour du BV de la Sèvre, à savoir les stations de la Sèvre Niortaise, d'Autize, du Mignon, de la Courance et de la Vendée ($R^2 = 0.72$, Annexe 8). Dans un second temps, le meilleur décalage obtenu pour la Sèvre a été de + 1 jour de délai (coefficient de corrélation 0,79).

Pour le Lay, les meilleures stations du modèle sont les stations du Lay à Mareuil, de Moulin Fleury et du Champ Marc avec un R^2 de 0.88 (Annexe 8). Dans un second temps, le meilleur décalage obtenu pour le Lay a été de + 2 jours de délai (coefficient de corrélation 0,93).

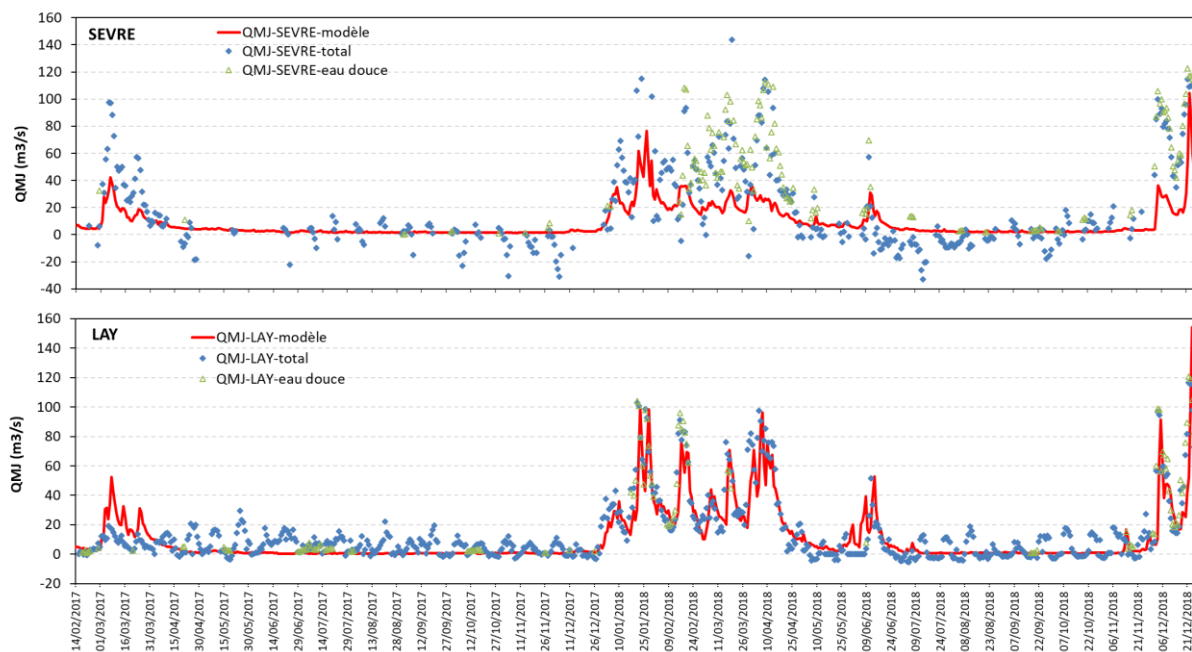


Figure 34. Modèles prédictifs des QMJ des stations DREAL (courbe rouge) comparés aux QMJ eau douce vers l'aval (triangles verts) et QMJ totaux (losanges bleus) calculés dans la Sèvre et le Lay au niveau des stations du projet.

Pour les chenaux secondaires l'hypothèse proposée est celle de l'homogénéité de régime hydrique (pluviométrie, évapotranspiration...) et de la nature de sol conduisant à une même dynamique des apports. Comme les chenaux du Curé, de Luçon et le chenal Vieux ne sont pas équipés de stations de mesures en amont, toutes les stations existantes dans le Marais poitevin ont été testées (Tableau 6). Les résultats montrent que les meilleurs coefficients obtenus dans le cas de corrélations directes entre les différentes stations se situent entre 0,5 et 0,7 pour les chenaux secondaires (voir Annexe 8).

Pour le **canal de Luçon**, le meilleur modèle explicatif de la mesure trouvé est polynomial d'ordre 3 avec les stations DREAL de Champ Marc et de La Bretonnière avec un déphasage de 3 jours pour Champarc (Lay_{CHAMP3}) et la Bretonnière (Lay_{BRET3}) et avec un $R^2 = 0,73$ (Tableau 5 ; Figure 34).

Pour le **chenal du Curé**, le meilleur modèle explicatif du QMJ mesuré est un modèle puissance de la Sèvre décalé de 3 jours avec un $R^2 = 0,83$ (Tableau 5 ; Figure 34).

Pour le **chenal Vieux**, le meilleur modèle explicatif est un modèle de puissance, lié à la station Sèvre Niortaise (Tiffardière) avec un déphasage de 3 jours avec un $R^2 = 0,81$ (Tableau 5 ; Figure 34).

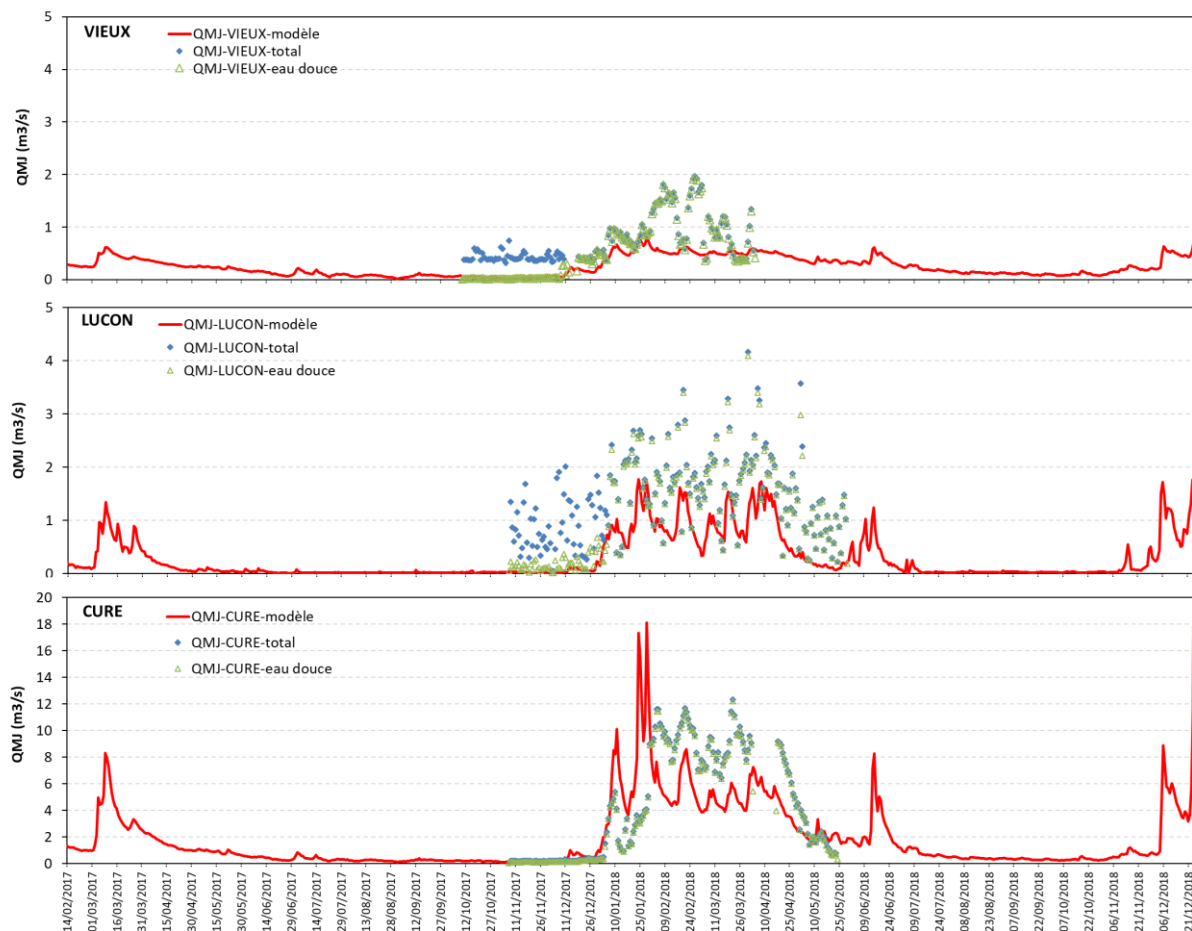


Figure 35. Modèles prédictifs des QMJ des stations *DREAL* (courbe rouge) comparés aux QMJ eau douce (triangles verts) et QMJ totaux (losanges bleus) calculés dans les chenaux secondaires au niveau des stations du projet.

Tableau 6. Corrélations directes entre les mesures EBVBA et les différentes stations de mesure *DREAL*. Le nombre d'étoiles indique la qualité croissante de la corrélation.

	Luçon EBVBA	Curé EBVBA	Vieux EBVBA	Sevre EBVBA	Lay EBVBA	Yon	Lay Champarc	Lay Bretonnière	Lay	Marillet	Vendée	Longèves	Courance	Mignon	Sèvre Niortaise
Luçon EBVBA					*	*	*	*	*	*	*		*		*
Curé EBVBA			*	*	*		*	*	*				*		*
Vieux EBVBA		*													
Sevre EBVBA		*			*		*	*	*		*	*	**	*	*
Lay EBVBA	*	*		*		***	****	****	****	***	***	**	***	***	***

Les volumes journaliers transitant présentent une saisonnalité très proche, notamment dans la Sèvre, le Lay et le chenal du Curé (Figure 36). Pour ces cinq principaux cours d'eau de la région, les volumes journaliers sont significativement élevés en mars 2017, au cours des mois de janvier-avril 2018 et en décembre 2018. Un « pic secondaire » apparaît en juin 2018. L'ensemble des résultats est présenté dans l'Annexe 9.



Figure 36. Volumes journaliers maximums et minimums, et moyens (m³/j) issus des modèles prédictifs pour les cinq exutoires en 2017 -2018.

IV. DISCUSSION

4.1 Fonctionnement hydrodynamique des exutoires de l'étude

Un estuaire représente la zone de mélange des eaux douces avec les eaux marines, se formant à l'embouchure d'un fleuve lorsqu'il se jette dans la mer. D'un point de vue physique, les deux plus importants facteurs contrôlant la dynamique estuarienne sont l'intensité du mélange entre l'eau douce et l'eau salée, et la vitesse avec laquelle ce mélange se fait (voir références dans Toubanc 2013, Deloffre 2005). Ces deux éléments sont eux-mêmes contrôlés par six facteurs principaux : le débit fluvial, les précipitations, l'évaporation, les variations de la marée, la force du vent, et la topographie de l'estuaire. Le rapport entre la quantité d'eau douce qui arrive par le fleuve et celle d'eau de mer mélangée par les marées détermine clairement le type d'estuaire. Les estuaires possèdent des caractéristiques morphologiques et hydrologiques très variables selon la dominance de l'un ou l'autre de ces forçages naturels. Dans notre cas, deux autres facteurs anthropiques

influencent aussi cette circulation hydrodynamique : les ouvrages à la mer et le pompage d'eau douce. Les ouvrages à la mer, quand ils sont fermés, perturbent en grande partie la remontée de l'onde de marée et des eaux marines, et l'écoulement vers l'aval. Le pompage d'eau peut contribuer fortement à la diminution du débit fluvial, notamment lors des périodes de bas débits, influençant le mélange des eaux.

Les stations du projet ont été positionnées au niveau du dernier ouvrage à la mer, à quelques km de l'embouchure. Malgré cette position dans la partie la plus aval du système estuarien, les données des capteurs de pression des sondes STPS et du faisceau ultrasonique des ADCP montrent que les cinq cours d'eau étudiés dans ce projet ont une forte influence de la marée avec un **marnage mésotidal** (de 1 à 5m) pour les chenaux secondaires à **macrotidal** (< 5m) pour les deux fleuves côtiers.

Les volumes instantanés mesurés dans les deux fleuves côtiers, où les ouvrages étaient fréquemment ouverts, montrent que le prisme de marée (volumes d'eau de mer apportés par les marées montantes, ici représentés par les valeurs négatives) est du même ordre de grandeur que le volume d'eaux douces apporté par les fleuves (Figure 37).

