

Suivi haute fréquence 2017-2018 des températures et salinités des masses d'eau du continuum Marais Poitevin – Baie de l'Aiguillon – Pertuis Breton

Approche de la dynamique des apports en eau douce par l'analyse de la salinité

(Projet Aiguillon 2016-2020)



AGIR pour la
BIODIVERSITÉ



Sommaire

Table des matières

1	Contexte et objectif	3
2	Données disponibles	4
3	Description générale des séries temporelles	6
3.1	Série de température	6
3.2	Série de salinité	9
4	Dynamique des apports en eau douce.....	11
4.1	Description des périodes considérées et transformation des données	12
4.2	Typologie des stations et décalages temporels entre les stations ou groupes de stations 14	
4.2.1	Typologie des stations.....	14
4.2.2	Décalages temporels entre stations au sein des groupes (intra-groupes) en période printanière P3.....	15
4.2.3	Décalages temporels entre stations au sein des groupes (intra-groupes) à la fin de l'automne (P7)	16
4.2.4	Décalages temporels entre groupes (intergroupes)	17
5	Comparaison et discussion des résultats des campagnes de mesures de 2017 et de 2018....	19
	Références	23
A	Annexes.....	24
A.1	Annexe 1 : Nombre quotidien de mesures.....	24
A.2	Annexe 2 : Méthodologie de traitement des données.....	25
A.3	Annexes 3 : Tableaux de décalages temporels.....	27
A.3.1	Au sein des groupes en période printanière	27
A.3.2	Au sein des groupes en période de fin d'automne.....	28
A.3.3	Entre groupes sur les 2 périodes	29
A.4	Annexe 4 : Analyse par les fonctions empiriques orthogonales (EOF) sur les salinités de sortie de modèle hydrodynamique MARS 3D en période printanière	30

1 Contexte et objectif

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet IFREMER Aiguillon qui vise à étudier la dynamique spatio-temporelle des nutriments et du carbone le long du continuum Marais Poitevin - Baie de l'Aiguillon - Pertuis Breton (MP-BA-PB), et mieux comprendre l'influence des apports terrigènes sur le fonctionnement de cette zone côtière (notamment sur la production primaire) (Polseanere et al., 2018 ; Coignot et al., 2020). Un des axes du projet a concerné le suivi hydrologique à haute fréquence d'acquisition (toutes les 10 minutes) mis en place en fin d'année 2016 sur les différentes stations du continuum terre/mer MP-BA-PB. (Figure 1).



Figure 1: Position des stations suivies en température et salinité à haute fréquence d'acquisition dans le cadre du projet AIGUILLON (signalées en bleu), les points fluviaux : Lay (fleuve) (46°20'6.28"N, 01°18'58.89"O), Chenal Vieux (46°18'58.69"N, 01°12'8.38"O), Canal de Luçon (46°19'58.89"N, 01°9'58.58"O), Sèvre (fleuve) (46°19'0.52"N, 01°4'56.39"O), Canal du Curé (46°16'3.10"N, 01°6'26.14"O), et les points côtiers : Filière W (46°16'41.34"N, 01°22'37.02"O), Lay (bouée) (46°18'6.00"N, 01°16'34.00"O), Sèvre (bouée) (46°16'45.00"N, 01°10'2.00"O).

Ce travail fait suite à une première analyse des données de la campagne de mesures effectuée en 2017 (Polseanere et al., 2018). Il vise à analyser avec la même approche statistique les données de 2018 en vue (1) d'apporter des éléments d'information sur la dynamique 2018 des apports en eau douce au niveau du continuum MP-BA-PB et (2) à comparer les résultats obtenus lors des deux années de suivis.

2 Données disponibles

En 2018, les huit stations sont suivies à la fréquence d'acquisition de 10 mn. Seules les stations côtières Filière W, Sèvre Bouée et Lay Bouée sont suivies en sub-surface de manière continue à l'échelle de la journée (144 valeurs par jour, voire ponctuellement 96 sur la station Filière W). Sur les autres stations, les mesures sont réalisées sur des supports fixes par rapport au fond ; les systèmes de mesures utilisés subissent ainsi des exondations (installation découvrant à certains moments lorsque le niveau de l'eau tend vers le niveau de basse mer) et ne sont donc pas suivis de manière continue à l'échelle de la journée. Le nombre de valeurs mesurées quotidiennement permet de rendre compte du temps d'exondation et/ou d'immersion des capteurs (Annexe 1). L'étude de ces valeurs fait apparaître que les stations du chenal Vieux et du canal du Curé (Annexe 1, médianes en rouge respectivement à 62 et 55 valeurs quotidiennes) subissent plus les exondations que les stations du canal de Luçon et, celles du Lay et de la Sèvre (stations fluviales) (Annexe 1, médianes en rouge respectivement à 114, 105 et 116 valeurs quotidiennes).

Comme pour tous suivis *in situ*, des dysfonctionnements de matériels peuvent entraîner une absence ponctuelle de mesure (par exemple, vieillissement prématuré, endommagement de sondes et/ou capteurs, dérives de mesures liées au développement de biofouling, compromis entre position au fond pour avoir le maximum de mesures vis à vis du marnage et pas d'envasement ...). Les figures 2 et 3 rendent compte des périodes où les données acquises sont disponibles (respectivement en température et en salinité), de janvier à décembre 2018.

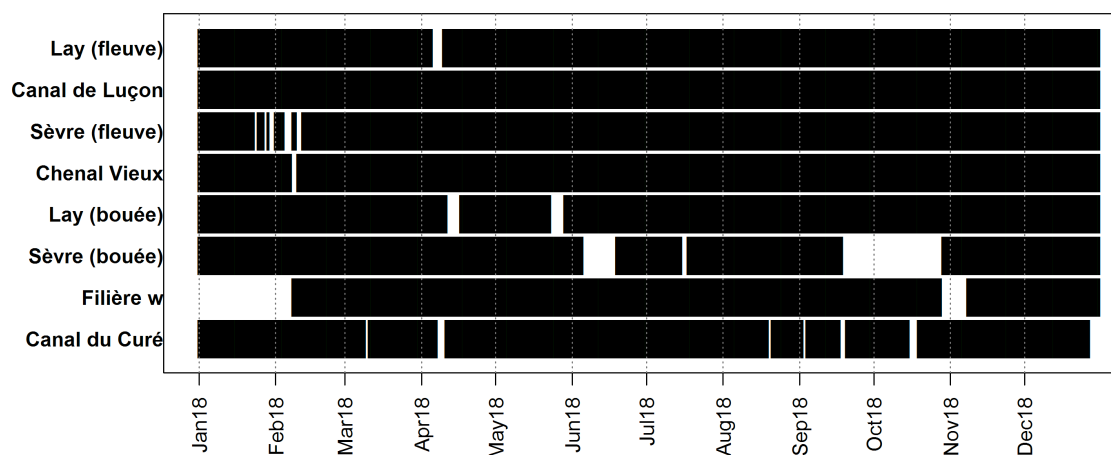


Figure 2: Périodes de mesures de température disponibles aux différentes stations suivies dans le cadre du projet Aiguillon.

Pour la température, peu de données sont manquantes sur la majorité des stations. Ces absences de mesures sont généralement liées à des périodes de maintenance des installations (Figure 2). Néanmoins, les stations Filière W et Sèvre Bouée présentent des périodes plus longues sans données. Le manque de données sur la station Filière W (les six premières semaines de 2018) est lié à la prise en main de ce suivi par un nouvel acteur (en lien avec les délais de disponibilité du fournisseur des matériels de mesures). Pour la station Sèvre (Bouée), une perte de matériel est à l'origine de l'absence de données de 7 semaines en septembre-octobre 2018.

Le capteur de salinité étant par nature plus sensible que celui de température (particulièrement au biofouling printanier et estival), les données manquantes sont plus nombreuses (Figure 3). On observe, ainsi, de nombreuses périodes sans données entre le mois de juin et de novembre, notamment sur les stations du Lay (Fleuve), du canal de Luçon, du chenal Vieux et du canal du Curé (Figure 3).

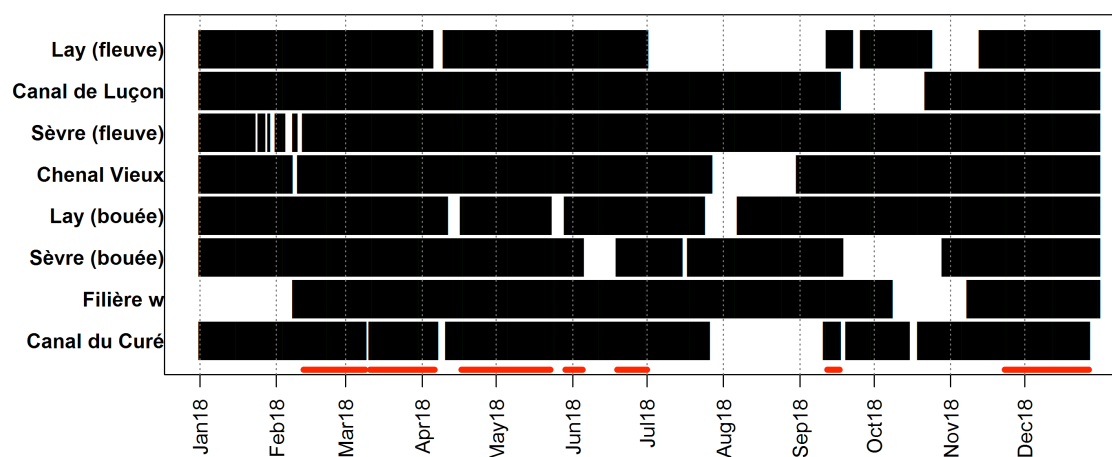


Figure 3 : Périodes de mesures de salinité disponibles aux différentes stations suivies dans le cadre du projet AIGUILLON. Les périodes communes aux différentes stations sont signalées par un trait rouge à la base du graphique.

Ces données sont traitées dans la suite de cette étude suivant les méthodes détaillées en Annexe 2 (des rappels étant fait tout au long rapport).

3 Description générale des séries temporelles

Le descriptif général a pour objectif de décrire globalement les séries temporelles de température et de salinité en s'appuyant, d'une part sur des sorties graphiques (Figures 4 et 5), et sur des indicateurs statistiques, d'autre part (Tableaux 1 et 2). Les indicateurs statistiques considérés ici rendent compte essentiellement de dispersion/amplitude.

Il convient de préciser qu'au regard de l'évolution des températures et des salinités (Figures 4 et 5), les minimum et maximum saisonniers sont pris en compte dans chaque série. Ainsi, les valeurs extrêmes calculées (minima et maxima) et leur amplitude ne sont pas impactées par les éventuelles données manquantes.

