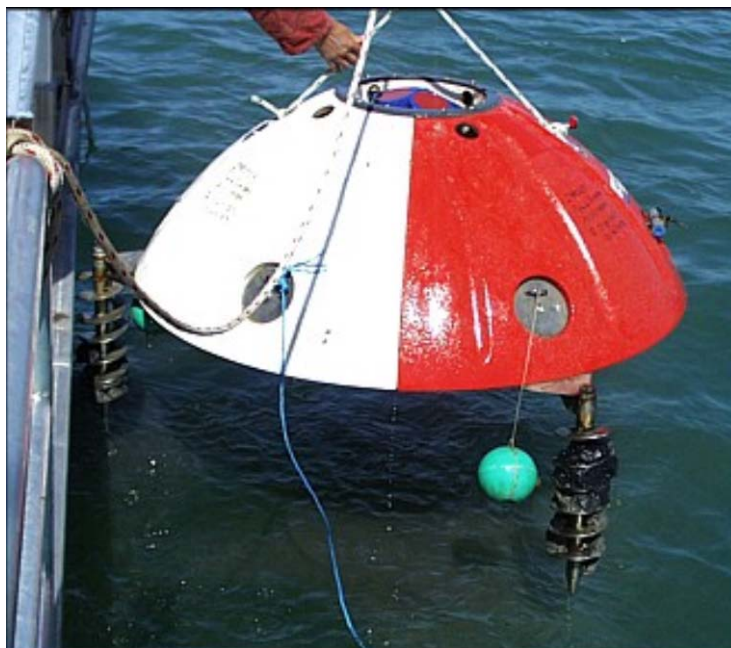


Estimation et caractérisation de la dynamique des flux dans l'estuaire de la Charente



Projet Développement Durable Pêche et Conchyliculture dans les Pertuis Charentais

Remerciements

Les travaux scientifiques présentés dans ce rapport ont été réalisés avec un soutien financier de la Région Poitou-Charentes et du Feder

Estimation et caractérisation de la dynamique des flux dans l'estuaire de la Charente

Fiche documentaire

Numéro d'identification du rapport : R.INT ODE / LER / LERPC 2013 Diffusion : libre : <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/>		date de publication : février 2013 nombre de pages : 31 bibliographie : dans le texte illustration(s) : 22 langue du rapport : FR
Validé par : I. Brenon (Université de La Rochelle) Adresse électronique : isabelle.brenon@univ-lr.fr		
Titre de l'article : Estimation et caractérisation de la dynamique des flux dans l'estuaire de la Charente		
Contrat n° Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/> Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/>		
Auteur(s) principal(aux) : Le Moine, O., Geairon,		Organisme / Direction / Service, laboratoire IFREMER/ODE/LER/LERPC
Encadrement(s) : Béchemin, C.		
Cadre de la recherche : Projet Développement Durable Pêche et Conchyliculture dans les Pertuis Charentais. Financement par la Région Poitou-Charentes (CPER 2007-2013) et par le FEDER.		
Résumé <p>Le besoin de connaissance (et de partage) sur la quantification et la dynamique des apports (de matières particulaires ou dissous) des fleuves dans les écosystèmes côtiers a motivé ce travail. L'objectif est de mettre au point des méthodes de traitements spécifiques de données acquises par courantométrie Doppler pour évaluer les apports des fleuves, décrire leur dynamique au cours du cycle de marée, et caractériser l'estuaire. Le traitement du signal acquis, en complément d'autres données de bathymétrie et de la salinité permet l'estimation d'indices caractéristiques de l'estuaire du fleuve Charente. Les résultats montrent par exemple que des volumes atteignant 40 à 50 millions de mètres cubes sont déplacés à chaque marée en pic de coefficient.</p> <p>Des exemples d'applications sont présentés, avec l'estimation :</p> <ul style="list-style-type: none"> • des apports d'eau douce par le fleuve (proches de 40 millions de m³ en pic, dont à peu près la moitié sont exportés vers les pertuis). Ces résultats sont confrontés aux apports estimés par les débits journaliers moyens (données Hydrofrance); des écarts plus ou moins importants (2 millions de mètres cubes) sont relevés. • du volume oscillant de l'estuaire en fonction du coefficient de marée. L'estimation est faite en fonction des coefficients de marée; il est de l'ordre de 45 millions de mètres cubes pour un coefficient de 110. La relation entre coefficient et volume oscillant est suffisamment robuste ($r^2 = 0,94$) pour en extraire un modèle de calcul. • des temps de résidence, et du trajet parcouru par l'intrusion saline; sur la période considérée des remontées d'eau salée de Port des Barques jusqu'aux alentours de Tonnay Charente (15 Km.) ont pu être estimés. <p>Ces premiers résultats demandent à être confortés par d'autres campagnes de mesures, qui devraient pouvoir permettre d'établir des relations plus robustes et indépendantes de la saison, comme celle du volume oscillant en fonction de la hauteur d'eau par exemple.</p>		
Mots-clés : Estuaire Charente, Flux, volume oscillant, Intrusions salines, temps de résidence		