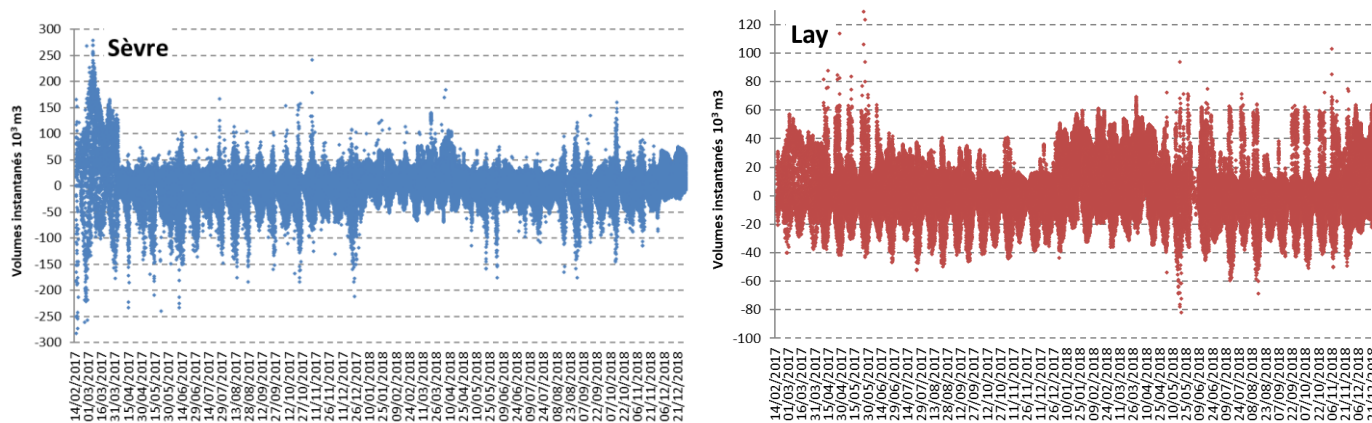


Figure 37. Volumes instantanés mesurés dans la Sèvre et le Lay.

Les mesures de salinité réalisées avec les sondes STPS en un point fixe de la colonne d'eau ont montré des variations rapides (intra- et inter-journalières) entre 0.1 et 37 et qui suivaient instantanément la courbe de marée dans les deux fleuves côtiers (Figure 38), illustrant une vitesse élevée de mélange. Dans les chenaux secondaires, une variation de la salinité a été observée sur la journée avec la courbe de marée, moins intense en raison de portes à la mer souvent closes. Cependant, même avec les portes fermées des ouvrages, ces variations de salinité rapides témoignent d'une circulation d'eau de mer vers l'amont de l'ouvrage en phase de flot, certainement par le fond du chenal.

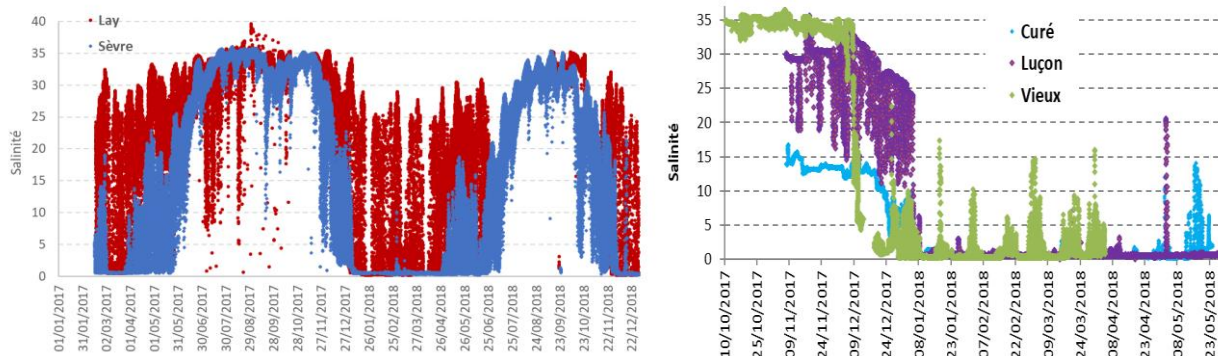


Figure 38. Variations de salinités instantanées dans les cinq exutoires.

L'ensemble de ces caractéristiques observées lors des campagnes de mesures (vitesse de mélange, volumes transitants, marnage, faible gradient de salinité sur la colonne d'eau) permettent de classer ces 5 exutoires estuariens de l'étude comme des **estuaires homogènes** (ou dits verticalement mélangés) à **partiellement mélangés** lors des épisodes les plus intenses de crue (Figure 39).

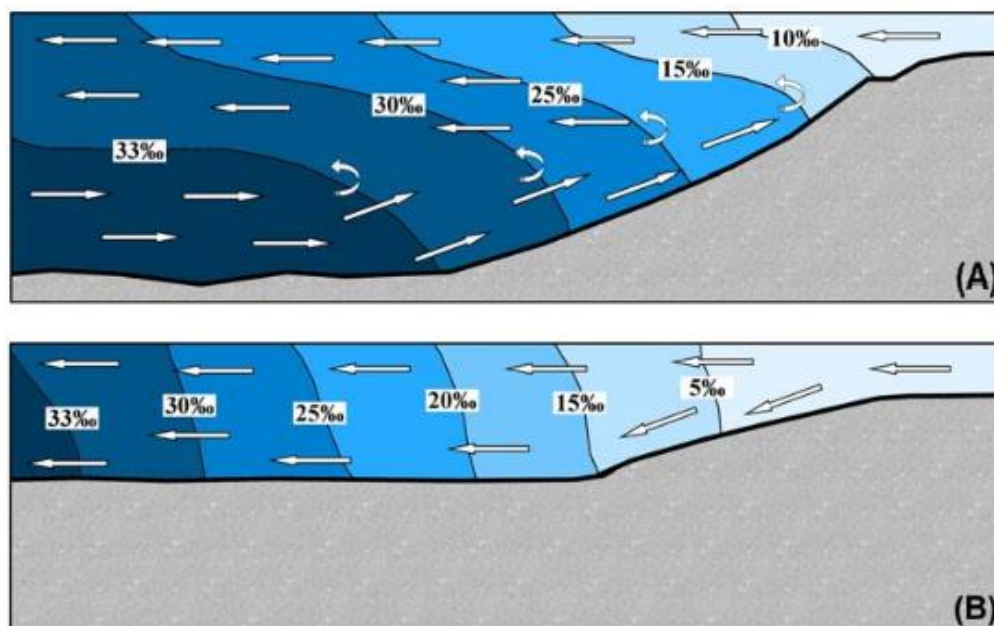


Figure 39. Schéma du mode de mélange des eaux douces et des eaux salées selon la classification de Pritchard (1955) dans les exutoires de l'étude. (A) : Estuaire partiellement mélangé lors des périodes de crue, (B) : Estuaire verticalement homogène la majorité de l'année (sources : OFB, Toublanc 2013, Deloffre 2005).

4.2 Bouchon vaseux et son influence sur la qualité des mesures

Dans les estuaires, le transport des sédiments se fait en suspension et résulte des différents courants advectifs (e.g. marée, débits fluviaux). Sous l'effet des courants de densité liés à la salinité, la température, la concentration en MES et la turbulence, les particules fines s'agglomèrent et forment des particules de taille plus importante ou floccs qui sédimentent vers le fond sous l'action de la gravité. A l'embouchure des estuaires macrotidaux et mésotidaux, la rencontre entre les eaux douces du fleuve et les eaux salées introduites par la

marée forme au niveau du point nodal⁶ une zone d'accumulation de ces MES et floccs par circulation de densité, appelée bouchon vaseux ou zone de turbidité maximale (Figure 40). Dans ces estuaires, seules les conditions de mortes eaux et de faibles débits seront favorables à la formation du bouchon vaseux et sa remise en suspension est gouvernée par l'onde de marée, le débit fluvial et ponctuellement par les périodes d'agitation liées au vent (Caffier et Artigas, 2010 ; Deloffre 2005 ; Toubanc 2013).

Dans les 5 exutoires de l'étude, le bouchon vaseux est dit dynamique, car sa localisation change avec les régimes de marée et de débit, remontant vers l'amont en période de bas débits et mortes eaux sous l'effet prépondérant de l'onde de marée, et descendant vers l'aval en période de forts débits et vives eaux, avec parfois expulsion de MES sous forme de panache turbide (Coignot et al., 2020 ; Deloffre 2005 ; Toubanc 2013, Figure 40).

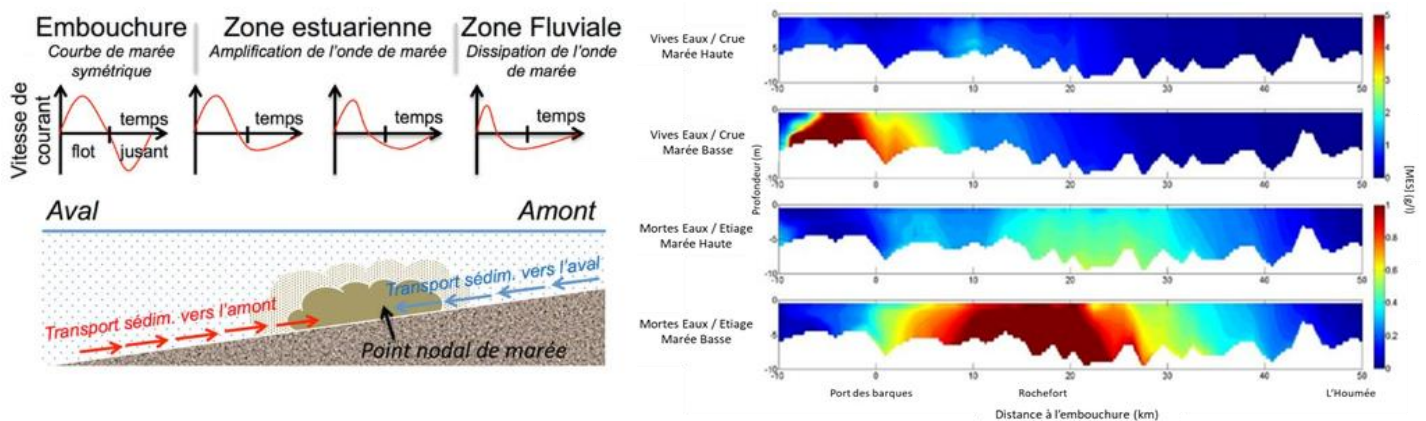


Figure 40. Formation du bouchon vaseux en estuaire macrotidal et mésotidal (à gauche, d'après Deloffre 2005). Exemple de bouchon vaseux dynamique dans la Charente (à droite, d'après Toubanc, 2013).

Les concentrations pondérales maximales de MES accumulées dans ces bouchons vaseux peuvent alors varier suivant le marnage des estuaires, autour de 200 mg.L^{-1} pour les estuaires mésotidaux (Curé, Luçon et Vieux) à plusieurs g.L^{-1} pour les estuaires macrotidaux (Sèvre et Lay, voir Tableau 1 et Coignot et al. 2020). La concentration en MES suit aussi une cyclicité crue/étiage, avec des maxima en période de crue, et des minima en période d'étiage (Coignot et al. 2020, Toubanc 2013 et ses références). A cette cyclicité crue/étiage (annuelle) se superpose l'influence forte de la marée, avec les cycles semi-diurnes et de VE/ME, qui modulent l'intensité des courants de marée qui vont jouer un rôle sur la remise en suspension de MES et par conséquent, sur les concentrations en MES dans la colonne d'eau. Les pics de flot, particulièrement marqués, ou de jusant remobilisent les sédiments au fond et augmentent de manière significative les teneurs en MES, tandis que les étals de PM/BM entraînent une diminution des concentrations en MES en favorisant les processus de floculation et de sédimentation. En VE, les courant forts contribuent davantage à la remise en suspension de MES qu'en ME, se traduisant par des concentrations pouvant dépasser les 400 mg. L^{-1} en crue (contre 50 mg. L^{-1} en étiage, Coignot et al. 2020).

⁶ Point nodal = lieu où les vitesses au fond sont quasi-nulles et à l'amont duquel la masse d'eau fluviale s'écoule sur toute la tranche d'eau.

Ces très fortes turbidités rencontrées dans les cinq exutoires selon ces différents cycles, notamment dans la Sèvre (et surtout en étiage), ou celles mesurées à marée basse dans les chenaux secondaires (voir Coignot et al. 2020), ont influencé la qualité des mesures de vitesse de courant et le taux d'acquisition de mesures valides *in situ*. Les ondes se propageant moins bien lors des épisodes de forte turbidité au niveau des stations fixes, entraînent une sous-estimation de la mesure de vitesse du courant et par voie de conséquence des débits résultants sous-estimés et inexploitable pour les calculs de volumes (voir 2.4.A et Figure 12). En parallèle, le filtrage des données brutes a aussi été diminué de 100 à 64 % (« correlation beam ») permettant de récupérer un nombre beaucoup plus important de données de vitesses et directions de courants qui été initialement éliminées par le filtre à 100 % (utilisé pour des eaux peu turbides).

4.3 Pourquoi des QMJ totaux négatifs ?

Les données *DREAL* sont acquises en amont des zones de la marée, sur des zones à flux unidirectionnels et donc relativement uniformes dans le temps sur la journée. Les mesures sur la Sèvre et le Lay, à l'embouchure et en aval de tout ouvrage sont donc sur des sites sujets à la dynamique de marée. Les flux mesurés peuvent avoir deux directions, vers l'amont ou l'aval en fonction du flot et du jusant respectivement et ces directions changent au cours de la journée. Selon la marée, et donc selon les jours, les volumes totaux transitant seront soit à résultante positive vers l'aval du fleuve (plus d'eau transite vers l'aval qu'il n'en transite vers l'amont sur une journée cumulée), c'est la situation « normale » de débit. Soit la résultante des volumes totaux est négative à l'échelle de la journée, avec plus d'eau qui « oscille » vers l'amont du fleuve que vers l'aval. Cette situation moins fréquente se rencontre surtout en été, quand les débits d'eau douce vers l'estuaire sont très faibles.