3.1 Série de température

Les graphiques de températures journalières de la Figure 4 illustrent l'évolution thermique saisonnière. Suivant la station, le minimum est situé entre le 28 février et le 3 mars (entre 1.3°C au canal du Curé et 7.0°C à Filière W), le maximum se situant entre le 3 et 6 août (entre 25.1°C au Lay (bouée) et 29.2°C au canal du Curé), exception faite de Filière W où son maximum est le 8 juillet avec 22.0°C (Tableau 1). Pour chaque station, cette évolution apparaît "bruitée" par une alternance de variations thermiques plus ou moins intenses (les températures n'évoluant pas de manière lisse et continue). L'intensité de ces variations, potentiellement conditionnée par les brusques fluctuations de températures atmosphériques à court terme, est moins forte sur les stations les plus côtières. La station Filière W présente, à titre exemple, une évolution thermique beaucoup plus lissée que celle du canal du Curé (Figure 4).

Ce caractère plus tamponné des masses d'eau côtières par rapport à celles des estuaires se distingue également au regard des amplitudes saisonnières (maximum annuel journalier - minimum annuel journalier). Ces amplitudes, évoluant de 15°C pour Filière W à 27.9°C pour le canal du Curé (Tableau 1), illustrent le positionnement relatif de chaque station dans le gradient terre-mer : plus l'amplitude est faible, plus la station est maritime.

A l'échelle de la journée, les amplitudes minimales et maximales relevées en 2018 varient entre 0°C et 16.2°C (Tableau 1). Quelle que soit la station, des journées sans variation thermique (voir très faible <0.5 °C) surviennent en 2018 (Tableau 1). Néanmoins, les stations côtières présentent des amplitudes journalières maximales plus faibles que les stations fluviales. Par exemple, l'amplitude à Filière W de 4.9°C est très inférieure à celle du canal du Curé de 16.2°C (Tableau 1).

Qu'elles soient saisonnières ou intrajournalières, les amplitudes thermiques des différentes stations apparaissent très liées à leur position sur le gradient terre-mer.

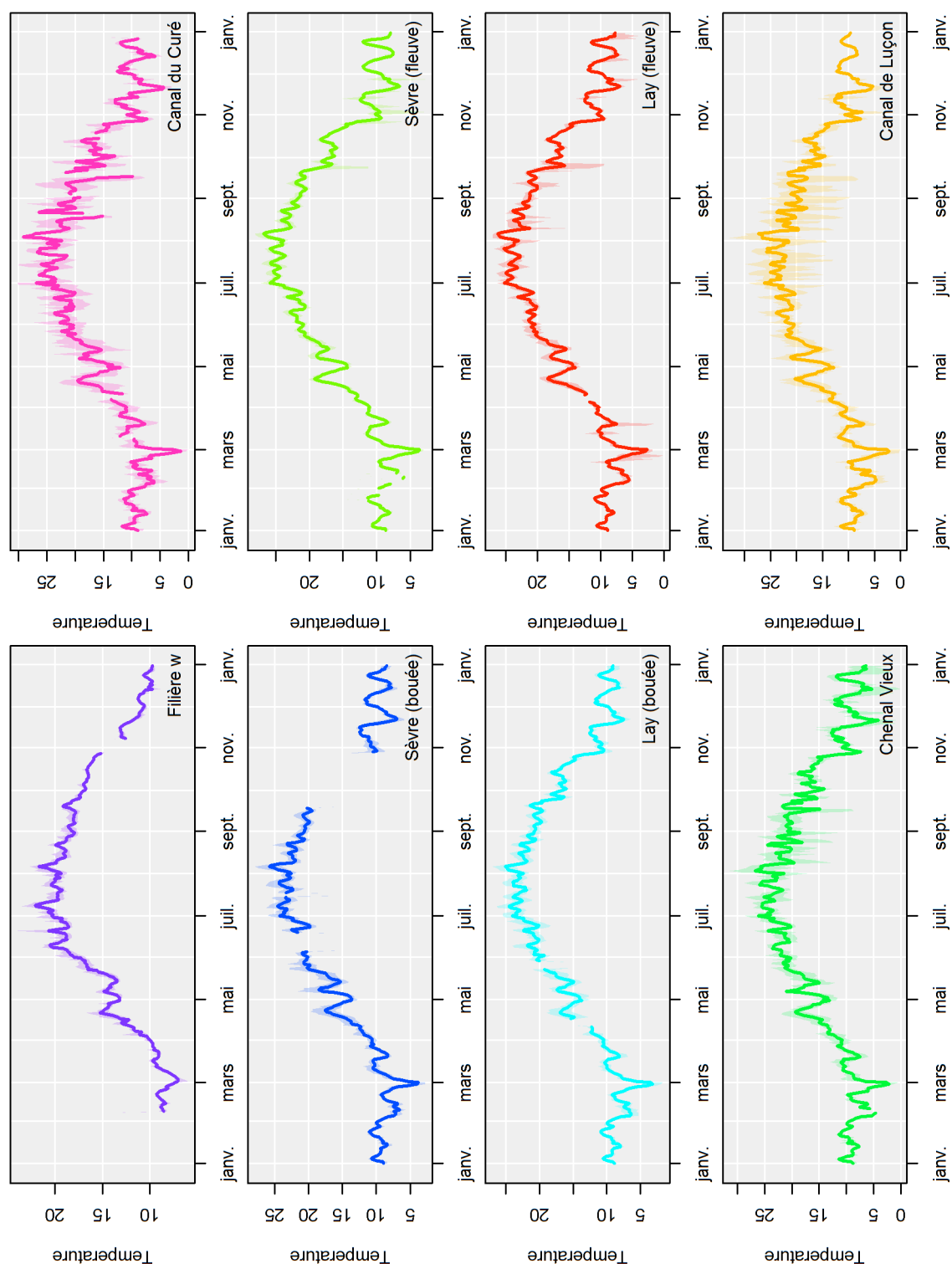


Figure 4 : Evolution des températures moyennes journalières (ligne pleine) et des indicateurs de dispersion intra-journalière (quantiles 2.5 et 97.5 «intervalle transparent»).

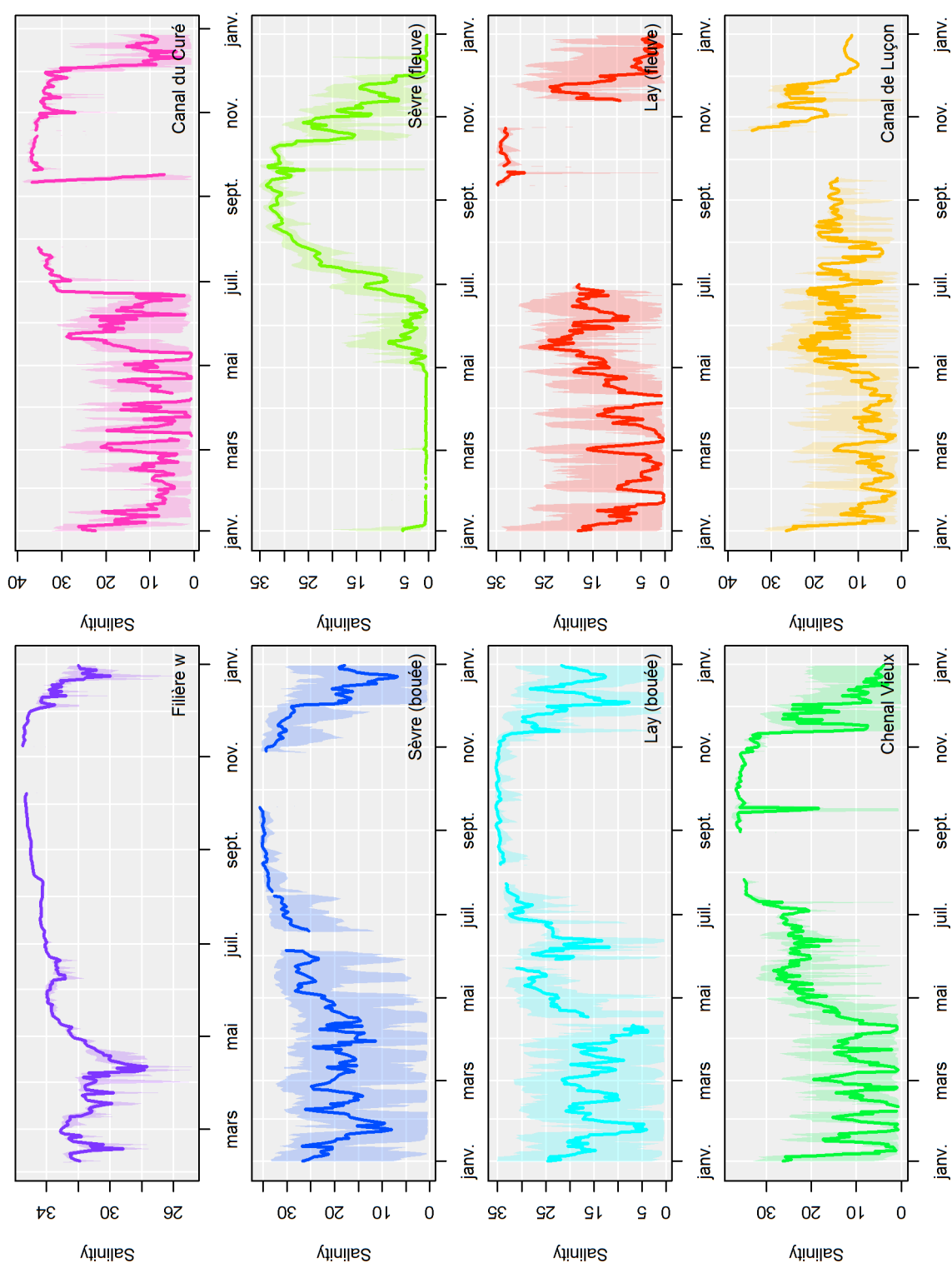


Figure 5 : Evolution des salinités moyennes journalières (ligne pleine) et des indicateurs de dispersion intra-journalière (quantiles 2.5 et 97.5 « intervalle transparent »).

Tableau 1: Statistiques générales sur les séries temporelles de température : minimum et maximum annuels des températures moyennées à la journée et amplitude médiane, minimum et maximum des températures intra-journalières.

Station	Between days			Intraday	
	Annual daily min.	Annual daily max.	Seasonal amplitude	Intraday amplitude min.	Intraday amplitude max.
Filiere	7.0	22.0	15.0	0.1	4.9
Lay_bouée	3.1	25.1	22.0	0.5	6.1
Sevre_bouée	3.8	25.8	22.0	0.4	5.7
Sevre_fleuve	3.6	26.9	23.2	0.0	9.2
Lay_fleuve	2.6	26.3	23.7	0.0	11.0
Chenal_Vieux	2.1	26.7	24.6	0.0	12.3
Canal_Lucon	2.2	27.3	25.1	0.0	17.5
Canal_Cure	1.3	29.2	27.9	0.0	16.2

3.2 Série de salinité

L'évolution des salinités des différentes stations est également marquée par la saison. Bien que les maxima soient bien identifiés en période post-estivale (de septembre à novembre entre 33.8 et 36.9 en moyenne journalière, respectivement pour la Sèvre (fleuve) et pour le canal du Curé (Tableau 2)), les minima apparaissent sur une période plus large pour les stations les plus fluviales (de 0.3 pour la Sèvre (fleuve) et le Lay (fleuve) à 1.3 pour Luçon) : de janvier à mai par des pics plus ou moins répétés, ou de manière stationnaire comme pour la station Sèvre (fleuve) (Figure 5). Pour les stations plus côtières, des pics de dessalure apparaissent mi-février de manière assez synchronisée sur les 3 stations la Sèvre (Bouée) et le Lay (Bouée) (minima annuels respectivement de 7.6 et 3.7) et Filière W, bien que son minima se situe en avril avec 27.6 (Tableau 2).

Tableau 2 : Statistiques générales sur les séries temporelles de salinité : minimum et maximum annuels des salinités moyennées à la journée et amplitude médiane, minimum et maximum des salinités intra-journalières

Station	Between days			Intraday	
	Annual daily min.	Annual daily max.	Seasonal amplitude	Intraday amplitude min.	Intraday amplitude max.
Filiere	27.6	35.5	7.9	0.0	8.8
Sevre_bouée	6.8	35.7	28.9	0.6	32.0
Lay_bouée	3.7	35.3	31.6	0.0	34.0
Canal_Lucon	1.3	34.5	33.1	0.1	28.4
Sevre_fleuve	0.3	33.8	33.4	0.0	33.3
Lay_fleuve	0.3	34.7	34.4	0.0	33.6
Chenal_Vieux	0.6	36.7	36.1	0.0	36.5
Canal_Cure	0.6	36.9	36.3	0.0	38.4

Au niveau des maxima saisonniers, on relève, notamment parmi les stations plus estuariennes, des valeurs supérieures à celle observée à la station Filière W la plus maritime (35.5 en moyenne journalière, Tableau 2) : c'est le cas pour le Chenal Vieux et le canal du Curé avec respectivement 36.7 et 36.9 (Tableau 2).

Les amplitudes saisonnières de salinité permettent de distinguer un gradient terre-mer, où la station Filière W, plus marine, présente une amplitude saisonnière bien plus faible (7.9) que les autres stations (situées entre 28.9 pour la Sèvre (bouée) et 36.3 pour le canal du Curé) (Tableau 2). Comme pour la température, des journées présentant peu de variation de salinités (de 0 à 0.6) sont observées en 2018, quelle que soit la station (Tableau 2). Ces journées se situent essentiellement en été où les apports en eau douce sont les plus faibles. Les maxima d'amplitudes intra-journalières permettent d'illustrer également le gradient terre-mer. Ces maxima apparaissent ici très corrélés aux amplitudes saisonnières (Figure 6) ; La pente de la régression associée à cette corrélation très significative (coefficient de corrélation = 0.96, $p_v = 0.0001$) proche de 1 (slope = 0.97) et la faible ordonnée à l'origine (intercept = 0.54) montrent que les amplitudes intra-journalières peuvent être aussi fortes (voire légèrement supérieures) que les amplitudes saisonnières (Figure 6) ; Le cycle semi-diurne des marées (alternance haute mer/basse mer) semble ainsi jouer un rôle important sur la salinité des masses d'eau suivies, donc sur le mélange eau douce/eau salée.

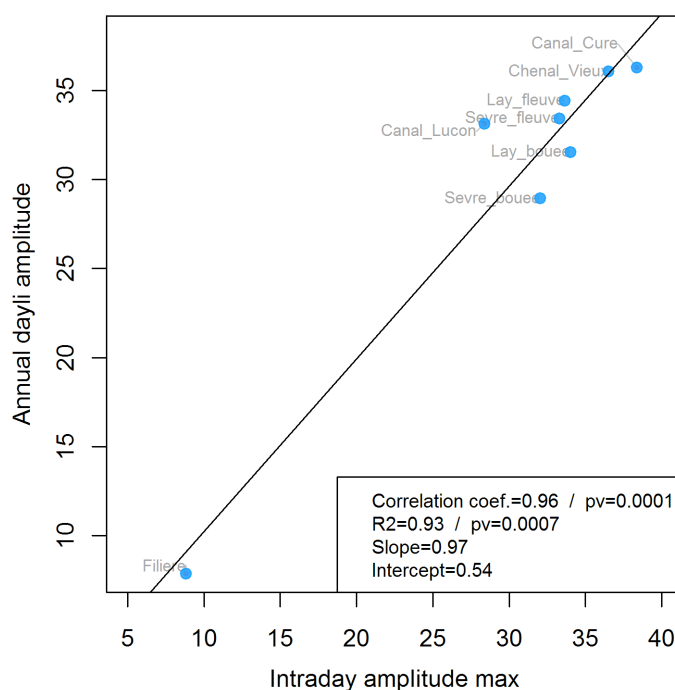


Figure 6 : Relation entre les amplitudes intra-journalières maximum et les amplitudes saisonnières (Tableau 2).

4 Dynamique des apports en eau douce

La dynamique des apports en eau douce sur le continuum terre-mer a pour objectif, (1) d'identifier les liens amont/aval entre les stations (typologie des stations), et (2) d'estimer les éventuels décalages temporels de ces apports entre les différentes stations.

A cette fin, les données de salinités qui caractérisent les mélanges eau douce-eau de mer sont analysées.

Deux périodes ont été identifiées pour permettre de distinguer un éventuel effet saison sur la typologie des stations (le printemps/été caractérisé généralement par de plus faibles apports en eau douce par opposition à l'automne/hiver de plus forts apports). L'identification de ces périodes s'appuie également sur, (1) la présence de fluctuation des apports d'eau douce (périodes où les salinités fluctuent significativement, nécessaires pour l'utilisation des outils d'analyse), (2) sur la disponibilité de données continues (sans présence de données manquantes), (3) sur une période d'au moins un mois pour l'ensemble des stations (Figure 7). Cette durée d'un mois minimum a pour intérêt de travailler à minima sur un cycle complet de marée (au sens vives-eaux/mortes-eaux), considérant ainsi la grande majorité des coefficients de marée possibles.

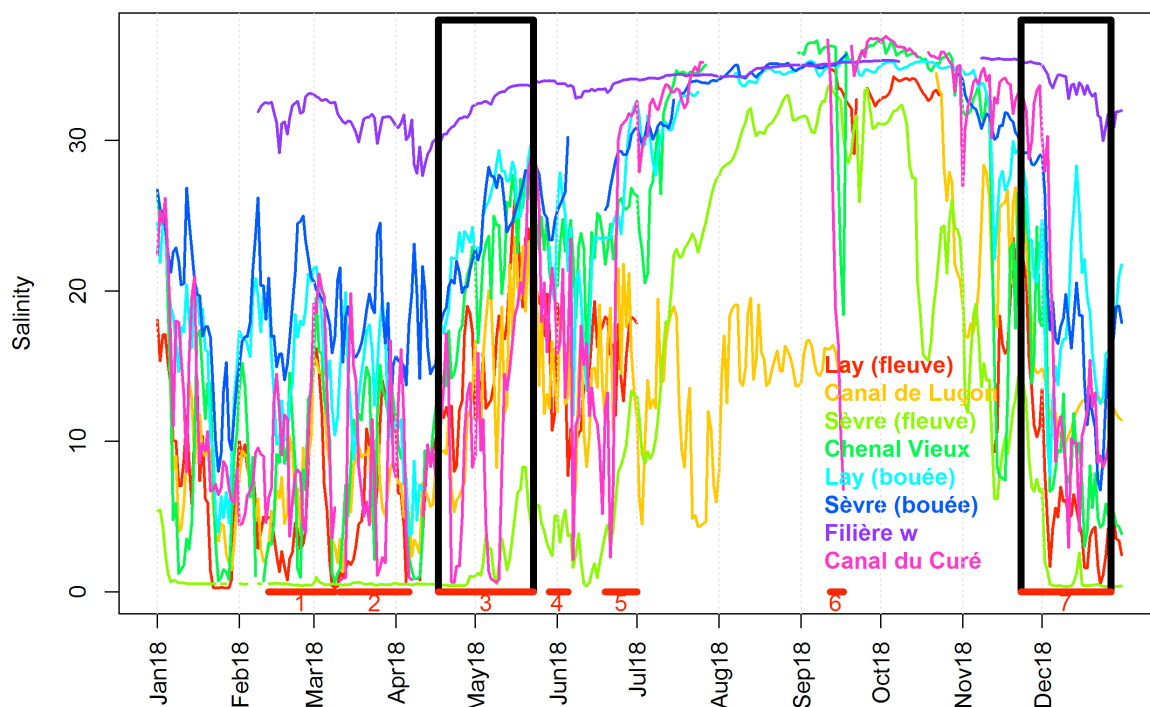


Figure 7 : Évolution des moyennes journalières de salinité observées en 2018 sur les différentes stations suivies dans le cadre du projet AIGUILLON. Les périodes de données communes aux différentes stations sont signalées par un trait rouge à la base du graphique. Les périodes encadrées en noire identifient les périodes considérées ensuite.

4.1 Description des périodes considérées et transformation des données

La première, la période 3 ou P3 (Figure 7) s'étend du 17 avril au 23 mai 2018 (semaines 16 à 21). Durant cette période, les salinités tendent globalement à l'augmentation (Figures 7 et 8), bien qu'au début de nombreuses stations (principalement estuariennes) sont caractérisées par des fluctuations importantes illustrant l'effet d'apports significatifs en eau douce (Figure 8).

Sur cette période, le gradient de salinité entre les stations (de la Sèvre (fleuve) à Filière W, Figure 8 b) permet de distinguer :

- la station Filière W dont la salinité est de 32.5 (médiane),
- un groupe de trois stations (Chenal Vieux, Sèvre (bouée) et Lay (bouée)) dont la salinité est située entre 22.1 et 24.9 (médianes),
- un groupe de trois stations (canal du Curé, canal de Luçon et Lay (fleuve)) dont la salinité est située entre 11.5 et 16.8 (médianes),
- et la station Sèvre (fleuve) dont la salinité est de 1.2 (médiane).