La Figure 41 et le Tableau 7 permettent d'illustrer cette réponse. Par rapport à une situation de marée journalière à temps réel avec deux flots et deux jusants (courbe bleue), des décalages de l'heure de la marée de 6 heures avec trois flots et deux jusants (courbe rouge) et de 12 heures avec au contraire deux flots et trois jusants sur 24 heures, entraîneront des cumuls de volume journalier différents, i.e. négatif et inférieur à T0 avec le décalage de la marée de 6 heures et au contraire positif avec le décalage de 12 heures.

Tableau 7. Volumes cumulés et QMJ totaux moyens calculés sur 24 heures sans décalage et avec un décalage de 6h (T+6) et 12 heures (T+12).

	Volume cumulé journalier (m ³)	QMJ total (m ³ /s)
T0 (temps réel mesuré)	-313000	-3,63
T+6 (décalé de 6 heures)	-939800	-10,88
T+12 (décalé de 12 heures)	289800	3,31

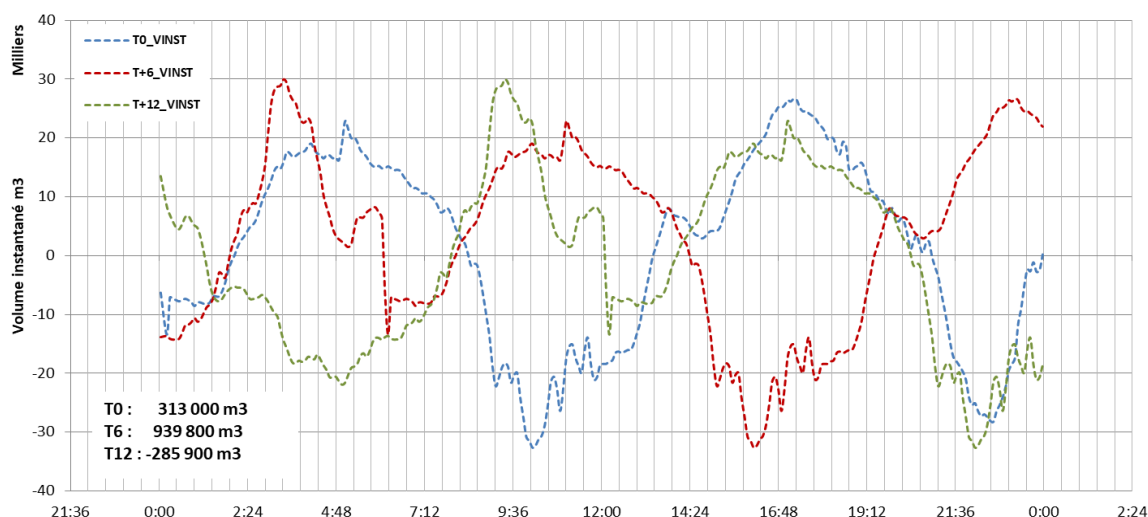


Figure 41. Influence de l'heure de marée sur le résultat du cumul de volume journalier.

Pour pallier cet effet « marée » qui crée un biais sur les bilans des apports d'eau douce par les fleuves en les sous-estimant lors des journées aux volumes de flot plus importants que les volumes de jusant, les volumes cumulés journaliers d'eau douce ont ensuite été recalculés en utilisant uniquement les volumes instantanés sur les phases de marée descendante ou orientés vers l'aval (positifs) et en tenant compte du degré de dilution avec les eaux marines. Chaque volume instantané mesuré à un instant t a été ramené une mesure de salinité réalisée au même instant t (± 5 min) pour connaître le coefficient de dilution par rapport à la salinité maximale enregistrée dans le cours d'eau considéré et ainsi discriminer la part d'eau douce dans ce volume. Les QMJ résultants, qualifiés QMJ eau douce, ont donc pu être après ce traitement supérieurs aux QMJ totaux préalablement calculés. Les QMJ d'eau douce ont ensuite pu être comparés aux modèles prédictifs établis avec les données de QMJ des stations *DREAL* situées en amont.

4.4 Qualité des modèles prédictifs

Les coefficients de corrélation entre les mesures de débits aux stations *DREAL* et celles réalisées aux stations de mesure du projet (QMJ eau douce) sont compris entre 0,73 et 0,83 (Tableau 6 et Figures 34-35). Cette variabilité dépend (i) de la complexité du réseau hydrique (interconnexions possibles), (ii) de la localisation de stations *DREAL* dans le bassin versant du cours d'eau, (iii) de la gestion humaine des ouvrages (pouvant rendre compte des différences ou de la variabilité observée dans certains cours d'eau, i.e. la Sèvre), (iv) de la perte du flux d'eau douce en surface par pompage ou retenue, effet tampon des sols des marais, évaporation et circulation souterraine au cours de son transfert vers l'aval, et (v) du déficit de mesures de QMJ d'eau douce sur certaines périodes dans la Sèvre et le Lay.

Les modélisations du Lay ($R^2=0,79$) et de la Sèvre ($R^2=0,78$) sont relativement fortes avec trois stations prises en compte en amont du Lay et sur son BV et cinq stations prises en compte en amont de la Sèvre et sur son BV (Figure 21). La qualité des modèles des chenaux secondaires est plus variable : par exemple les coefficients de corrélation au chenal Vieux et au canal du Curé sont forts ($R^2=0,83$). Celui du canal de Luçon, corrélé au BV de

la Sèvre, est moins fort ($R^2=0.73$). Il n'existe pas de station hydrologique de référence directement sur les BV de ces trois exutoires (Figure 21). Toutefois, la représentation cartographique d'une partie du bassin d'alimentation du Marais poitevin et de la zone côtière avec les stations *DREAL* et celles du projet (Figure 21) montre des liaisons hydrologiques potentielles entre le BV du Lay et de la Sèvre, et en connexion également avec les trois chenaux étudiés. Une meilleure connaissance des échanges entre les différents bassins versants via le réseau hydrique de surface et souterrain, mais également sa gestion (retenues, irrigation ou pompage) permettrait d'affiner ces modèles et d'améliorer leur robustesse.

4.5 Relation entre débits et précipitations

L'analyse de corrélation entre les précipitations enregistrées à la station Météo-France de la Rochelle (station la plus proche des sites) et les débits montre que l'impact le plus fort des précipitations sur les débits de la Sèvre et du Lay est celui qui intègre 18 jours de précipitations (Tableau 4). Par contre, l'impact de la pluviométrie sur les débits des chenaux est plus long. La meilleure corrélation est obtenue en décalant de deux à quatre semaines les apports en eau via les précipitations avec les débits qui en résultent. Ce résultat montre que le débit de ces exutoires résulte peu (ou pas) du lessivage des pluies sur leur bassin versant, mais très certainement par i) l'effet d'absorption par les sols des marais qui retiennent les eaux de pluie, et ii) une gestion anthropique des débits, différant les flux d'eau douce vers l'aval. Cette gestion semble plus « rapide » sur Luçon (≈ 2 semaines) que pour le Chenal Vieux ou du Curé (≈ 4 semaines). Les corrélations entre précipitation et débits sont de 0,60 et 0,68 respectivement pour le canal du Curé et le chenal Vieux. Elle est seulement de 0,50 pour le Canal de Luçon (Tableau 4). Cette différence pourrait aussi s'expliquer par des apports en eau douce d'une autre origine dans ce chenal, telle la nappe aquifère de Sud Vendée (Y. Le Roy, communication personnelle). Cependant, les données de pluviométrie proviennent de la station Météo-France de la Rochelle, située à 14 km du site le plus proche (Chenal du Curé) et à 24 km du site le plus éloigné (Le Lay). Cette distance influence probablement les corrélations obtenues, des stations pluviométriques situées dans les bassins versants du Marais poitevin affinaient ces estimations.

4.6 Bilan des apports d'eau douce vers la Baie de l'Aiguillon

A. Comparaison des données des modèles *versus* données des stations de mesures

Le Tableau 8 présente les volumes mensuels d'eau douce qui ont pu être estimés à partir des mesures valides obtenues aux stations de mesures dans les cinq exutoires. Comme discuté précédemment, les différentes contraintes techniques, environnementales et mathématiques ont perturbé l'obtention de valeurs de volumes journaliers et de QMJ d'eau douce valides pour certaines journées de mesures.

Pour établir un volume mensuel pertinent, pour les mois présentant plus de 80 % de données journalières valides (> 24 jours valides par mois), la somme des volumes journaliers d'eau douce a été réalisée. Pour les

mois dont les données journalières valides étaient comprises entre 5 et 24 jours, la moyenne du volume journalier appliquée au nombre de jours dans le mois a été appliquée. Les mois dont le nombre de valeurs journalières valides était inférieur à 5 jours, ont été exclus, car non pertinents.

Tableau 8. Quantités mensuelles d'eau douce relâchées par les cinq exutoires de l'étude dans la Baie de l'Aiguillon sur la période du suivi, estimées avec les données issues des stations de mesures.

Période	Sèvre Volume total mensuel (10 ⁶ m ³)	Lay Volume total mensuel (10 ⁶ m ³)	Curé Volume total mensuel (10 ⁶ m ³)	Luçon Volume total mensuel (10 ⁶ m ³)	Vieux Volume total mensuel (10 ⁶ m ³)
janv-17					
févr-17	5,6	4,8			
mars-17	83,8	-			
avr-17	19,4	13,1			
mai-17	-	8,5			
juin-17	-	4,4			
juil-17	-	10,5			
août-17	-	5,5			
sept-17	2,4	-			
oct-17	4,6	6,9			0,05
nov-17	12,6	2,3	0,3	0,3	0,06
déc-17	-	6,2	0,5	0,6	0,7
janv-18	56,5	164,7	7,8	4,0	2,0
févr-18	103,6	114,8	23,7	4,2	3,3
mars-18	126,3	109,0	22,7	4,7	2,1
avr-18	112,7	-	17,8	4,6	
mai-18	14,5	-	5,1	2,5	
juin-18	35,6	20,0			
juil-18	35,9	-			
août-18	6,7	-			
sept-18	9,1	3,1			
oct-18	21,5	-			
nov-18	42,5	22,0			
déc-18	209,8	124,1			

La Figure 42 compare ces données obtenues avec les stations de mesures et celles obtenues avec les modèles prédictifs. Du fait de modèles relativement robustes, les estimations modélisées des volumes mensuels d'eau douce sont proches de celles obtenues avec les stations de mesures.

Cette concordance entre les deux approches dans les ordres de grandeur et la variabilité saisonnière sur les périodes communes, et le manque de données mesurées sur certains mois du suivi, confortent l'utilisation des données issues des modèles prédictifs pour établir des bilans d'apports d'eau douce des cinq exutoires de l'étude vers la Baie de l'Aiguillon à l'échelle de la saison et inter-annuellement.

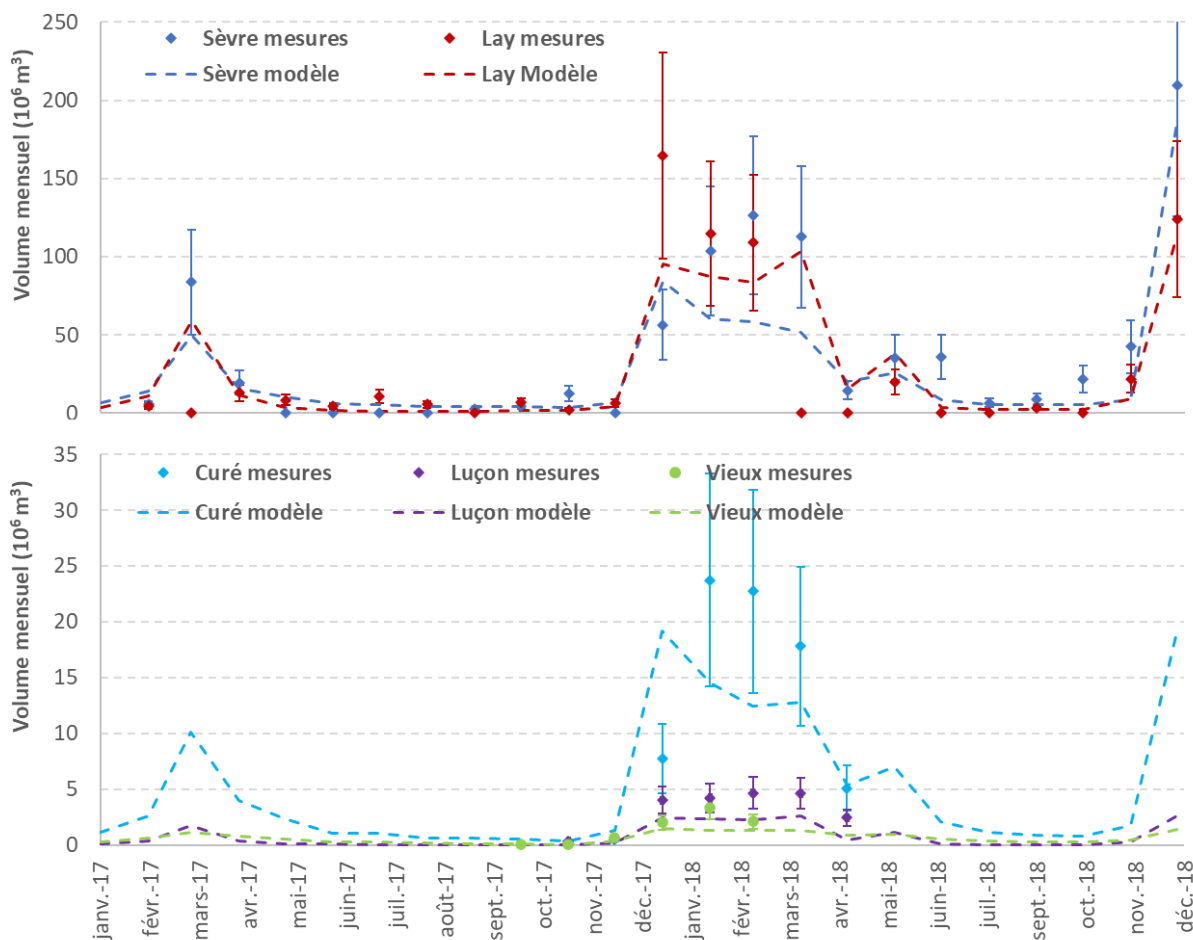


Figure 42. Volumes mensuels d’eau douces relargués par les cinq exutoires vers la baie de l’Aiguillon, calculés avec les données des stations de mesures (points, voir Tableau 8) et comparés à ceux établis avec les modèles prédictifs 2018 (courbes en pointillés, voir Tableau 9) sur la période 2017-2018.

B. Apports d’eau douce vers la Baie de l’Aiguillon

Les quantités moyennes journalières d’eau douce vers l’aval oscillent selon la saison entre 0.3 et 160 m³/s pour la Sèvre et 0.5 et 118 m³/s pour le Lay, et vers l’amont entre -0.1 et -36 m³/s pour la Sèvre et -0.2 et -13 m³/s pour le Lay (Figure 30). Pour les trois chenaux secondaires, les QMJ sont entre 0.05 et 12.2 m³/s. Ces flux représentent un apport total de 269 x 10⁶ m³ vers la Baie de l’Aiguillon en 2017, année exceptionnellement sèche, et de 1199 x 10⁶ m³ en 2018 (Tableau 9). La période hivernale (de décembre à avril) représente plus de 80 % de l’apport annuel.

Globalement, la Sèvre et le Lay représentent 90 % des apports d’eau douce (Figure 43 et Tableau 9). Lors d’une année sèche comme 2017, la Sèvre est le principal contributeur (49 %) avec environ 132 x 10⁶ m³ d’eau douce apporté vers la baie. Lors d’une année plus humide comme 2018, ou lors des périodes de crues, la contribution du Lay augmente fortement, par exemple en passant de 38 % (102 x 10⁶ m³) en 2017 à 47 % en 2018 (557 x 10⁶ m³). La Sèvre est du même ordre de grandeur que le Lay en 2018 : 43 % (519 x 10⁶ m³).

Selon cette étude, la contribution des trois chenaux secondaires n'excède jamais 13 % du volume total apporté vers la Baie de l'Aiguillon, dont 9 % uniquement pour le chenal du Curé. En 2017, le canal de Luçon et le chenal Vieux sont du même ordre de grandeur (3.4 et $5.1 \times 10^6 \text{ m}^3$ respectivement), alors que le chenal du Curé représente $26 \times 10^6 \text{ m}^3$. En 2018, le canal de Luçon devient un contributeur plus important que le chenal Vieux (15 et $11 \times 10^6 \text{ m}^3$ respectivement), et le chenal du Curé triple son bilan hydrique avec $97 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Tableau 9. Quantités mensuelles et annuelles d'eau douce relâchées par les cinq exutoires de l'étude dans la Baie de l'Aiguillon sur la période 2017-2018, estimées avec les modèles prédictifs (détails en Annexe 9).

Période	Sèvre Σ mensuelle Volumes (10^6 m^3)	Lay Σ mensuelle Volumes (10^6 m^3)	Curé Σ mensuelle Volumes (10^6 m^3)	Luçon Σ mensuelle Volumes (10^6 m^3)	Vieux Σ mensuelle Volumes (10^6 m^3)
2017					
janv	6,6	3,4	1,1	0,1	0,3
févr	13,9	11,0	2,7	0,4	0,6
mars	50,0	59,3	10,2	1,8	1,2
avr	16,1	11,6	4,0	0,4	0,8
mai	10,1	3,5	2,4	0,2	0,6
juin	6,2	1,7	1,0	0,1	0,3
juil	5,7	1,2	1,1	0,1	0,3
août	4,6	1,2	0,6	0,1	0,2
sept	4,4	1,2	0,6	0,1	0,2
oct	4,1	1,9	0,6	0,1	0,1
nov	3,7	1,6	0,4	0,1	0,1
déc	6,8	4,3	1,3	0,2	0,4
Total 2017	132,2	101,9	26,1	3,4	5,1
Total année	268,8				
2018					
janv	84,4	95,7	19,2	2,5	1,5
févr	60,5	87,5	14,5	2,4	1,3
mars	58,3	83,5	12,4	2,3	1,3
avr	51,4	103,4	12,8	2,7	1,3
mai	20,1	15,4	5,4	0,5	0,9
juin	25,6	38,4	7,0	1,1	1,0
juil	8,3	3,9	2,1	0,2	0,6
août	5,8	2,1	1,1	0,1	0,3
sept	5,3	2,2	0,9	0,1	0,3
oct	5,5	2,2	0,9	0,1	0,3
nov	8,5	9,2	1,8	0,3	0,5
déc	185,6	113,0	19,1	2,6	1,4
Total 2018	519,3	556,6	97,3	14,7	10,7
Total année	1 198,6				

Ces estimations de flux d'eau douce vers la Baie de l'Aiguillon sont à mettre en relation avec l'état chimique, les paramètres déclassants et l'état écologique des masses d'eau pour les cours d'eau intervenant. Dans ce contexte, trois SAGE du Lay (SAGE du LAY), de la Vendée (SAGE de la VENDEE) et de la Sèvre Niortaise Marais poitevin collaborent appuyés par l'Établissement Public du Marais Poitevin (SAGE de SEVRE NIORTAISE) et les gestionnaires des ouvrages hydrauliques afin de coordonner leur gestion en fonction des apports sur la mer côtière. Par ailleurs, les résultats de distribution de fréquence des débits instantanés présentent une distribution « modale » autour de débits « nuls » pour les fleuves (Sèvre et Lay) et des valeurs atypiques

isolées de cette distribution principalement observée entre la période de février et de juin, période complexe de la gestion des eaux du Marais Poitevin (Syndicat mixte Bassin du LAY).

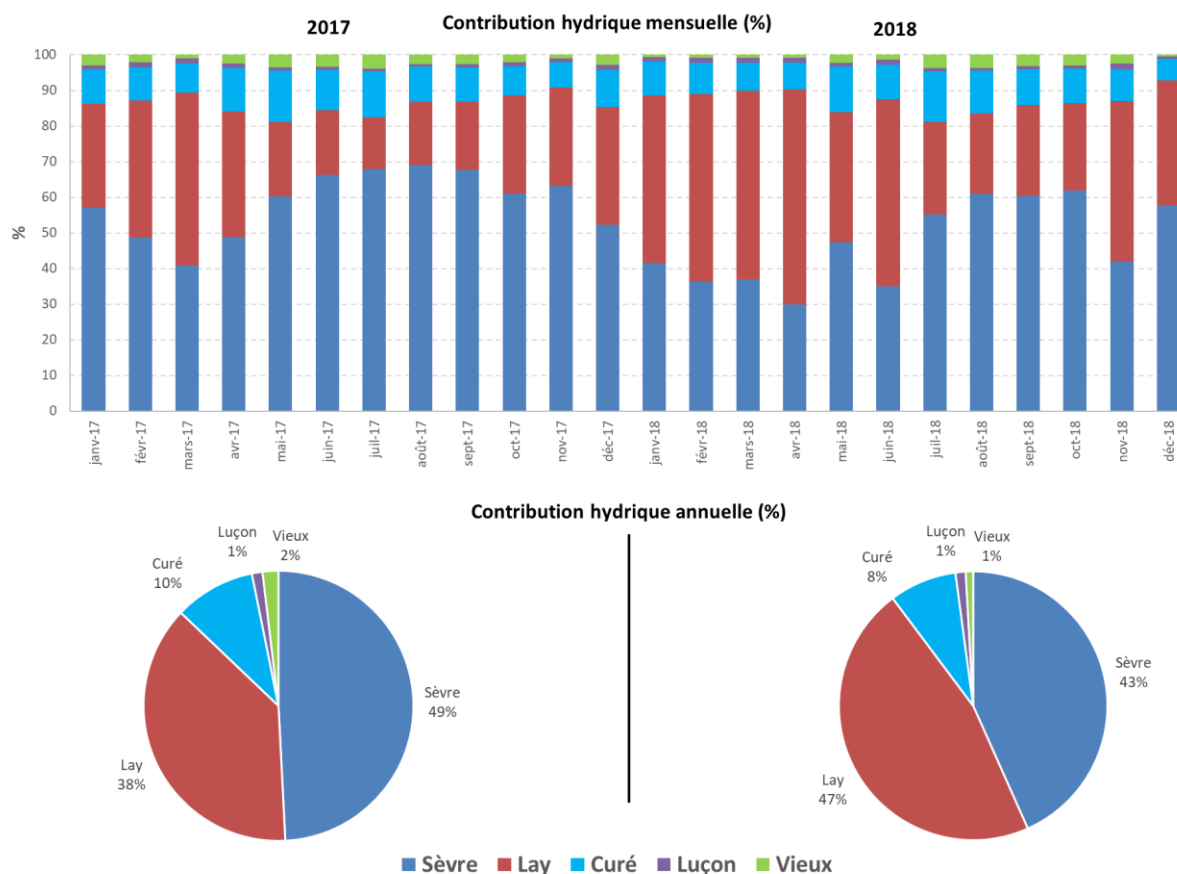


Figure 43. Contributions mensuelles et annuelles des cinq exutoires de l'étude aux apports totaux d'eaux douces vers la baie de l'Aiguillon sur la période 2017-2018 (d'après modèles prédictifs).

Aussi la mise en relation de ces apports quantitatifs avec l'autre volet qualitatif du projet Aiguillon permettra d'aller vers une estimation plus précise des apports terrestres de nutriments et de carbone en Baie de l'Aiguillon et de leurs influences au sein de cet écosystème côtier (Coignot et al., 2020). Ces résultats permettront notamment de préciser l'influence potentielle de ces apports sur le fonctionnement de la Baie de l'Aiguillon et du Pertuis Breton en termes notamment de production primaire, de limitation potentielle ou réelle ou d'excès des nutriments apportées à cette zone côtière (Billen and Garnier 2007, Billen et al. 2011, Polsenaere et al. 2018).

V. CONCLUSIONS & PERSPECTIVES

L'étude des apports quantitatifs des cinq principaux cours d'eau se jetant dans la baie de l'Aiguillon a été réalisée à parti de mesures *in situ* réalisées en 2017 et 2018. Ces deux années se distinguent par une pluviométrie sur les bassins versants faible en 2017 et une pluviométrie forte en 2018, distinguant nettement les apports d'eau douce et le comportement des cours d'eau entre ces deux années.

En 2017, lors des périodes d'étiage et de bas débits, le volume total déversé mensuellement dans la baie par les cinq exutoires, représente entre 6 et 13 x 10⁶ m³ (Figure 44). Cette année a été marquée par un seul épisode de crue et forts débits, de mi-février à début avril, avec un volume total déversé mensuellement entre 29 et 123 x 10⁶ m³. En 2018, les très fortes précipitations du début d'année (janvier à avril) ont entraîné un volume mensuel déversé vers la Baie de l'Aiguillon important, entre 158 et 203 x 10⁶ m³, suivi d'un deuxième épisode pluvieux en juin, moins intense (73 x 10⁶ m³). La période d'étiage qui a suivi entre juillet et novembre a représenté un volume mensuel du même ordre de grandeur que celui évalué lors des périodes d'étiage de 2017, entre 9 et 20 x 10⁶ m³. Le mois de décembre 2018, a été également marqué par de fortes précipitations, entraînant un apport d'eau douce de 322 x 10⁶ m³.