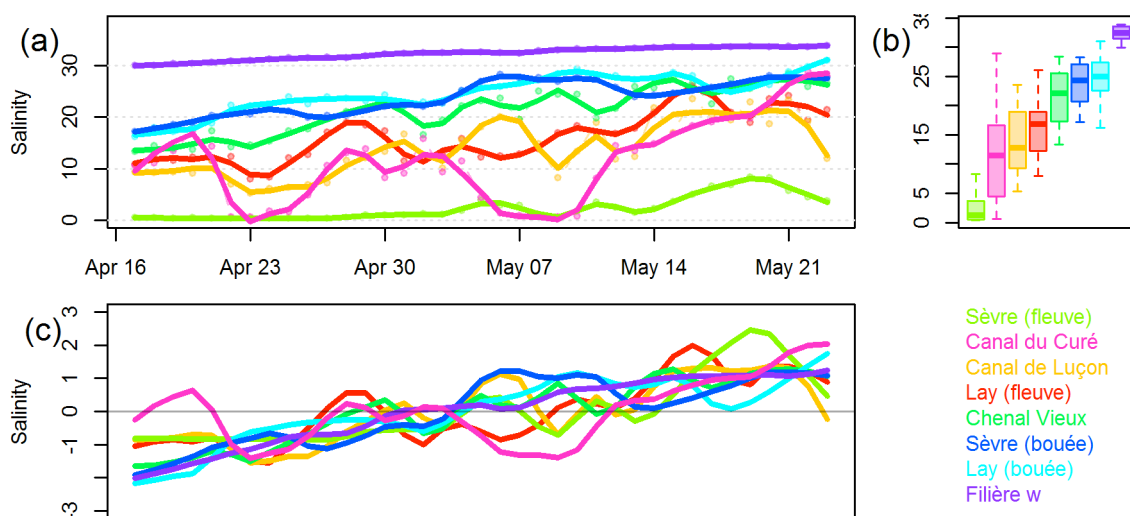


Figure 8 : (a) Évolution des moyennes journalières de salinité observées lors de la période 3, P3, (du 17 avril au 23 mai 2018) : moyennes journalières initiales (calculées à partir des données mesurées) illustrées par des points reliés de traits fins et moyennes journalières lissées représentées par des courbes continues. (b) Distribution des valeurs de salinité rencontrées entre le 17 avril et le 23 mai 2018 sous la forme d'un graphique box plot. (c) Évolution des moyennes journalières centrées/réduites et lissées.

La deuxième, période 7 (P7) de la Figure 7, s'étend du 23 novembre au 27 décembre 2018 (semaines 47 à 51) (Figure 9). Elle est marquée par une baisse rapide des salinités, notamment sur les points les plus estuariens (importantes dessalures dont les amplitudes sont comprises entre 5.3 pour Filière W et 30.7 pour le canal du Curé). Cette situation est caractéristique de fluctuations environnementales d'automne conduisant à des niveaux de salinité hivernaux.

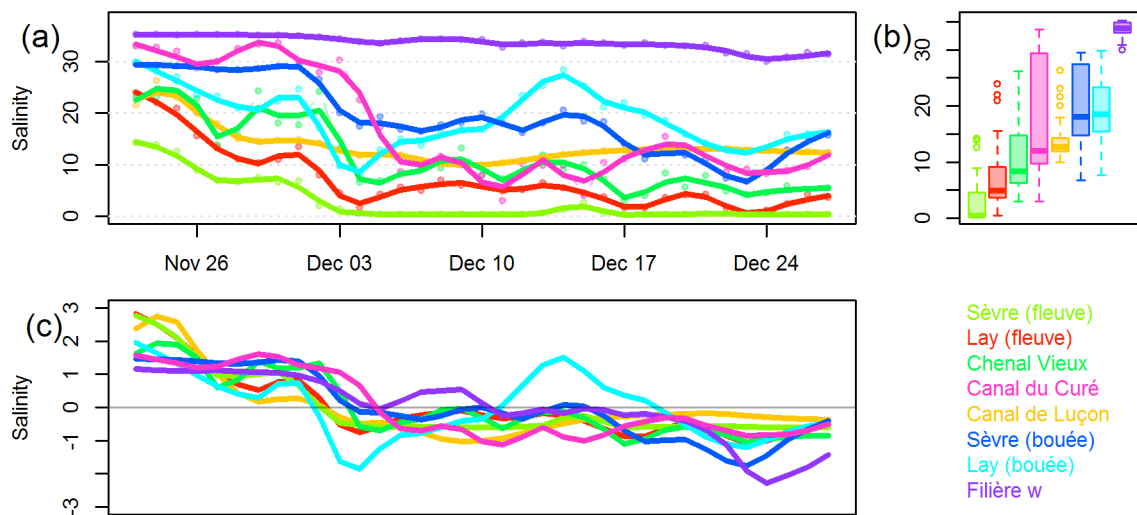


Figure 9 : (a) Évolution des moyennes journalières de salinité observées lors de la période 7, P7, (du 23 novembre au 27 décembre 2018) : moyennes journalières initiales (calculées à partir des données mesurées) illustrées par des points reliés de traits fins et moyennes journalières lissées représentées par des courbes continues. (b) Distribution des valeurs de salinité rencontrées entre le 23 novembre et le 27 décembre 2018 sous la forme d'un graphique box plot. (c) Évolution des moyennes journalières centrées/réduites et lissées.

Les graphiques (c) des figures 8 et 9, présentés à titre indicatif, illustrent le format de données de salinité utilisé pour les analyses qui suivent. En effet, le type d'analyse choisi s'appuyant uniquement sur la forme des courbes et leurs décalages dans le temps, les données observées (lissées pour limiter un effet lié au bruit des signaux) sont centrées et réduites ce qui permet de s'affranchir des niveaux et de l'amplitude des variations de salinité propre à chaque station. Les niveaux et les variations étant alors "mis à la même échelle" par le centrage et la réduction et permettant ainsi de les comparer entre elles (Figures 8c et 9c).

Au regard des salinités, les deux périodes présentent des différences de niveaux (Figures 8b et 9b). Les salinités sont plus élevées en période printanière (P3) pour la majorité des stations (pour Lay (bouée) où la médiane passe de 24.9 à 18.5 de P3 à P7, pour Sèvre (Bouée) de 24.3 à 18.1, pour le chenal Vieux de 22.1 à 8.4, pour Lay (fleuve) de 16.8 à 4.9 et Sèvre (fleuve) de 1.3 à 0.5), excepté pour la station Filière W qui présente une salinité médiane plus élevée d'une unité en période automnale (de 32.5 en P3 à 33.8 en P7). Les salinités médianes des stations des canaux de Luçon et du Curé évoluent pas ou peu sur les 2 périodes (de 12.7 en P3 et P7, et de 11.5 en P3 à 12 en P7, respectivement). Cependant leur variance (visualisable par la hauteur du boxplot (polygones de couleur respectivement jaune et rose), Figures 8b et 9b) est très variable entre les deux périodes, principalement pour le canal de Luçon où l'interquartile passe de 9.7 en P3 à 2.4 en P7.

Les différences de niveau (médiane des salinités sur chaque campagne) s'expliquent en partie par les apports en eau douce nettement plus importants sur la période automnale (P7) que sur celle printanière (P3), comme l'illustrent les débits hebdomadaires cumulés sur la Sèvre Niortaise (Figure 10). En effet, les cumuls hebdomadaires sur P3 sont généralement inférieurs à 100 m.s^{-1} (à l'exception de la semaine 16) alors que ceux de P7 sont majoritairement au-dessus de 100 m.s^{-1} . Certains débits comme ceux de la semaine 49 s'inscrivent parmi les 25% les plus

hauts rencontrés dans l'historique considéré (le point rouge illustrant la semaine de 2018 au-dessus de la boîte à moustache jaune, Figure 10), voir des valeurs exceptionnelles comme celles de la semaine 51 (point au delà de la "moustache", Figure 10).

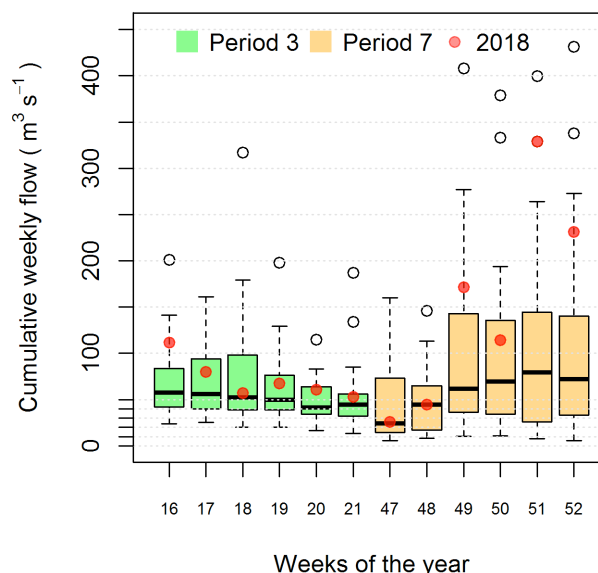


Figure 10 : Positionnement interannuel des débits hebdomadaires (cumulés) rencontrés à la station de mesure La Tiffardière (totale 2) de la Sèvre Niortaise (Données Eau France) en 2018, sur la base de l'historique de 2000 à 2019. Les périodes P3 et P7 sont signalées respectivement en vert et orange.

4.2 Typologie des stations et décalages temporels entre les stations ou groupes de stations

4.2.1 Typologie des stations

L'étude de typologie des stations (liens amont/aval) a pour objectif de les regrouper en s'appuyant sur leur similitude d'évolution dans le temps : ressemblance de la forme des courbes de salinité (analyse basée sur la dynamique, non sur les niveaux de la salinité).

A cette fin, une procédure de regroupement de séries temporelles (Time-series clustering / Aghabozorgi *et al.*, 2015) est utilisée avec une méthodologie qui prend en compte non seulement la forme des courbes mais aussi d'éventuels décalages temporels, grâce à l'utilisation de la distance Dynamic Time Warping (DTW) (Senin, 2008). Ainsi, l'analyse regroupe les stations dont les courbes de salinités fluctuent de la même manière dans le temps, voir à quelques jours de décalages près (Annexe 2).

Les résultats des analyses en coordonnées principales montrent une typologie globalement basée le gradients terre-mer, avec des stations fluviales d'un côté (notamment Sèvre et Lay (fleuve)) et des stations plus côtières de l'autre, comme Sèvre (bouée) ou Filière W (Figures 11 a et 11 b). Néanmoins, des différences entre P3 et P7 existent.

En période printanières P3, la station du canal du Curé présente un positionnement différent des 2 groupes de stations estuariennes et côtières, formant alors un groupe à elle seule (Figure 11 a). Le groupe de stations estuariennes est composé de la Sèvre (fleuve), du Lay (fleuve) et du canal de Luçon ; Le chenal Vieux, le Lay (bouée), la Sèvre (bouée) et Filière W forment celui des

stations côtières (Figure 11 a). En P3, la dynamique des salinités au chenal Vieux apparaît alors plus côtière qu'estuarienne.

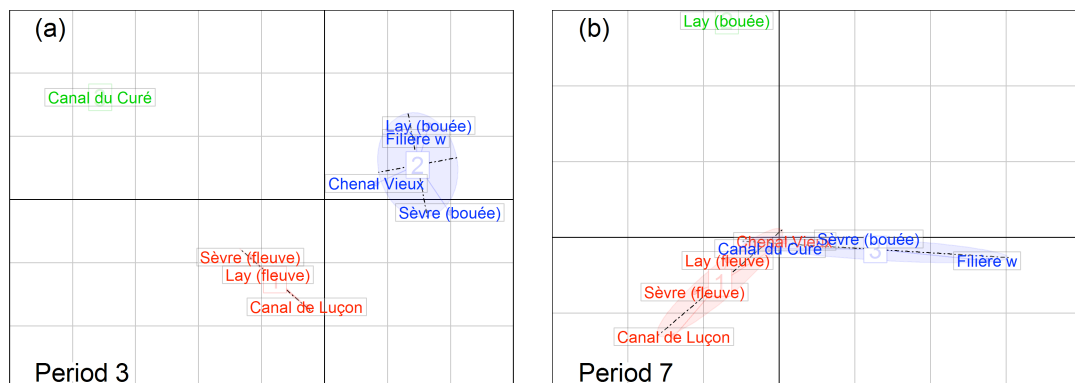


Figure 11 : Typologie des stations illustrée d'après l'analyse en coordonnées principales sur la matrice de distance des moyennes journalières de salinité (centrées et réduites) : 77% et 71% de variabilité représentés sur ces deux axes respectivement pour (a)P3 (printemps) et (b)P7 (automne). Le regroupement en trois classes est réalisé suivant la méthode PAM (Partition Around Medoids) avec un nombre de groupe correspondant à la meilleur adéquation des résultats des tests Silhouette et Calinski/Harabasz (d'optimisation du nombre de groupe).

En fin d'automne (période P7), trois groupes de stations sont également identifiés (Figure 11b). Le premier regroupe les stations estuariennes du canal de Luçon, du chenal Vieux, du Lay (fleuve) et de la Sèvre (fleuve). Le second considère uniquement la station du Lay (bouée). Le troisième comprend les stations du canal du Curé, de la Sèvre (bouée) et de Filière W (Figure 11b). Cette typologie de fin d'automne illustre une réelle continuité entre le groupe de station estuarienne et celui des stations plus côtières par opposition à la station du Lay (bouée) bien distincte.

4.2.2 Décalages temporels entre stations au sein des groupes (intra-groupes) en période printanière P3

L'identification de décalages temporels entre stations d'un groupe est basée sur l'étude des coefficients de régression entre deux séries temporelles lorsque l'on décale l'une d'entre elles d'une unité temporelle, ici le jour (analyse de cross-corrélation / Legendre et Legendre, 2012) : le décalage optimum, considéré alors comme décalage temporel, correspondant au nombre de jours où le coefficient de régression est le plus fort (en positif ou négatif).

En P3 pour le groupe de stations Lay (fleuve), Canal de Luçon et Sèvre (fleuve), seule la série de données de salinités de la station Lay (fleuve) présente de faibles décalages temporels d'1 à 2 jours avec la séries de données de salinités du canal de Luçon et de la Sèvre (fleuve), respectivement. L'effet des apports en eau douce survenant donc plus tardivement au niveau du Lay que sur les 2 autres stations (Figure 12, Annexe 3.1 / Tableau 4). Le bassin versant du Lay apparaît ainsi plus lent que les deux autres sur P3.

Pour le groupe de stations formé de la Sèvre (bouée), le Lay (bouée), Filière W et le chenal Vieux, aucun décalage temporel ne semble se dégager. Ces stations présentent des fluctuations de salinité bien synchronisées en P3 (Figure 13, Annexe 3.1 / Tableau 5). La dynamique des salinités apparaît ainsi très homogène sur la zone centrale de la baie de l'Aiguillon et de l'Est du pertuis Breton.



Figure 12 : Illustration des décalages temporels entre stations du groupe 1 en P3 (printemps) : groupe formé par les stations Lay (fleuve), Canal de Luçon et Sèvre (fleuve).



Figure 13 : Illustration des décalages temporels entre stations du groupe 2 en P3 (printemps) : groupe composé des stations Sèvre (bouée), Lay (bouée), Filière W et chenal Vieux.

4.2.3 Décalages temporels entre stations au sein des groupes (intra-groupes) à la fin de l'automne (P7)

En fin d'automne (P7), le groupe des stations Lay (fleuve), canal de Luçon, Sèvre (fleuve) et Chenal Vieux et celui composé de Sèvre (bouée), Canal du Curé et Filière W ne présentent pas de décalage temporel entre station (de chacun des groupes). Au sein de ce dernier, la dynamique des salinités à la station Filière W semble présente néanmoins un décalage d'1 jour par rapport à celle de la Sèvre (bouée) (Figures 14 et 15, Annexe 3.2 / Tableaux 6 et 7).

L'effet des apports en eaux douce apparaît ainsi très synchronisé sur chaque station au sein de chaque groupe en P7.



Figure 14 : Illustration des décalages temporels entre stations du groupe 1 à la fin de l'automne (période 7) : groupe composé de Lay (fleuve), canal de Luçon, Sèvre (fleuve) et Chenal Vieux.



Figure 15 : Illustration des décalages temporels entre stations du groupe 2 à la fin de l'automne (période 7) : groupe formé par les stations Sèvre (bouée), Canal du Curé et Filière W.

4.2.4 Décalages temporels entre groupes (intergroupes)

Bien que les groupes de stations définissent des entités propres au regard de la forme d'évolution de leur courbe de salinité, l'analyse réalisée ci-avant est reconduite entre les groupes de chaque saison. Afin de ne pas tester toutes les combinaisons possibles, seule la station "centrale" de chaque groupe (dite "médoïde") est analysée (lié à la méthode de partitionnement PAM, Reynolds *et al.*, 1992). Chaque groupe se constituant autour de cette station. Ainsi en P3, les stations du Lay (fleuve) et de Filière W définies comme "médoïde" et celle du canal du Curé (formant à elle seule un groupe) sont prises en compte pour cette analyse intergroupe de décalage temporel. Les stations de la Sèvre (fleuve), de Filière W et du Lay (bouée) sont quant à elles considérées pour la période P7 de fin d'automne.

Durant la période printanière P3, l'évolution des salinités au niveau des stations côtières (représentées par le médoïde Filière) apparaît très bien synchronisée avec celle des stations estuariennes (Lay (fleuve) comme médoïde) : aucun décalage temporel n'étant observé (Figure 16, Tableau 8). Des décalages sont néanmoins observés entre ces 2 groupes et la station canal du Curé : le signal de salinité à Filière étant décalé de +5 jours et celui du Lay de +1 jour (Figure 16, Tableau 8). Ces décalages sont associés à des coefficients de corrélation plus faibles (0.72 pour le lien canal du Curé et Lay, et particulièrement celui du lien canal du Curé et Filière de 0.6, Annexe 3.2 Tableau 8) que la plupart de ceux considérés dans cette étude (généralement autour de 0.8 voire 0.9, Annexe 3) ; ces liens moins forts, et pourtant significatifs, montrent que les courbes de salinités entre les groupes sont moins bien synchronisées qu'en intra groupe (correspondant à l'objectif des Time series clustering) ; les décalages retenues sont ainsi plus empreint aux incertitudes, mais restent néanmoins significatifs.

La différence de dynamique des salinités au canal du Curé, par rapport aux autres stations, pourrait en partie s'expliquer par une gestion plus singulière de l'ouvrage de retenue d'eau que sur d'autres stations estuariennes (représentées ici par le Lay fleuve).



Figure 16 : Illustration des décalages temporels entre groupes de stations en période 3 représentative du printemps.



Figure 17 : Illustration des décalages temporels entre groupes de stations en période 7 de fin d'automne.

Dans tous les cas de figures, le printemps 2018 semble globalement caractérisé par une dynamique homogène des salinités sur la grande majorité des stations.

En P7, aucun décalage temporel n'est observé entre les trois groupes, matérialisés par les stations de la Sèvre (fleuve), du Lay (bouée) et de la Sèvre (bouée) (Figure 17 et Annexe 3.3 / Tableau 9). A l'image du printemps, cette période automnale est caractérisée par une dynamique très homogène des signaux de salinités entre les différentes stations étudiées, marquant ainsi une relative synchronisation de l'effet des apports d'eau douce sur cette zone Baie de l'Aiguillon - Pertuis Breton.

5 Comparaison et discussion des résultats des campagnes de mesures de 2017 et de 2018

Les résultats de 2018 montrent globalement que la zone d'étude est plutôt homogène au regard des fluctuations relatives de salinités sur les huit stations considérées, tant en période printanière qu'en période automnale. Néanmoins, deux principaux groupes de stations se dégagent, l'un en lien direct avec les apports d'eau douce (constitué de stations fluviales de la Sèvre et du Lay et du canal de Luçon, voire du chenal Vieux), et l'autre plus maritime constitué notamment par la Sèvre bouée et Filière W (Tableau 3, P3 2018 et P7 2018). La période automnale P7 de 2017 s'inscrit globalement dans le même schéma : dynamique plutôt synchronisée entre le large groupe de stations en lien direct avec les apports (formé par la Sèvre fleuve, la Sèvre bouée, le Lay fleuve, le chenal Vieux, le Lay bouée et le canal du Curé) et la station Filière W, plus maritime (Tableau 3, P7 2017 ; Polsenaere *et al.*, 2018).

Tableau 3 : Récapitulatif des groupes de stations résultant des analyses de typologie basée sur la dynamique des salinités, par période et par année.

P3 2017	Sèvre fleuve Canal de Luçon Sèvre bouée Canal du Curé	Lay fleuve Chenal Vieux Lay bouée	Filière W
P7 2017	Sèvre fleuve Sèvre bouée Lay fleuve Chenal Vieux Lay bouée Canal du Curé	Canal de Luçon	Filière W
P3 2018	Sèvre fleuve Lay fleuve Canal de Luçon	Canal du Curé	Sèvre bouée Chenal Vieux Lay bouée Filière W
P7 2018	Sèvre fleuve Lay fleuve Canal de Luçon Chenal Vieux	Lay bouée	Sèvre bouée Canal du Curé Filière W

Ces 3 périodes (printemps 2018 et, automne 2017 et 2018) apparaissent ainsi différentes de la période printanière de 2017 où l'on observe des décalages temporels plus moins importants entre les groupes (entre 2 et 10 jours, Polsenaere *et al.*, 2018) : le printemps 2017 est caractérisé par des différences, (1) entre les groupe stations estuariennes et celui de Filière W (station plus marine), et (2) au sein des stations estuariennes par un découpage par bassin versant, celui du Lay et celui de la Sèvre Niortaise (Tableau 3, P3 2017 et Figure 18).