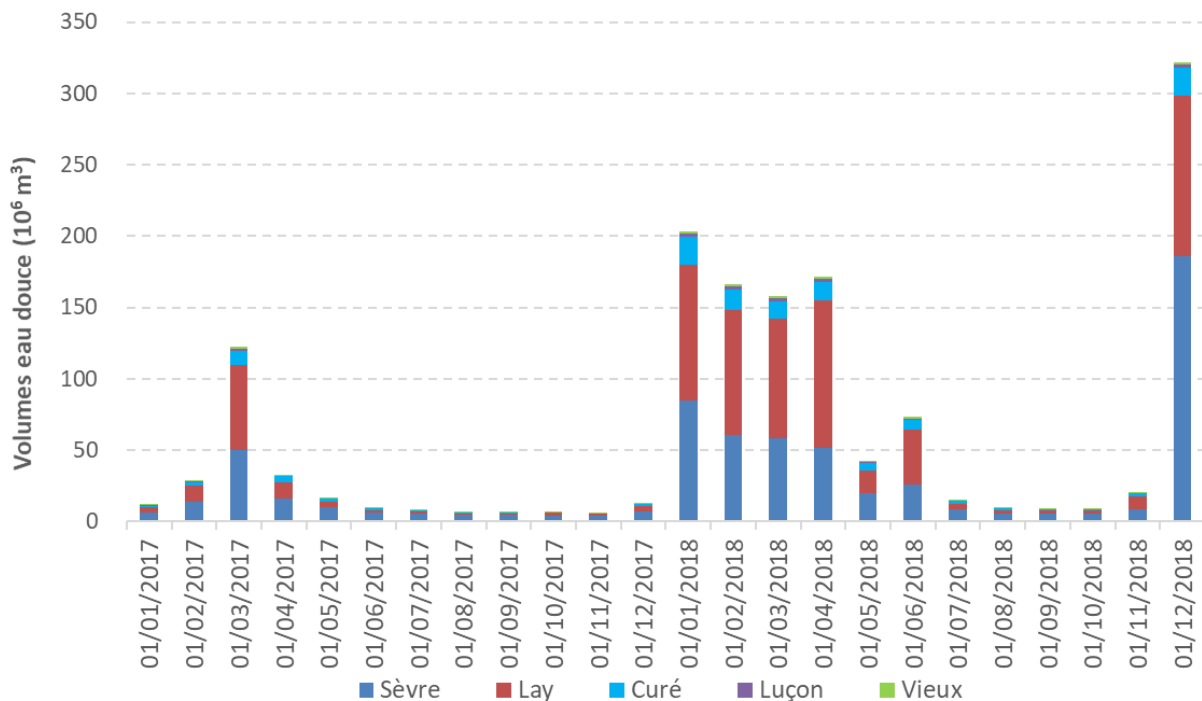


Figure 44. Volumes d'eau douce totaux apportés par les cinq exutoires de l'étude vers la Baie de l'Aiguillon en 2017 et 2018 (d'après modèles prédictifs).

Les résultats ont également montré qu'en période de bas débits et quelle que soit l'année, environ 52 à 69 % des apports se font via la Sèvre, environ 18 à 45 % via le Lay, et le reste par les chenaux secondaires. En revanche, lors des périodes de forts débits, les contributions du Lay augmentent fortement et deviennent du même ordre de grandeur voire supérieures à celles de la Sèvre si la période de précipitations se prolonge. Ces deux fleuves représentant chacun entre 45 à 50 % des apports totaux pendant ces périodes. De même, mais dans une moindre mesure, la contribution du chenal du Curé triple lors des périodes de crue, alors que celles du canal de Luçon et du chenal Vieux varient peu (Figures 43 et 44).

5.1 Aspects techniques positifs et pistes d'amélioration

Le positionnement des appareils en amont des ouvrages à la mer, dans le cas des chenaux (Chenal Vieux, du Curé et de Luçon) simplifie et fiabilise les estimations des QMJ, en s'affranchissant de la quasi-totalité des effets dus au flot de marée. Il a cependant imposé la pose des appareils sur les parois verticales, les fonds étant sujets à des envasements très importants. De plus, les périodes d'étiage ou de basse mer de vives eaux peuvent entraîner l'émersion d'une partie de la tranche d'eau mesurée par les ADCP et STPS, biaisant la qualité des données ou leur acquisition sur ces périodes particulières.

Les dispositifs de mesure placés sur les deux fleuves Lay et Sèvre se sont révélés adaptés à ce type d'environnement. Le cas de la Sèvre a cependant montré que la situation très avale des appareils pouvait être perturbée de façon importante en période de faibles débits par les phénomènes hydro-sédimentaires particuliers aux estuaires (bouchon vaseux qui se déplace vers l'amont du site de mesure notamment en été-automne). En dehors de la perturbation directe des mesures, ces périodes de débits circulants trop faibles peuvent aussi occasionner des variations des profils bathymétriques des fleuves par décantation des MES, minimisant la précision des modèles de tarage, donc l'évaluation des débits. La fréquence des jaugeages à réaliser dépend de l'évolution des profils bathymétriques, mais il est probable que plusieurs campagnes par saison soient nécessaires dans des milieux aussi dynamiques. Il serait probablement souhaitable pour la station de la Sèvre, dans la mesure du possible, de repositionner les appareils de mesure plus en amont, au-delà du point nodal où la bathymétrie est plus stable et la turbidité plus faible. Ce repositionnement limiterait la perte de données brutes, l'entretien et les campagnes de jaugeages. Au niveau de la station du Lay, fleuve moins turbide, la pratique de chasses d'eau lors des jusants minimise ces variations bathymétriques. La station montre un taux d'acquisition et de qualité des données de courants satisfaisant.

5.2 Perspectives

Si cette étude propose une première estimation des apports d'eau douce vers la baie par les cinq principaux contributeurs, il est à envisager d'ajouter le suivi des autres contributeurs (chenal de la Raque par exemple), et sur plusieurs saisons pour les chenaux secondaires pour affiner leurs contributions dans les bilans et mieux cerner leur dynamique temporelle. L'ensemble des données seraient aussi à confronter à des études de temps de renouvellement des masses d'eau dans la baie (Le Moine 2018), et à d'autres variables, notamment les pressions anthropiques (irrigation, retenues...) pour une modélisation globale du continuum terre-mer Marais poitevin / Baie de l'Aiguillon selon différents scénarii spatio-temporels. En particulier, les données quantitatives et qualitatives obtenues au cours du projet Aiguillon pourraient être utilisées dans le cadre de traitements statistiques et d'une modélisation hydrodynamique et/ou biogéochimique (MARS3D IFREMER) pour élaborer une cartographie plus précise des apports vers la Baie de l'Aiguillon selon la saison (Polsenaere et al. 2017, Ménesguen et al. 2018, Plus et al. 2015, Coignot et al. 2020).

La part des apports d'eau douce provenant des écoulements souterrains n'a pas été estimée dans cette étude. Pour une meilleure compréhension des apports d'eau douce globaux vers la Baie de l'Aiguillon, les échanges nappes souterraines-eaux de surface et l'influence des prélèvements dans les nappes sur les débits des différents cours d'eau du Marais poitevin sont à étudier et quantifier (Douez and Bichot 2012).

Les stations de mesures ont été positionnées en aval de la dernière écluse dans le cas des fleuves et en amont dans le cas des chenaux secondaires. Les données de débits et volumes instantanés révèlent une gestion différenciée des chenaux. Considérant que cette gestion est opérée de manière manuelle, il est envisagé que les gestions ne soient pas similaires et que les consignes ne soient pas identiques, ni synchrones. Leur gestion, de même que la pression anthropique liée aux actions de pompage ou d'irrigation impactent donc différemment les flux hydriques selon le cours d'eau considéré. Compte tenu des informations à disposition, l'influence des ouvrages et de ces pressions anthropiques dans les bilans hydriques reste à préciser (volumes prélevés, périodes d'ouvertures/fermetures des ouvrages). Ceci permettrait une meilleure compréhension de la dynamique hydrique du bassin versant de la Baie de l'Aiguillon et d'optimiser les systèmes de gestion des ouvrages, notamment pour les chenaux secondaires.

VI. Bibliographie

- Béoutis A, Jean P, Colas S (2009) L'Observatoire du littoral : Démographie et économie du littoral, Insee-SOeS, 1-22
- Billen G and Garnier J 2007 River basin nutrient delivery to the coastal sea: Assessing its potential to sustain new production of non-siliceous algae Mar. Chem. 106 148-60 doi:10.1016/j.marchem.2006.12.017
- Billen G, Silvestre M, Grizzetti B, Leip A, Garnier J, Voss M, Howarth R, Bouraoui F, Behrendt H, Lepisto A, Kortelainen P, Johnes P, Curtis C, Humborg C, Smedberg E, Kaste O, Ganeshram R, Beusen A H W, Lancelot C, Butterbach-Bahl K and Gundersen P 2011 Nitrogen flows from European regional watersheds to coastal marine waters European Nitrogen Assessment ed M Sutton, C Howard, J W Erisman, G Billen, A Bleeker, H van Grinsven, P Grennfelt and B Grizzetti (Cambridge, UK: Cambridge University Press) pp 271–97 Online: <http://www.nine-esf.org/ENA-Book>.
- Caffier G, Artigas LF 2010 . Synthèse bibliographique de la composition floristique phytoplanctonique en milieux estuariens. Rapport de synthèse, Convention CNRS-Ifremer, 168 pp.
- Cathalot Cecile, Van Oevelen Dick, Cox Tom J.S., Kutti Tina, Lavaleye Marc S. S., Duineveld Gca, Meysman Filip J. R. (2015). Cold-water coral reefs and adjacent sponge grounds: hotspots of benthic respiration and organic carbon cycling in the deep sea. *Frontiers in Marine Science*, 2(37), 1-12. Publisher's official version: <https://doi.org/10.3389/fmars.2015.00037>, <https://archimer.ifremer.fr/doc/00275/38574/>
- Chaumillon, E. & Blanloeil, J., 2018. Étude initiale des évolutions morphologiques de la Baie de l'Aiguillon. *Rapport d'étude*. pp. 37.
- Coignot, E., Polsenaere, P., Soletchnik, P., Le Moine, O., Souchu, P., Joyeux, E., Le Roy, Y., Guéret, J.-P., Froud, L., Gallais, R., Chourré, E., Chaigneau, L. 2020. Variabilité spatio-temporelle des nutriments et du carbone et flux associés le long d'un continuum terrestre-aquatique tempéré (Marais poitevin – Baie de l'Aiguillon – Pertuis Breton). Rapport final (suivi 2017-2018) - Projet Aiguillon (2016-2020). <https://archimer.ifremer.fr/doc/00618/73003/>
- Conley, D.J. et al., 2000. Characteristics of Danish estuaries. *Estuaries*, 23(6), pp.820-837.
- Convention 16_5210626, 2016. Convention de collaboration de recherche pour la mise en œuvre d'un projet sur la dynamique spatio-temporelle des flux de nutriments et de carbone en Baie de l'Aiguillon : OPE CS12 & OPE MS41.
- Deloffre J. (2005) Sédimentation fine sur les vasières intertidales en estuaires : Processus, quantification et modélisation de l'échelle semi-diurne à l'échelle annuelle. Thèse de 3^{ème} Cycle. Université de Rouen.
- Douez O, Bichot F (2014) Apport de la modélisation pour la gestion des prélèvements à la périphérie d'une zone humide côtières : application au Marais-Poitevin. Colloque CFH-AIH : Ressources et gestion des aquifères littoraux, Mars 2012, Cassis, France. pp. 121-128
- Envlit, carte des bassins DCE. Site de l'Ifremer. http://envlit.ifremer.fr/surveillance/directive_cadre_sur_l_eau_dce/la_dce_par_bassin. [consulté le 03/04/2019].

- EPMP, 2015. Atlas du Marais poitevin. <http://www.epmp-marais-poitevin.fr/atlas-marais-poitevin/>
- Geolittoral, Le portail de la mer et du littoral. Site du ministère de la transition écologique et solidaire. [En ligne] <http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/indices-des-atlas-de-sensibilite-du-littoral-r485.html> . [consulté le 03/04/2019].
- Howarth R. et al. 2011. Coupled biogeochemical cycles: Eutrophication and hypoxia in temperate estuaries and coastal marine ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment* 9, 18-26.
- Ifremer. Projet RECOSEPESCA. Capteur STPS. Mise à jour le 16 juillet 2010. Site de Ifremer, [En ligne]. <https://wwz.ifremer.fr/recopesca/L-instrumentation/Capteur-STPS> [consulté le 03/04/2019].
- Lannuzel R. 2018. Dynamique du carbone et des nutriments dans la zone côtière Baie de l'Aiguillon-Pertuis Breton et influence des apports terrestres du bassin versant du Marais poitevin <https://archimer.ifremer.fr/doc/00445/55647/>
- Le Marchand M. 2017. Dynamique hivernale des nutriments et du carbone dans les exutoires du Marais poitevin et flux terrestres associés en Baie de l'Aiguillon. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00393/50487/>
- Le Moine Olivier, Geairon Philippe (2013). Estimation et caractérisation de la dynamique des flux dans l'estuaire de la Charente. ODE/LER/LERPC 2013. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00120/23096/>
- Le Moine O. 2018. Temps de renouvellement des masses d'eau des Pertuis Charentais. Note méthodologique. R.INT.ODE/UL/LERPC 2018-1 <https://archimer.ifremer.fr/doc/00430/54179/>
- MEA 2005. Millennium ecosystem assessment, ecosystems and human well-being. Syn- thesis. Island Press, Washington, DC, pp. 1-137.
- Ménesguen A, Dussauze M, Dumas F (2018) Designing optimal scenarios of nutrient loading reduction in a WFD/MSFD perspective by using passive tracers in a biogeochemical-3D model of the English Channel/Bay of Biscay area. *Ocean and Coastal Management* 163: 37-53 NKE Instrumentation. Site de NKE, [En ligne]. <http://www.nke-instrumentation.fr/> [consulté le 03/04/2019].
- Plus Martin, [Auby Isabelle](#), [Maurer Daniele](#), [Trut Gilles](#), Del Amo Y., Dumas Franck, [Thouvenin Benedicte](#) (2015). Phytoplankton versus macrophyte contribution to primary production and biogeochemical cycles of a coastal mesotidal system. A modelling approach. *Estuarine Coastal And Shelf Science* , 165, 52-60 . Publisher's official version : <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.09.003> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00278/38963/>
- Polsenaere P. et al. 2017. Potential environmental drivers of a regional blue mussel mass mortality event (winter of 2014, Breton Sound, France). *Journal of Sea Research* 123, 39-50.
- Polsenaere P, Lannuzel R, Guesdon S, Le Moine O et P Soletchnik, 2018. Variabilité spatio-temporelle des nutriments et du carbone et flux associés le long d'un continuum terrestre-aquatique tempéré (Marais poitevin – Baie de l'Aiguillon – Pertuis Breton). PROJET AIGUILLON (2016-2020). *Rapport scientifique sur le volet qualitatif (mesures in situ 2017)*. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00461/57284/>
- Rantz S.E 1982. Measurement and Computation of Streamflow. *In USGS Washington USA, volume 1, 313 p.*

RD Instruments Channel H-ADCP 1200KHz Horizontal ADCP Application note: ChannelMaster 2011kHz Horizontal ADCP Discharge Measurements at Check 13 on the Imperial Irrigation District West Hipline Canal. <http://www.teledynemarine.com/channelmaster-adcp>.