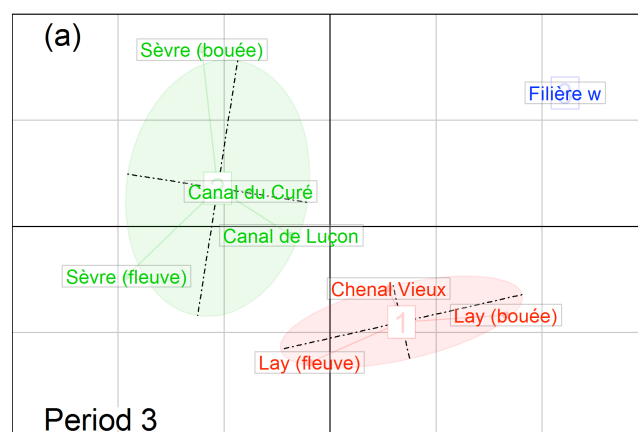


Figure 18 : Typologie des stations illustrée d'après l'analyse en coordonnées principales sur la matrice de distance des moyennes journalières de salinité (centrées et réduites) : 77% et 71% de variabilité représentés sur ces 2 axes respectivement pour P3 (printemps 2017)

Cette différence (entre les périodes printanières de 2018 et automnales de 2017 et 2018, et la période printanière de 2017) est probablement liée (en tout ou partie) aux régimes des fleuves côtiers dont les débits sont variables entre ces périodes. En effet, le printemps 2017 apparaît très clairement comme une période d'étiage contrairement aux trois autres, comme l'illustre la Figure 19 où les débits hebdomadaires cumulés du Lay sont toujours inférieure ou égale à $10\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ sur la période P3 de 2017.

L'automne 2017 n'est pas vraiment une période de crue comme celles de 2018 mais présente en fin de période une augmentation de ces débits (à compter de la semaine 50, débit cumulé $> 10\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), particulièrement visible semaine 52 (débit cumulé de $32\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) (Figure 19). L'hypothèse d'un effet de la gestion des ouvrages retenant l'eau douce pourrait également renforcer cet écart entre les 2 périodes de 2017. En effet, la période printanière est plus généralement associée à des retenues d'eau pour pallier à l'étiage estival, contrairement à la fin de l'automne où l'on ne cherche plus à retenir l'eau douce.

L'analyse de ces quatre périodes sur 2017 et 2018 montre que la zone d'étude est très réactive vis-à-vis des apports d'eau douce dès lors qu'ils sont suffisants. Il apparaît néanmoins que la période d'étiage P3 de 2017 est par opposition beaucoup moins réactive et laisse place à une configuration bien plus dépendante de chaque bassin versant, particulièrement celui du Lay et de la Sèvre Niortaise.

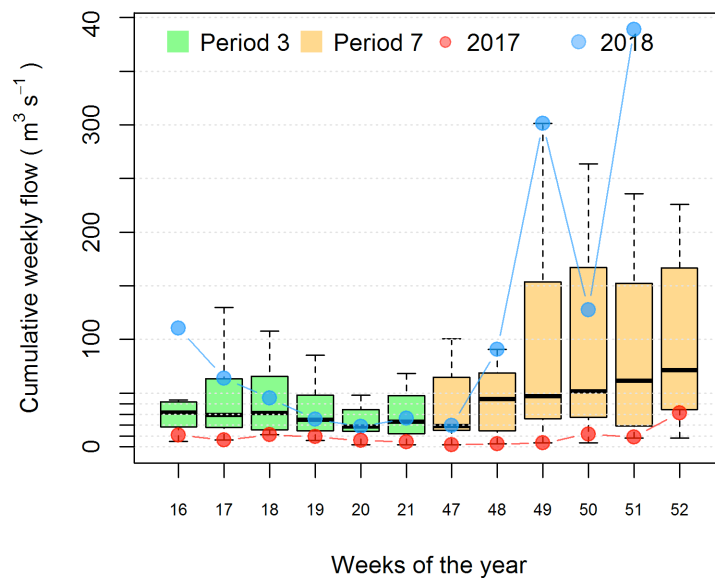


Figure 19 : Positionnement interannuel des débits hebdomadaires (cumulés) observés sur le Lay à Mareuil-sur-Lay-Dissais (Données banque HYDRO eaufrance) en 2017 (points rouges) et en 2018 (points bleus), sur la base de l'historique disponible illustré par les boxplots (P3 et P7 signalées respectivement en vert et orange).

Outre ce constat général à l'échelle de la zone d'étude (fonction de la période d'étiage ou crue), certaines stations présentent des singularités. Les décalages temporels significatifs observés à la station du canal de Luçon en fin d'automne 2017 (+5 à +6 jours d'avance par rapport aux autres secteurs, Polsenaere et al., 2018) pourrait faire également l'objet de liens avec la gestion des ouvrages de retenue d'eau douce plus amont.

Les stations du canal du Curé et du Lay (bouée) singulières en 2018 (l'une au printemps et l'autre en automne) présentent soit des décalages temporels, pour la première (Figure 16 : décalage de +1 et +5 jours), soit des fluctuations atypiques de salinités aux regards des autres stations, cas du Lay (notamment un pic de salinité mi-décembre / Figure 9c). Parmi les hypothèses contribuant à expliquer ces singularités figurent les conditions particulières de débits et/ou de coefficients de marée. En effet, une étude récente sur la circulation des masses d'eau du Pertuis Breton (grâce à l'utilisation d'un modèle hydrodynamique, Mars 3D), montre que les débits de la Sèvre Niortaise et l'intensité des coefficients entraînent des patrons spatiaux spécifiques (synonyme de circulations hydrodynamiques particulières) pouvant expliquer le pic plus salé de décembre 2018 (Annexe 4). La station du Lay (bouée) se situant dans une zone davantage caractérisée par des eaux du large (Annexe 4, Figure 23 / patron spatial). Cette étude montre également des situations où les coefficients de marée peuvent entraîner des circulations hydrodynamiques particulières et très localisées, notamment sur des secteurs associés à ces 2 stations (zones jaunes-orangées de la figure 24 située en Annexe 4).

Bien que la baie de l'Aiguillon présente une structure sédimentaire très mobile, induisant des évolutions rapides et relativement importantes de la bathymétrie de la baie (ne pouvant être prise en compte dans un modèle), une étude de modélisation intégrant l'ensemble des exutoires (fleuves, canaux et chenal) considérés dans ce projet pourrait permettre de confirmer certaines des hypothèses soulevées dans cette analyse. Cette nouvelle étude pourrait également

permettre de tester des scénarios de gestions des retenues d'eau douce, s'appuyant notamment sur l'adéquation débits/coefficients de marée.

L'étude des données de 2018 donne des informations complémentaires à celle des données de 2017 afin d'opérer un choix optimum des stations pour assurer un suivi à haute fréquence en température et en salinité à l'échelle de la Baie de l'Aiguillon, et plus largement du Pertuis Breton. En effet, l'analyse de quatre périodes en 2017 et en 2018 (printemps et hiver), souligne l'importance de l'intensité des apports des fleuves et canaux sur les fluctuations des salinités des stations suivies. On distingue ainsi 2 situations :

- l'une en période d'étiage, où la zone étudiée est divisée en 3 groupes bien distincts, à l'image de la période P3 de 2017 (Tableau 3 P3 2017 et Figure 18) :
 - 1- un groupe dépendant du bassin versant de la Sèvre Niortaise comprenant bien évidemment les stations Sèvre (fleuve) et Sèvre (bouée) mais aussi celle du canal du Curé,
 - 2- un groupe dépendant du bassin versant du Lay composé des stations du Lay (fleuve), du Lay (bouée) et du chenal Vieux,
 - 3- et, un groupe constitué d'une unique station, plus marine, celle de Filière W.
- l'autre en période de crue, où la zone étudiée, bien que plus homogène que celle en étiage, apparaît plutôt divisée en 2 groupes (des stations très singulières distinguant un 3ème groupe), à l'image des résultats sur les mesures de 2018 (Tableau 3 P3 et P7 2018 et Figures 16 et 17) :
 - 1- un groupe constitué des stations les plus avalées des principaux exutoires, La Sèvre (fleuve), le canal de Luçon et le Lay (fleuve) (points illustrés en rouge sur les Figures 16 et 17),
 - 2- et enfin, un groupe plus maritime ou côtier, composé notamment de la station Filière W.

Le croisement de ces 2 situations (s'appuyant sur le dénominateur commun des stations de chaque colonne du Tableau 3, en diversifiant, notamment l'origine des bassins versants, Sèvre et Lay (stations en gras)) amène à converger vers la proposition de choix de stations suivante, avec la prise en compte :

- d'une station apports globaux en période de crue, comme celle la Sèvre (fleuve), garantissant également la prise en compte du bassin versant de ce fleuve en période d'étiage,
- d'une station apport caractérisant le Lay en période d'étiage, comme celle du Lay (bouée), qui permet également de considérer une certaine singularité en période de crue,
- et pour finir, d'une station marine en période de crue et d'étiage, Filière W.

Cette proposition de choix, s'appuyant sur trois stations (Sèvre (fleuve), Lay (bouée) et Filière W), écarte notamment les canaux de Luçon et du Curé qui présentent très vraisemblablement des particularités liées à l'effet prononcé de la gestion des retenues d'eau douce plus amont. Les autres stations écartées, sont caractérisées par de fortes similitudes avec des stations prises en compte. Une éventuelle étude s'appuyant sur la modélisation hydrodynamique de la zone d'étude permettrait d'étayer ce choix de manière plus approfondie.

Références

- Aghabozorgi, S., Shirkhorshidi, A.S., Wah, T.Y., 2015. Time-series clustering—A decade review. *Information Systems* 53, 16–38.
- Calinski, T., and Harabasz, J., 1974. A Dendrite Method for Cluster Analysis, *Communications in Statistics*, 3, 1-27.
- 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/>
- Gower, J. C., 1966. Some distance properties of latent root and vector methods used in multivariate analysis. *Biometrika*, 53, 325–338.
- Kaufman, L., Rousseeuw, P.J., 2009. Finding groups in data: an introduction to cluster analysis. John Wiley & Sons.
- Legendre, P., Legendre, L.F., 2012. Numerical ecology. Elsevier.
- Polsenaere, P., Lannuzel, R., Guesdon, S., Le Moine, O., Soletchnik, P., 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/>
- Reynolds, A., Richards, G., de la Iglesia, B. and Rayward-Smith, V., 1992. Clustering rules: A comparison of partitioning and hierarchical clustering algorithms. *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms* 5, 475–504.
- Senin, P., 2008. Dynamic time warping algorithm review. Information and Computer Science Department University of Hawaii at Manoa Honolulu, USA 855, 1–23.
- Vlachos, M., Lin, J., Keogh, E., Gunopulos, D., 2003. A Wavelet-Based Anytime Algorithm for K-Means Clustering of Time Series, in: *In Proc. Workshop on Clustering High Dimensionality Data and Its Applications*. pp. 23–30.