RNN Aiguillon. Site de Réserve naturelle nationale de la baie de l'Aiguillon, [En ligne]. <https://www.reserve-baie-aiguillon.fr/hydraulique/> [consulté le 03/04/2019].

SAGE de la VENDEE. Site de l'INSTITUTION INTERDÉPARTEMENTALE DU BASSIN DE LA SÈVRE NIORTAISE – IIBSN. [En ligne] <https://www.sevre-niortaise.fr/presentation/quest-ce-quun-sage/sage-vendee/>. [consulté le 03/04/2019].

SAGE de la SEVRE NIORTAISE MARAIS POITEVIN. Site de l'INSTITUTION INTERDÉPARTEMENTALE DU BASSIN DE LA SÈVRE NIORTAISE – IIBSN. [En ligne] <https://www.sevre-niortaise.fr/espace-cartographique/territoire/sage/#ancre2>. [consulté le 03/04/2019].

SAGE du LAY. Site du Syndicat mixte Bassin du Lay. [En ligne] <http://www.bassindulay.fr/definition-sage-bassin-lay.htm>. [consulté le 03/04/2019].

SAGE du LAY 2017. Rapport d'activités 2017 du SAGE du LAY.pp 88. <http://www.bassindulay.fr/syndicat-mixte/rapport-activite-bassin-lay.htm>

SHOM. Site du SHOM, [En ligne]. https://maree.shom.fr/harbor/LA_ROCHELLE-PALLICE/hlt/0?date=2019-03-31&utc=standard . [consulté le 03/04/2019].

Syndicat mixte Bassin du LAY. Site du Syndicat mixte LAY et Marais poitevin [En ligne]. <http://www.bassindulay.fr/gestion-eau-marais-poitevin.htm>. [consulté le 03/04/2019].

Sloat J.V & M. Hull 2004. Computing Discharge using the Velocity-Index method; an introduction to using SonTex Argonaut SL/SW/XR instruments for computing discharge using the “Velocity Index” method Son Tek/Ysi, INC. USA.

Toublanc F. 2013. Hydrodynamique et dynamique des sédiments fins dans l'estuaire de la Charente. Thèse de 3^{ème} cycle. Université de La Rochelle 2013.

VII. Annexes

Annexe 1. Channel Master RDI H. ADCP.

Matériel financé par l'EPMP-ONCFS et mis en place par ACRI-IN sur la Sèvre et le Lay

ChannelMaster

Horizontal Acoustic Doppler Current Profiler



TECHNICAL SPECIFICATIONS

		CM300 300kHz	CM600 600kHz	CM1200 1200kHz
Water Velocity Profiling (Broadband mode)	Profiling range	4m ¹ to 300m ¹	2m ¹ to 90m ¹	1m ¹ to 25m ¹
	Velocity range	±5m/s default, ±20m/s maximum		
	Accuracy	±0.5% of water velocity relative to ADCP, ±2mm/s		
	Resolution	1mm/s	1mm/s	1mm/s
	Number of cells	1-128	1-128	1-128
	Cell size	1m to 4m	0.5m to 4m	0.2m to 2m
	Blanking distance	1m	0.5m	0.2m
	Data output rate	User-programmable		
Physical Properties	Weight in air	6.8kg	4.7kg	3.4kg
	Weight in water	3.17kg	2 kg	1.58kg
	Height	18.5cm	18.5cm	18.3cm
	Width	32.5cm	26.4cm	18.3cm
	Depth	19.8cm	19.3cm	18.9cm
Transducer	Geometry	2 beams, ±20°	2 beams, ±20°	2 beams, ±20°
	Beam width	2.2°	1.3°	1.5°
Standard Sensors	Temperature	Tilt (pitch and roll)		Pressure
	Range:	-4°C to 40°C	±10°	0.1m to 10m
	Accuracy:	±0.2°C	±0.2°@2°, ±0.5°@10°	0.5%
	Resolution:	0.01°C	0.01°	1mm
Acoustic Stage		0.1m to 10m ²		
		±0.1%, ±3mm		
Software	<ul style="list-style-type: none"> • WinH-ADCP: System setup, data acquisition, discharge calculation, data display and summary report • PlanCV: Deployment planning, predicting precision, power usage, etc. 			
Other Hardware and Features	<ul style="list-style-type: none"> • 4mb internal recorder • 25m power and communications cable standard, longer available • Stainless steel mounting plate • Built-in index-velocity method flow calculator 			
Communications	RS-232 with SDI-12, or RS-422	SDI-12 supports v 1.3 (concurrent)		
	Serial baud rates	Simultaneous SDI-12, and internal logging supported 300-115,200 bps		
Construction	Cast polyurethane with titanium hardware, mounting plate included			
Power	Voltage:	10-18VDC		
	Max. current:	1.5A		
	Power consumption:	0.1W @ 10% duty cycle (typical)		
Environmental	Operating temperature:	-5°C to 45°C		
	Storage temperature:	-20°C to 50°C		

1. Assume one good cell (minimum cell size), range measured from the transducer surface.
 2. Assume fresh water; actual range depends on temperature and suspended solids concentration.
 3. User-programmable to 18m maximum.

Annexe 2. Argonaute SonTek document technique.

SonTek/YSI

Table 3-1. Summary of Argonaut-SW Specifications

Specification	Details
Velocity profiling range	Maximum depth: 5.0 m (16 ft) Minimum depth: 0.3 m (1 ft)* *Can operate in shallower depths down to 0.2 m (0.7 ft) with performance limitations
Stage measurement	Minimum depth: - Above transducer: 0.1 m (0.3 ft) - Total water depth: 0.2 m (0.6 ft) Maximum depth: 5.0 m (16 ft) Accuracy: $\pm 0.1\%$ of measured level, ± 0.3 cm (0.01 ft)
Water velocity	Range: ± 5 m/s (16 ft/s) Resolution: 0.1 cm/s (0.003 ft/s) Accuracy: $\pm 1\%$ of measured velocity, ± 0.5 cm/s (0.015 ft/s)
Physical parameters	Dimensions: - Length: 24.5 cm (9.7 in.) - Width: 10.0 cm (4.0 in.) - Height: 6.3 cm (2.5 in.) Weight: - In air: 1.2 kg (2.6 lb) - In water: 0.15 kg (0.3 lb) Pressure rating: 25 m (80 ft) Operating temperature: -5°C to 60°C (23°F to 140°F) Storage temperature: -10°C to 70°C (14°F to 158°F)
Power requirements	Input power: 7-15 VDC Base power consumption: 0.6 W nominal (§5.5.2)
Temperature sensor	Resolution: $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ Accuracy: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
Recorder size	4 MB (over 50,000 samples)
Communication protocols	RS-232, SDI-12 (RS-422 optional)
Multi-cell profiling	10 cells (in addition to the single, vertically-integrated cell)
Analog outputs (option)	Available output types (only one type can be used for a deployment, but four modules can be used per system): - 4-20 mA - 0-5 VDC Available output parameters (one module required for each parameter; maximum of four output modules per system): - X velocity - Y velocity - Velocity magnitude - Temperature - Average SNR (signal-to-noise ratio) - Stage - Flow - Volume - Cell end location

DVS Doppler Volume Sampler

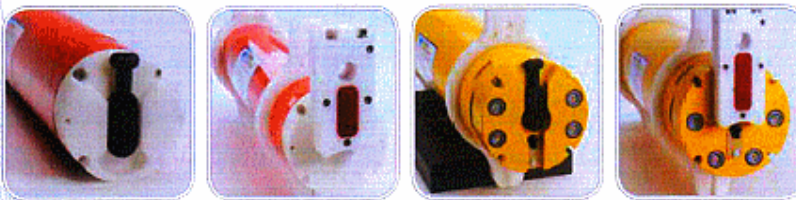
Moored Current Measurement



TECHNICAL SPECIFICATIONS

Velocity Profiling	Typical/max range Number of bins	3m/5m 1-5
Profile Parameters	Velocity accuracy Velocity resolution Velocity range Sample time	1.0% ± 0.5cm/s 0.1cm/s ±6m/s 1s
Transducer and Hardware	Frequency Beam angle Configuration Internal memory Communications Depth ratings	2457.6kHz 45° 4-beam, convex 16MB RS232, Inductive 750m, 6000m
Software	Windows™-based planning, testing, setup, download, and viewing	
Standard Sensors	Temperature: Compass/Tilt:	Range: -4° to 45°C; Precision: ±0.5°C; Resolution: 0.5°C; Accuracy ±0.5°C Heading accuracy: 1°; Tilt accuracy: ±0.3°; Resolution: 0.1°
Operating Modes	Autonomous: Polled: Combination:	Preprogrammed Sample on command Autonomous and Polled
Available Options	<ul style="list-style-type: none"> Pressure Sensor High-precision temperature (OEM-SBE)¹ Internal inductive modem Mooring line clamp and fin 	Range: -5° to 35°C; Precision: ±0.005°C; Resolution: 0.001°C
Power	10.6-28VDC	
Environmental	Operating temperature: -5°C to 40°C; Storage: -25°C to 60°C	
Weight	750m 6000m	In air 7kg; in water 2kg With accessories: in air: 8kg; in water 2kg In air 19kg; in water 10kg With accessories: in air: 20kg; In water 10kg
Dimensions (mm)	DVS 750m: length 635, diameter 102; DVS 6000m: length 658, diameter 133 (line drawings available upon request)	

¹ 750m only



From left: DVS 750m end cap; DVS 750m end cap with optional inductive modem; DVS 6000m end cap; DVS 6000m end cap with optional inductive modem.

Annexe 4. Résultats des jaugeages.

Récapitulatif des jaugeages réalisés en fonction de l'heure marée locale (évaluée par la mesure de pression, données d'Avril en italique) résultats issus de la note interne I-Sea :

Kervella S. 2018 I-SEA – GEOXYZ : Mise en place d'un réseau de stations de mesure de débits aux principaux exutoires de la Baie de l'Aiguillon. Lot 4 : Jaugeage de quatre stations de mesure. Rapport de synthèse.

Lay ME heure-Jusant	Lay VE heure-flot	Sèvre ME heure-jusant	Sèvre VE heure-flot	Sèvre VE heure-jusant
0 :10	00 :24	00 :26	0 :00	05 :01
01 :00	00 :54	01 :11	00 :55	05 :56
02 :10	01 :24	01 :51	01 :50	
03 :10	02 :04	02 :36	02 :30	<i>01 :20</i>
03 :45	02 :34	03 :21	03 :25	<i>02 :05</i>
	03 :09	04 :01	04 :00	<i>02 :45</i>
	03 :34	04 :31	04 :45	<i>03 :35</i>
	04 :04		04 :52	<i>04 :15</i>
				<i>05 :05</i>
	<i>01 :41</i>			<i>05 :55</i>
	<i>02 :29</i>			
	<i>03 :09</i>			
	<i>03 :44</i>			
	<i>04 :22</i>			
	<i>05 :00</i>			
	<i>05 :38</i>			

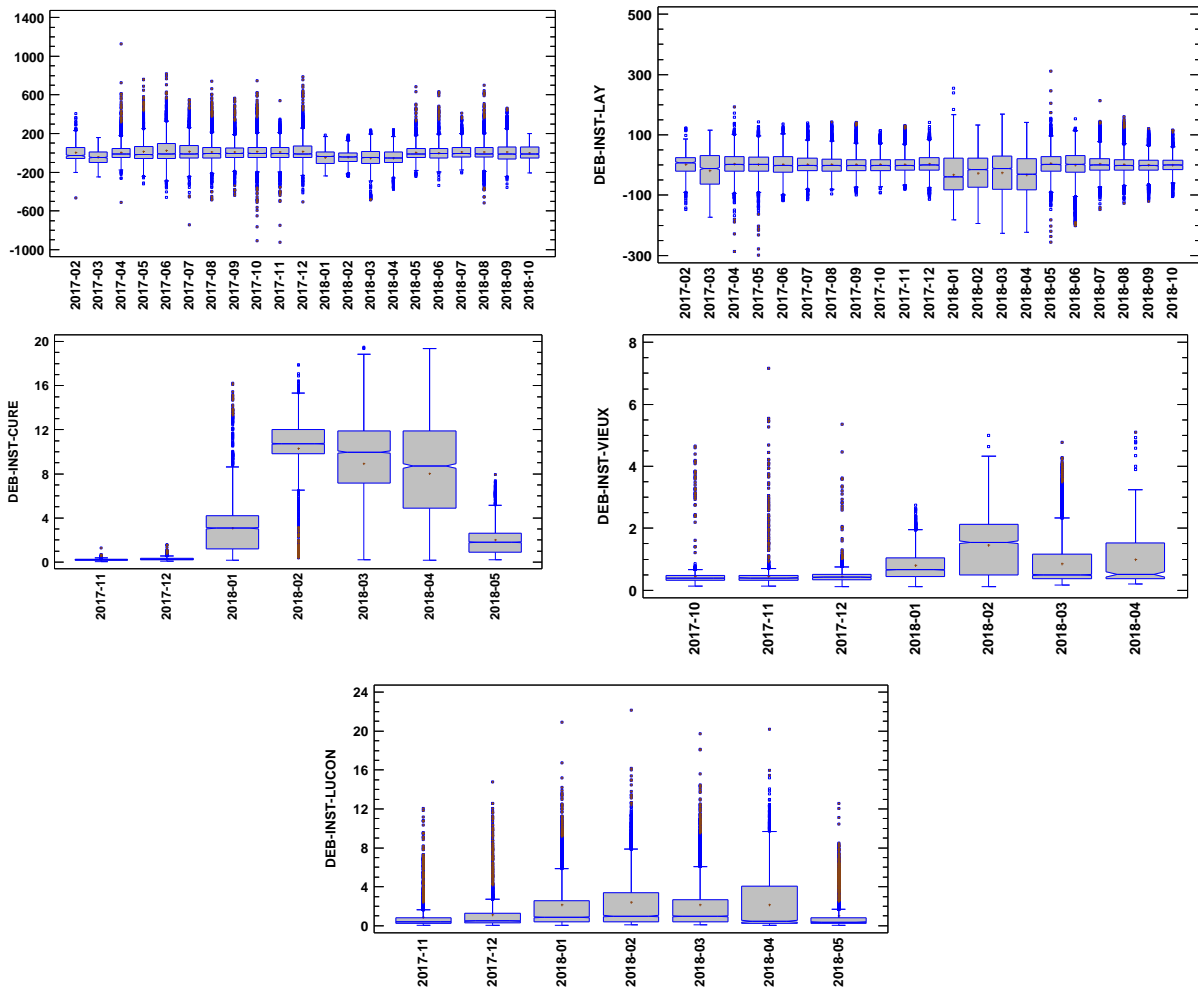
Sèvre

Moment de marée/LR	PM ou BM mesurée	Débit (m3/s)	E.T (m3/s)	E.T (%)	Vitesse moy (m/s)	Surface mouillée (m ²)	Largeur de la section mesurée (m)	Nombre de mesures retenues
PM	11/01/2018 12:35	24.05	1.265	5.26	-0.091	234.9	72.3	3/3
PM+0H47	11/01/2018 13:20	11.057	0.404	3.66	-0.046	240.2	74.5	4/6
PM+1H27	11/01/2018 14:00	88.506	2.977	3.36	-0.389	227.5	72.3	5/6
PM+2H12	11/01/2018 14:45	124.919	1.95	1.56	-0.602	207.3	71	6/6
PM+2H57	11/01/2018 15:30	130.522	1.105	0.85	-0.72	181.4	67.2	6/6
PM+3H37	11/01/2018 16:10	137.887	4.445	3.22	-0.72	159	65.2	5/6
PM+4H07	11/01/2018 16:40	130.111	1.922	1.48	-0.955	136.2	63.8	4/4
BM-1H25	19/01/2018 09:50	117.053	2.552	2.18	-0.977	119.9	61.2	4/4
BM-0H30	19/01/2018 10:45	88.299	1.849	2.09	-0.942	93.8	56.3	4/4
BM+0H30	19/01/2018 11:45	66.415	5.592	8.42	-0.74	89.7	54.8	3/4
BM+1H20	19/01/2018 12:40	115.179	4.272	3.71	-0.858	134.5	71.9	4/7
BM+2H20	19/01/2018 13:35	95.353	3.554	3.73	-0.703	135.8	64.3	4/4
BM+3H00	19/01/2018 14:15	56.658	0.767	1.35	-0.313	181.3	69.5	3/4
BM+3H55	19/01/2018 15:10	-57.162	3.041	5.32	0.2	232.2	75	4/5
BM+4H30	19/01/2018 15:45	-90.126	3.783	4.2	0.338	266.3	76.2	4/4
BM+5H15	19/01/2018 16:30	-126.407	5.256	4.16	0.416	303.9	75.8	4/10
BM+5H22	19/01/2018 16:37	-94.899	6.826	7.19	0.315	301.6	77	3/10
PM+1H59	19/04/2018 07:30	137.651	1.081	0.79	-0.429	320.8	85.8	4/4
PM+2H44	19/04/2018 08:15	122.389	1.56	1.27	-0.453	270.2	80.8	4/6
PM+3H24	19/04/2018 08:55	137.251	1.438	1.05	-0.629	218.5	71.6	4/4
PM+4H14	19/04/2018 09:45	128.268	1.481	1.15	-0.776	165.3	61.3	4/6
PM+4H54	19/04/2018 10:25	125.085	2.313	1.85	-0.886	141.4	56.7	6/6
PM+5H44	19/04/2018 11:15	111.816	1.391	1.24	-0.908	123.3	52.8	4/6
PM+6H34	19/04/2018 12:05	107.679	1.414	1.31	-0.93	115.8	51	6/6

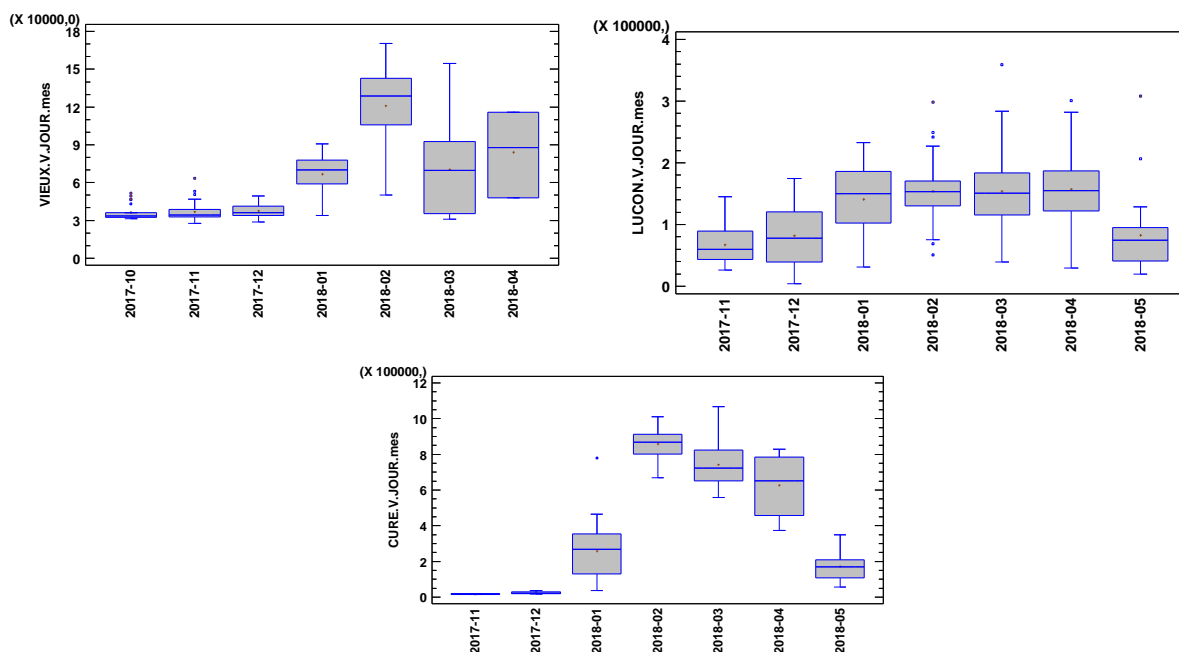
Lay

PM ou BM mesurée	Moment de marée/LR	Débit (m3/s)	E.T (m3/s)	E.T (%)	Vitesse moy (m/s)	Surface mouillée (m ²)	la section mesurée (m)	Nombre de mesures retenues
10/01/2018 12:50	PM+1H18	100.326	2	1.99	-0.45	223.2	78.8	3/6
10/01/2018 13:40	PM+2H08	112.2	3.307	2.95	-0.63	178.1	68.7	4/4
10/01/2018 14:50	PM+3H18	41.642	2.955	7.1	-0.347	119.9	61.5	4/8
10/01/2018 15:50	PM+4H18	31.504	0.936	2.97	-0.389	81	53.3	4/4
10/01/2018 16:25	PM+4H53	25.21	0.48	1.91	-0.391	64.6	47.2	4/4
01/02/2018 13:00	BM+1H44	-59.519	1.489	2.5	0.68	87.6	45.5	5/7
01/02/2018 13:30	BM+2H14	-71.137	4.599	6.47	0.437	163.5	59.7	8/8
01/02/2018 14:00	BM+2H34	-28.069	5.966	21.26	0.139	201.3	63.7	6/6
01/02/2018 14:40	BM+3H14	-67.964	1.328	1.95	0.291	234	71.3	4/6
01/02/2018 15:10	BM+3H34	-65.708	1.566	2.38	0.25	263.6	74.4	6/6
01/02/2018 15:45	BM+4H09	-72.856	4.823	6.62	0.242	300.9	77.6	3/3
01/02/2018 16:10	BM+4H34	-89.611	3.846	4.29	0.277	323.9	82.9	6/6
01/02/2018 16:40	BM+5H04	-75.179	6.419	8.54	0.224	335.6	87.4	3/6
18/04/2018 06:57	PM+2H06	69.364	2.362	3.41	-0.297	233.8	69.1	4/4
18/04/2018 07:45	PM+2H54	66.208	1.76	2.66	-0.335	197.5	63.6	6/6
18/04/2018 08:25	PM+3H34	52.942	1.372	2.59	-0.359	147.4	57	6/6
18/04/2018 09:00	PM+4H09	46.453	1.666	3.59	-0.407	114.2	52.1	6/6
18/04/2018 09:38	PM+4H47	34.618	1.013	2.93	-0.416	83.1	44.6	4/6
18/04/2018 10:16	PM+5H25	26.664	0.795	2.98	-0.399	66.9	38.3	4/6
18/04/2018 10:54	PM+6H03	23.066	0.613	2.66	-0.395	57.8	35.4	4/6

Annexe 5. Distribution des débits instantanés à l'échelle du mois. Résultats de mesures. Les débits « instantanés » sont mesurés sur un intervalle de temps de 5 min (m^3/s) sur les deux fleuves (Lay et Sèvre, figures du haut, gauche et droite respectivement) et de 10 min en 2018 sur les trois chenaux : Curé, Vieux et Luçon.



Annexe 6. Distribution des volumes journaliers totaux par mois pour les trois chenaux secondaires. L'ensemble des mesures à l'échelle du mois est présenté. Les mois à faibles effectifs (nombre de jours de mesures < 5) ne sont pas pris en compte.