A Annexes

A.1 Annexe 1 : Nombre quotidien de mesures

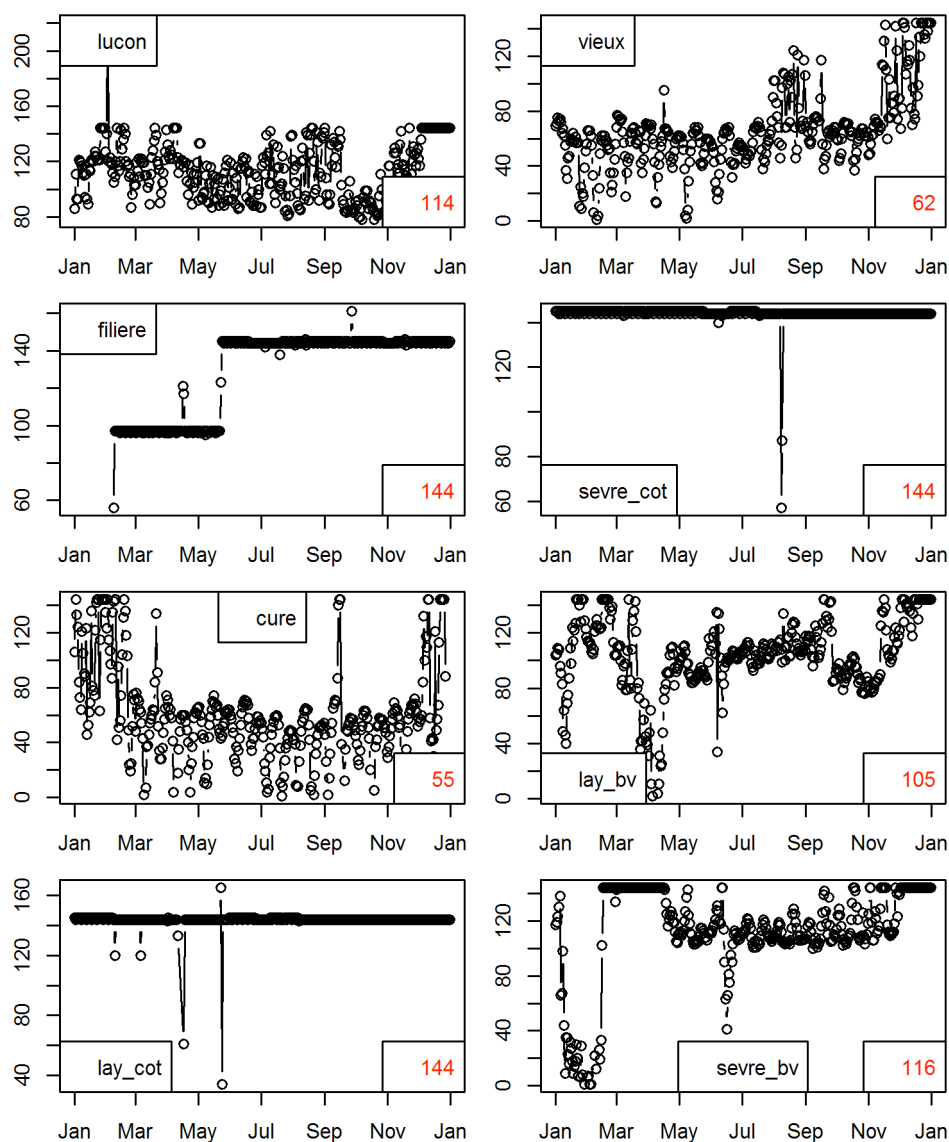


Figure 20 : Évolution du nombre de valeurs mesurées quotidiennement sur chaque station : Médiane des valeurs en rouge (en bas à droite).

A.2 Annexe 2 : Méthodologie de traitement des données

La partie descriptive de cette étude s'appuie sur des statistiques de type minimum, maximum, amplitude, médiane et quartile ou centile (Q25 et Q75).

Pour la typologie des stations basée sur la salinité (centrée et réduite pour ne prendre en compte que les fluctuations sans effet de niveau (pas de prise en compte du gradient de dilution terre-mer)), une analyse en coordonnées principales (PCoA, Gower, 1966) a été sélectionnée pour travailler sur la distance. A cette fin, la matrice de salinités centrées/réduites par station a été transformée en matrice de distance en utilisant l'algorithme Dynamic Time Warping (DTW) décrit dans Senin (2008). Cette procédure vise à rapprocher les séries temporelles par leur forme d'évolution même si de légers décalages temporels existent : ainsi des séries présentant les mêmes fluctuations comme les courbes bleue et verte de la Figure 21 seront très proches contrairement à la courbe rouge dont les fluctuations (la forme générale de la courbe) ne sont pas synchronisées avec celles des deux autres courbes.

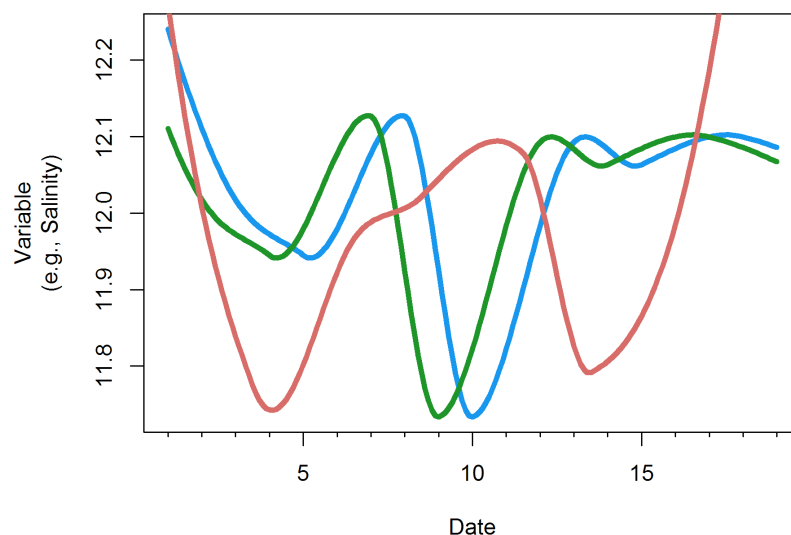


Figure 21 : Exemple de séries temporelles pour illustrer le rapprochement des courbes bleue et verte par différence avec la rouge, grâce à l'utilisation de la distance DTW.

Afin de regrouper les différentes stations en groupes homogènes et significativement distincts, un partitionnement (regroupement) des séries temporelles (Time-series clustering / Aghabozorgi *et al.*, 2015) de salinité basé sur la méthode des K-medoid (Partition Around Medoids(PAM), Reynolds *et al.*, 1992) a été réalisé. Cette méthode permet d'effectuer un partitionnement en k groupes définis à partir d'un point central (l'une des séries temporelles, dite "médoïde"), par différence à la méthode des K-means (plus connue) qui considère un point moyen (ce n'est plus une série temporelle existante mais un calcul qui sert de point central). La méthode des K-medoid a été préférée à celle des K-means (Vlachos *et al.*, 2003) car elle est considérée comme plus robuste que cette dernière (Kaufman et Rousseeuw, 2009). Le nombre de groupes étant prédéfini par l'opérateur, l'analyse de partitionnement a été néanmoins validée par l'estimation de nombres optimum de groupes déterminés grâce aux indices de Dunn, de Silhouette (Kaufman et Rousseeuw, 2009) et de Calinski/Harabasz (Brock *et al.*, 2011)..

Enfin, l'identification des décalages temporels entre stations a été effectuée à partir des coefficients de régression entre deux séries temporelles lorsque l'on décale l'une d'entre elles d'une unité temporelle, ici le jour (analyse de cross-corrélation / Legendre et Legendre, 2012) :

le décalage optimum, considéré alors comme décalage temporel, correspondant au nombre de jours où le coefficient de régression est le plus fort (en positif ou négatif) (Figure 22).

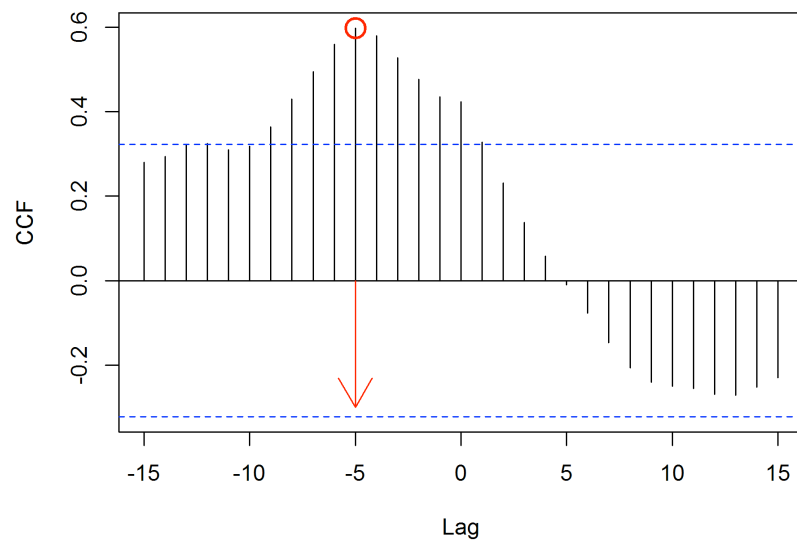


Figure 22 : Sortie graphique d'une analyse de cross corrélation. La corrélation maximum rencontrée ici est de 0.6 entre les deux séries temporelles et lorsque qu'elles sont décalées de 5 unités de temps.

A.3 Annexes 3 : Tableaux de décalages temporels

A.3.1 Au sein des groupes en période printanière

Tableau 4 : Décalages temporels (en jour) entre stations du groupe 1 accompagnés des coefficients de corrélation (entre parenthèse) pour la période 3 printanière.

	Lay (fleuve)	Canal de Luçon	Sèvre (fleuve)
Lay (fleuve)		1 (0.73)	2 (0.78)
Canal de Luçon	-1 (0.73)		0 (0.85)
Sèvre (fleuve)	-2 (0.78)	0 (0.85)	

Tableau 5 : Décalages temporels (en jour) entre stations du groupe 2 accompagnés des coefficients de corrélation (entre parenthèse) pour la période 3 printanière.

	Chenal Vieux	Lay (bouée)	Sèvre (bouée)	Filière w
Chenal Vieux		0 (0.87)	0 (0.83)	0 (0.88)
Lay (bouée)	0 (0.87)		0 (0.94)	0 (0.91)
Sèvre (bouée)	0 (0.83)	0 (0.88)		0 (0.88)
Filière w	0 (0.94)	0 (0.91)	0 (0.88)	

A.3.2 Au sein des groupes en période de fin d'automne

Tableau 6 : Décalages temporels (en jour) entre stations du groupe 1 accompagnés des coefficients de corrélation (entre parenthèse) pour la période 7 de fin d'automne.

	Lay (fleuve)	Canal de Luçon	de Sèvre (fleuve)	Chenal Vieux
Lay (fleuve)		0 (0.88)	0 (0.96)	0 (0.91)
Canal de Luçon	0 (0.88)		0 (0.93)	0 (0.76)
Sèvre (fleuve)	0 (0.96)	0 (0.93)		0 (0.89)
Chenal Vieux	0 (0.91)	0 (0.76)	0 (0.89)	

Tableau 7 : Décalages temporels (en jour) entre stations du groupe 2 accompagnés des coefficients de corrélation (entre parenthèse) pour la période 7 de fin d'automne.

	Sèvre (bouée)	Filière w	Canal du Curé
Sèvre (bouée)		1 (0.87)	0 (0.83)
Filière w	-1 (0.87)		0 (0.72)
Canal du Curé	0 (0.83)	0 (0.72)	

A.3.3 Entre groupes sur les 2 périodes

Tableau 8 : Décalages temporels (en jour) entre groupes accompagnés des coefficients de corrélation (entre parenthèse) pour la période 3 printanière.

	Lay (fleuve)	Filière w	Canal du Curé
Lay (fleuve)		0 (0.78)	1 (0.72)
Filière w	0 (0.78)		5 (0.6)
Canal du Curé	-1 (0.72)	-5 (0.6)	

Tableau 9 : Décalages temporels (en jour) entre groupes accompagnés des coefficients de corrélation (entre parenthèse) pour la période 7 de fin d'automne.

	Sèvre (fleuve)	Lay (bouée)	Sèvre (bouée)
Sèvre (fleuve)		0 (0.67)	0 (0.82)
Lay (bouée)	0 (0.67)		0 (0.62)
Sèvre (bouée)	0 (0.82)	0 (0.62)	

A.4 Annexe 4 : Analyse par les fonctions empiriques orthogonales (EOF) sur les salinités de sortie de modèle hydrodynamique MARS 3D en période printanière

Les EOF (Empirical Othogonal Function) sont des analyses multivariées spatialisées (dites "ACP spatialisée") très utilisées en météorologie pour synthétiser des séries temporelles de cartes. Cette méthode d'analyse permet de faire ressortir des "patrons" spatiaux (configurations spatiales) s'exprimant dans le temps et expliquant une partie de la variabilité de la zone étudiée.

Les résultats d'EOF qui suivent sont réalisés sur les simulations de salinité* centrées et réduites par maille afin de traduire la connectivité des masses d'eau au travers de la dynamique relative du mélange eau douce/eau salée.

Les résultats de ces analyses (dans l'espace, par des patrons spécifiques (carte de chaque Figure 23 et 24), et dans le temps, par des évolutions de l'expression de ces patrons (graphique sous chaque la carte de chaque Figure 23 et 24) montrent qu'environ 90% de la variance des sorties de modèles est expliquée avec les quatre 1^{er} EOF. La première montrant la dynamique saisonnière (expliquant plus de 65% de la variance), n'est pas illustrée ici. Seules les 2^{eme} et 4^{eme} EOF sont montrées pour leur intérêt avec le sujet traité.

En effet, la 2^{eme} EOF (Figure 23) montre l'importante emprise spatiale de l'effet des apports d'eau douce sur une large zone de la baie de l'Aiguillon vers le centre du pertuis Breton (dans sa partie plus sud) visualisable de bleu à turquoise sur la carte de la Figure 23. Cette zone bleu est en opposition avec une zone jaune à rouge (plus marine) qui pourrait accueillir dans sa limite Est la station Lay fleuve: cette configuration pourrait ainsi expliquer l'augmentation de salinité atypique au Lay bouée en P7 (malgré la période de crue).

Ce "patron" spatial de l'EOF2, comme corrélé temporellement à la dynamique des débits de la Sèvre (corrélation significative de 0.62, $p < 0.01$) (Figure 23, graphique du bas), montre qu'il représente en tout ou partie des apports d'eau douce.

Dans le même esprit, la 4^{eme} EOF présente d'un point de vue spatiale une configuration particulière mettant en opposition une zone Nord Ouest - Sud Est (jaune à rouge) avec des zones bleutées de part en d'autre de cette dernière (Figure 24, carte) ; Cette configuration permettrait également d'alimenter les singularités de la station du Lay bouée en P7, mais également du chenal du Curé en P3. Ce patron spatiale étant lié significativement aux coefficients de marée, il y a lieu de penser qu'ils ont un rôle important dans la circulation des masses dans des conditions particulières (corrélation significative de 0.59, $p < 0.01$) (Figure 24, graphique du bas).

** simulations validées par des mesures in situ à hautes fréquences en 2 points du pertuis Breton (utilisation de différentes métriques de comparaison modèle/observation, notamment coefficient de corrélation (Cor.), écart-type normalisé, le RMSD, le RMSE, pourcentage de l'écart moyen (P. Bias) ou encore l'indice de Willmott 81 et de diagrammes de Taylor illustrant certaines de ces métriques).*

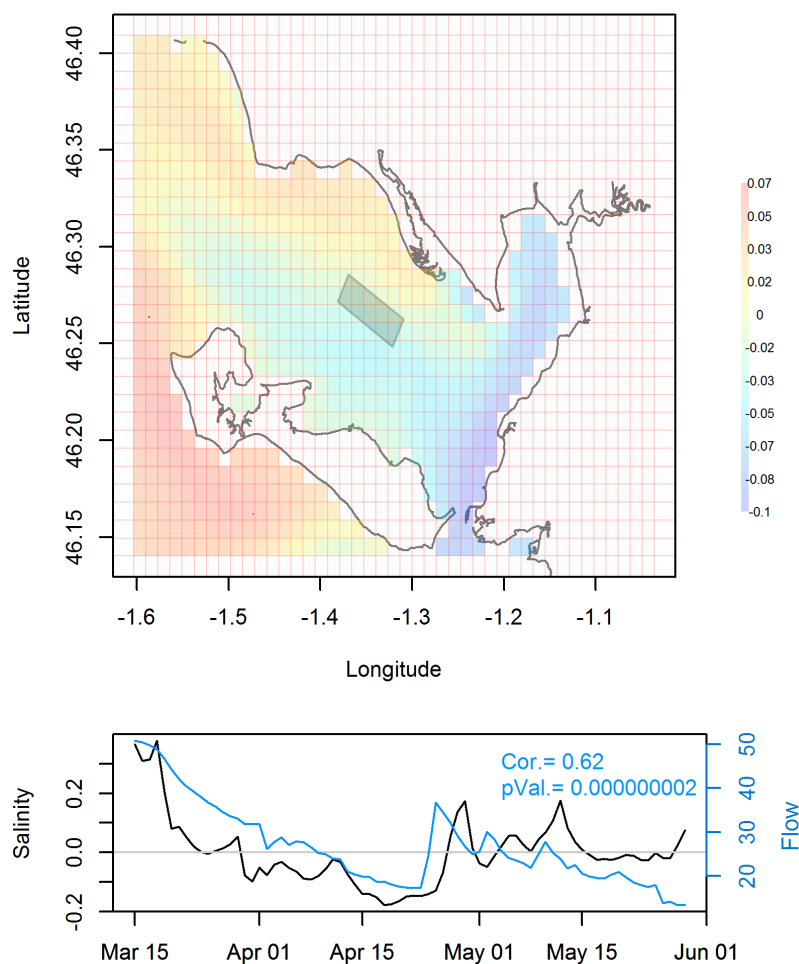


Figure 23 : Analyse EOF 2 (13% de variance) issue de données de salinité agrégées (moyenne), temporellement à la journée et spatialement toutes les 10 mailles, de sorties horaires du modèle MARS 3D : "patron" spatial (a), expression temporelle du "patron" (b). Sur ce dernier graphique (b), les débits de la Sèvre Niortaise sont illustrés en bleu. Figurent également les résultats de corrélation entre l'expression temporelle du patron et ces débits (coefficient de corrélation (Cor.) et la p-value associée (pVal)).

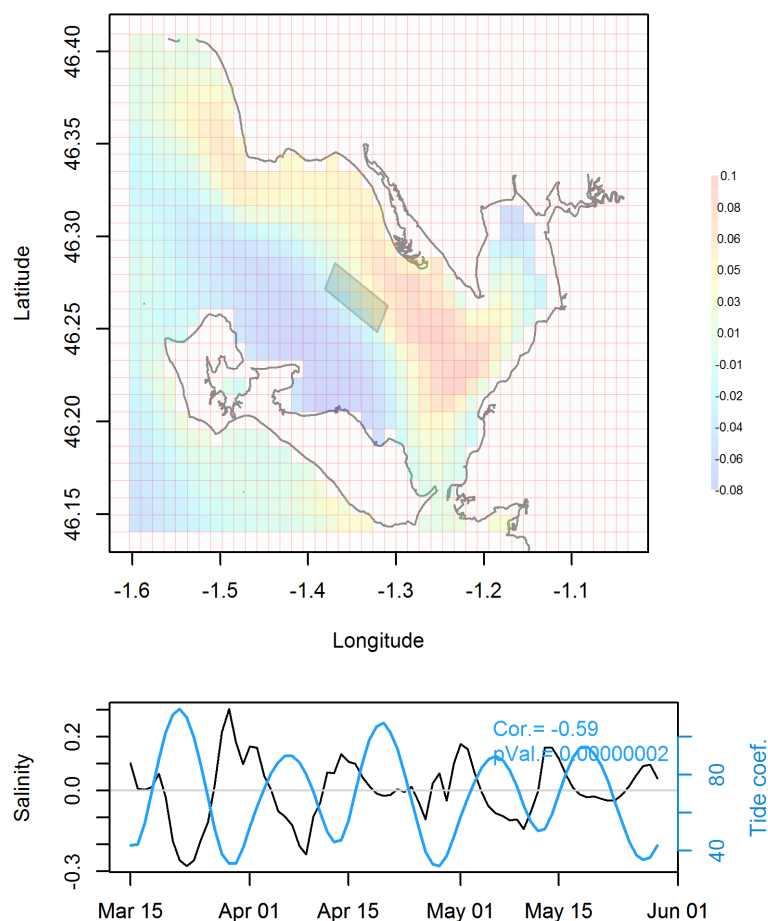


Figure 24 : Analyse EOF 4 (5% de variance) issue de données de salinité agrégées (moyenne), temporellement à la journée et spatialement toutes les 10 mailles, de sorties horaires du modèle MARS 3D : "patron" spatial (a), expression temporelle du "patron" (b). Sur ce dernier graphique (b), les coefficients de marée sont illustrés en bleu. Figurent également les résultats de corrélation entre l'expression temporelle du patron et ces coefficients (coefficient de corrélation (Cor.) et la p-value associée (pVal.)).