Annexe 7. Volumes totaux journaliers mesurés transitant par les stations de mesures au niveau de la Sèvre et du Lay
 NB : Les mois à faible effectif ($n < 5$) doivent pas être pris en compte

Période	Sèvre ($10^3 \text{ m}^3/\text{j}$)				Lay ($10^3 \text{ m}^3/\text{j}$)			
	n	Moy.	Min.	Max.	n	Moy.	Min.	Max.
2017								
janv								
févr	3	138	-685	582	12	190	-70	655
mars	30	3 720	560	8 412	31	766	219	1 663
avr	18	244	-1 616	1 401	28	701	-149	1 781
mai	3	207	87	304	31	677	-327	2 536
juin	5	-192	-1 915	431	30	713	-37	1 537
juil	9	210	-833	1 197	31	552	-89	1 344
août	11	336	-644	1 035	31	440	-108	1 906
sept	12	202	-1 304	691	30	434	-167	1 696
oct	15	-171	-1 968	647	31	303	-147	1 087
nov	16	-616	-2 643	297	30	277	-238	1 049
déc	7	-1 362	-2 681	-130	31	270	-289	2 110
2018								
janv	25	3 717	326	9 932	31	3 939	815	8 898
févr	28	3 654	-389	8 063	28	3 513	1 336	7 895
mars	31	4 137	-1 369	12 414	31	3 255	1 288	7 079
avr	30	4 169	-162	9 863	30	3 833	177	8 414
mai	17	256	-471	2 378	22	243	-364	1 322
juin	24	-25	-1 503	4 954	22	915	-402	4 444
juil	23	-804	-2 842	523	31	127	-479	1 107
août	20	-344	-893	348	29	143	-366	1 628
sept	18	-139	-1 533	897	30	235	-250	1 097
oct	19	466	-584	1 560	31	381	-252	1 517
nov	8	829	-244	1 805	29	608	-245	2 347
déc	30	7 077	3 013	9 910	31	4 253	727	10 064

Annexe 8. Coefficients de corrélations entre les stations de mesures du projet et les stations DREAL.
Pont du Brault et stations amont

	La Vendée	La Longèves	La Coutance	Mignon	Autize	Sèvre Niort.	Sevre_COR BV	Brault mes. v
La Vendée	1,00							
La Longèves	0,74	1,00						
La Coutance	0,78	0,76	1,00					
Mignon	0,80	0,67	0,91	1,00				
Autize	0,82	0,69	0,82	0,78	1,00			
Sèvre Niort.	0,87	0,69	0,90	0,93	0,85	1,00		
Sevre_COR BV	0,87	0,69	0,90	0,93	0,85	1,00	1,00	
QMJ Brault n	0,63	0,50	0,65	0,71	0,67	0,72	0,70	1,00

	CMSA	CMSA+vendée	QMJ Brault mes. Valid	CMSA+V 1j	CMSA+V 2j	CMSA+V 3j	CMSA+V 4j	CMSA+V 5j	CMSA+0.8*V 1
CMSA	1,00								
CMSA+vendée	0,99	1,00							
QMJ Brault n	0,73	0,73	1,00						
CMSA+V 1j	0,95	0,96	0,79	1,00					
CMSA+V 2j	0,99	0,99	0,75	0,97	1,00				
CMSA+V 3j	0,99	0,98	0,76	0,96	1,00	1,00			
CMSA+V 4j	0,99	0,98	0,76	0,96	0,99	1,00	1,00		
CMSA+V 5j	0,98	0,97	0,76	0,96	0,98	0,99	1,00	1,00	
CMSA+0.8*V	0,99	1,00	0,75	0,97	1,00	0,99	0,99	0,98	1,00

Lay – Pont de l'Aiguillon et stations amont

	Yon	Champarc	Brettonnière	Lay Cor_BV.	Lay	Marillet	Champarc+Yon	Champarc+Lay+Marillet	Lay Aig_valid-
Yon	1,00								
Champarc	0,91	1,00							
Brettonnière	0,95	0,99	1,00						
Cor_BV.	0,95	0,99	1,00	1,00					
Lay m3	0,90	1,00	0,99	0,99	1,00				
Marillet m3	0,86	0,91	0,91	0,91	0,88	1,00			
Champarc+Yon	0,95	0,99	1,00	1,00	0,99	0,91	1,00		
Champarc+Lay+Marillet	0,91	1,00	0,99	0,99	1,00	0,91	0,99	1,00	
Lay Aig_valid-	0,80	0,88	0,87	0,87	0,87	0,84	0,88	0,88	1,00

	Lay_mes_valid-	Champarc+1j	Champarc+2j	Champarc+3j	Champarc+4j	Champarc+Yon+1j	Champarc+Yon+2j	Champarc+Yon+3j	Champarc+Yon+4j
Lay_mes_valid-	1								
Champarc+1j	0,88	1							
Champarc+2j	0,85	0,88	1						
Champarc+3j	0,78	0,75	0,88	1					
Champarc+4j	0,74	0,69	0,75	0,88	1				
Champarc+Yon+1j	0,92	0,91	0,88	0,80	0,77	1			
Champarc+Yon+2j	0,86	0,82	0,91	0,88	0,80	0,93	1		
Champarc+Yon+3j	0,80	0,73	0,82	0,91	0,88	0,85	0,93	1	
Champarc+Yon+4j	0,76	0,68	0,73	0,82	0,91	0,81	0,85	0,93	1

Chenaux secondaires et autres stations

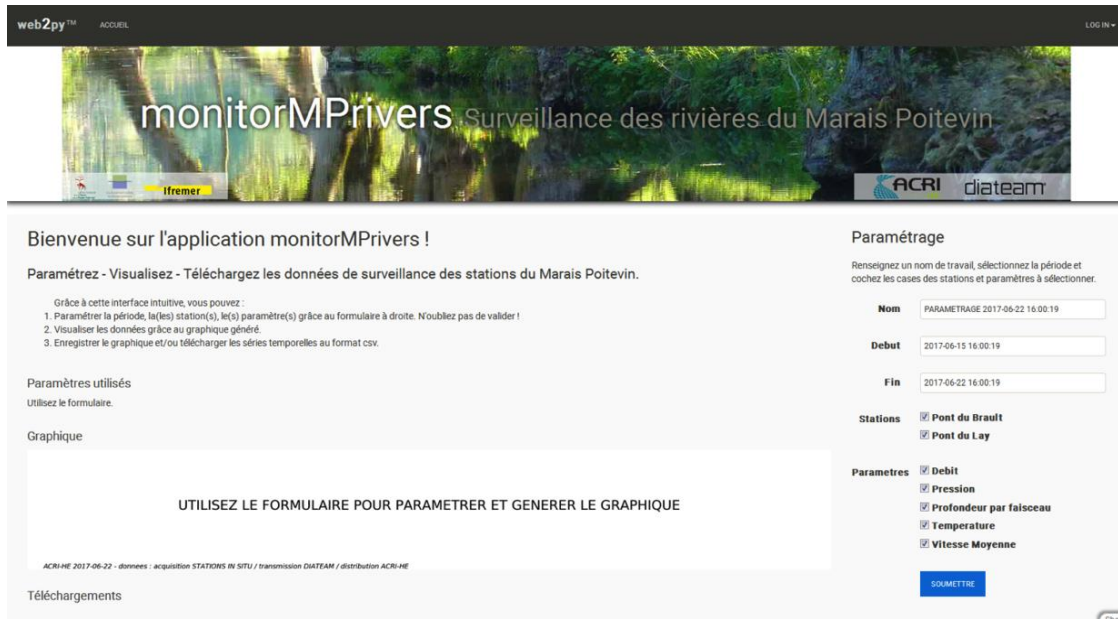
	Luçon EBVBA	Curé EBVBA	Vieux EBVBA	Sevre EBVBA	Lay EBVBA	Yon	Lay Champarc	Lay Brettonnière	Lay	Marillet	Vendée	Longèves	Courance	Mignon	Sèvre Niortaise
Luçon EBVBA	1,00														
Curé EBVBA	0,48	1,00													
Vieux EBVBA	0,29	0,63	1,00												
Sevre EBVBA	0,39	0,52	0,20	1,00											
Lay EBVBA	0,61	0,52	0,36	0,65	1,00										
Yon	0,58	0,37	0,26	0,49	0,83	1,00									
Lay Champarc	0,60	0,56	0,41	0,63	0,92	0,90	1,00								
Lay Brettonnière	0,61	0,52	0,38	0,60	0,92	0,94	0,99	1,00							
Lay	0,60	0,56	0,42	0,64	0,92	0,89	1,00	0,99	1,00						
Marillet	0,55	0,51	0,34	0,49	0,85	0,88	0,93	0,93	0,90	1,00					
Vendée	0,61	0,47	0,39	0,56	0,86	0,80	0,88	0,88	0,89	0,80	1,00				
Longèves	0,49	0,25	-0,10	0,50	0,78	0,78	0,87	0,87	0,86	0,86	0,73	1,00			
Courance	0,60	0,60	0,47	0,70	0,84	0,76	0,85	0,85	0,86	0,78	0,84	0,76	1,00		
Mignon	0,53	0,37	-0,15	0,69	0,81	0,70	0,79	0,78	0,80	0,67	0,80	0,67	0,90	1,00	
Sèvre Niortaise	0,59	0,55	0,47	0,68	0,85	0,78	0,88	0,87	0,90	0,73	0,88	0,69	0,91	0,90	1,00

Annexe 9. Volumes journaliers d'eau douce relâchés par les cinq exutoires de l'étude, estimés avec les modèles prédictifs (Tableau de valeurs : moyenne, minimum & maximum) sur la période 2017-2018.

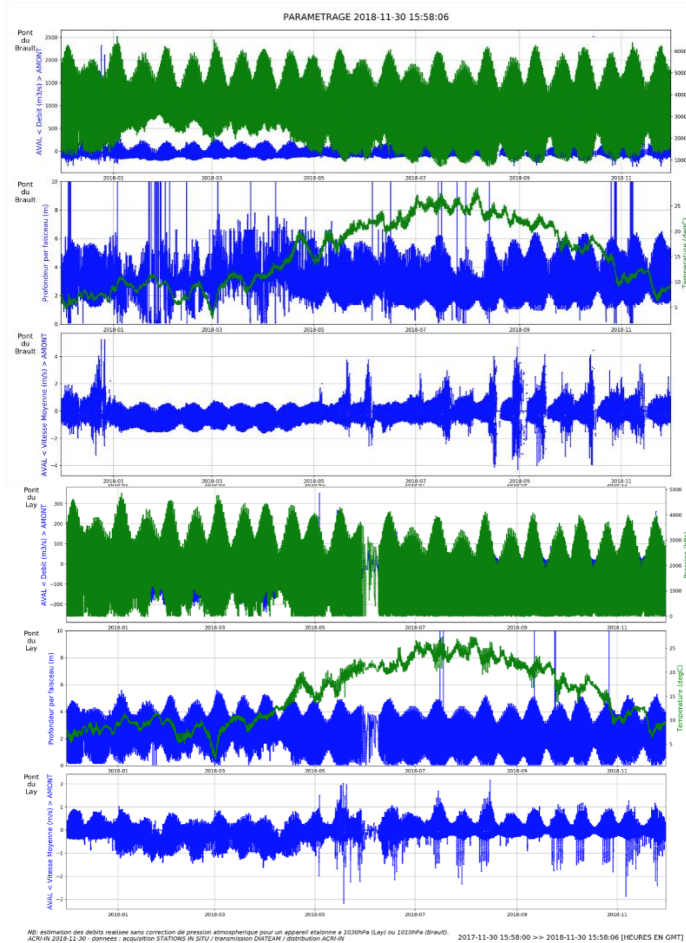
Période	Sèvre (10 ³ m ³ /j)			Lay (10 ³ m ³ /j)		
	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.
2017						
janv	220	183	273	116	80	191
févr	495	276	948	391	90	1 054
mars	1 613	552	3 637	1 914	236	4 546
avr	537	344	889	386	70	913
mai	326	234	413	114	40	207
juin	207	142	324	57	23	121
juil	184	140	271	40	31	53
août	147	119	216	38	29	54
sept	147	125	196	42	30	55
oct	133	114	142	60	26	155
nov	124	116	149	54	24	86
déc	220	131	479	139	37	536
2018						
janv	2 724	591	6 614	3 087	598	8 608
févr	2 159	1 345	3 102	3 126	1 454	6 562
mars	1 880	1 281	2 809	2 694	879	6 113
avr	1 714	771	3 088	3 448	895	8 294
mai	647	474	1 206	497	179	1 386
juin	855	323	2 670	1 280	215	4 548
juil	268	198	410	126	38	667
août	186	163	282	69	43	116
sept	177	145	256	74	48	108
oct	176	152	233	70	37	96
nov	284	193	414	306	54	1 436
déc	2 574	308	9 012	3 645	555	13 313

Période	Curé (10 ³ m ³ /j)			Luçon (10 ³ m ³ /j)			Vieux (10 ³ m ³ /j)		
	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.
2017									
janv	40	28	58	4	3	7	12	9	16
févr	95	45	145	14	3	34	22	14	28
mars	328	84	719	57	9	116	38	21	53
avr	135	87	212	14	4	36	26	21	33
mai	77	52	96	5	2	10	19	15	22
juin	35	19	50	3	1	8	11	5	15
juil	35	16	75	2	1	7	10	4	19
août	21	13	26	2	1	3	6	2	8
sept	21	12	34	2	1	6	6	1	11
oct	18	15	21	2	1	5	5	3	6
nov	14	10	18	2	1	3	2	0	5
déc	43	17	88	6	2	20	12	4	21
2018									
janv	619	78	1 564	80	13	153	48	20	69
févr	519	375	744	84	53	140	47	42	54
mars	401	335	526	73	28	133	43	40	48
avr	426	210	628	89	28	150	43	33	51
mai	174	129	290	16	6	36	30	26	38
juin	233	104	716	38	8	107	33	23	53
juil	69	42	110	5	0	22	18	13	24
août	36	29	45	2	2	5	11	9	14
sept	30	23	40	3	2	5	9	7	12
oct	28	22	49	2	1	4	8	6	15
nov	60	27	107	11	2	47	16	8	24
déc	617	60	2 852	85	20	153	45	17	83

Annexe 10. Application Web monitorMPrivers.



Interface WEB de consultation et téléchargement des données (ACRI-IN IFREMER) sur l'application monitorMPrivers.



Exemples de données extraites (Débits, Pression, Profondeur, Température et Vitesse de courant) pour la Sèvre (en haut) et le Lay (en bas) avec l'application monitorMPriver.