Table des Matières

ESTIMATION ET CARACTERISATION DE LA DYNAMIQUE DES FLUX DANS L'ESTUAIRE DE LA CHARENTE	1
Résumé	4
Table des Matières	5
2 Campagnes de mesures	9
Bathymétrie	9
Salinité à l'embouchure du fleuve Charente	10
Courantométrie Doppler	11
3 Résultats	11
Profil, section mouillée et Volume	11
Salinité mesurée à Port des Barques	13
Hauteur d'eau	14
Vitesse des courants	15
Débits instantanés	16
Volumes d'eau en jeu	17
4 Exemples d'applications	22
Evaluation quantitative des apports d'eau douce et du volume oscillant	22
Intrusion saline vers l'amont du fleuve et temps de résidence	27
5 Conclusion et perspectives	28
Glossaire	30
Index des illustrations	31

Ont collaboré à ce travail :**Pilotes :** J.L. Seugnet & P Geairon**Acquisitions :**

- **Physicochimie :** S. Guesdon
- **Bathymétrie :** P Geairon

Plongeurs :

- Stéphane Robert (Ifremer/LERPC)
- Florence Cornette (Ifremer/LGP)

Nous remercions la Municipalité de Port des Barques de son aimable concours.

1 Introduction

Les orientations de recherche du Laboratoire Environnement Ressources des Pertuis Charentais (LERPC) dans le cadre du contrat de projets Poitou Charente "Développement Durable des Pertuis Charentais " (DDPC) ont été présentés lors du colloque AMP 2010¹

La pérennité et la robustesse des filières socio-économiques côtières pêche et aquaculture (dont la conchyliculture) passent en premier lieu par une meilleure connaissance des processus régissant la productivité des écosystèmes qu'elles exploitent. Cela nécessite la compréhension des grands processus et flux régissant ces écosystèmes particuliers sous l'influence de facteurs physiques et chimiques, météorologiques et biologiques. L'optimisation de la gestion de l'écosystème peut alors s'exercer, le plus souvent par la réglementation (régulation des stocks de pêche, densités en élevage, spatialisation des élevages en mer, etc...).

La première étape est donc celle de la caractérisation et la compréhension des fluctuations environnementales, et de l'estimation de la capacité du système à soutenir les diverses activités, dont la conchyliculture. Les rendements des élevages dépendent directement du « bon état » de l'environnement ; à ce titre, les élevages de filtreurs sont un élément clé de la surveillance et de la connaissance de l'environnement.

Le principal processus à intégrer et comprendre est celui du mélange des eaux de la terre et de la mer, dans sa variabilité saisonnière. L'écosystème Pertuis fonctionne comme un réacteur biologique, alimenté par des sources terrigènes (fleuves côtiers régionaux) et marines, sous influence des grands fleuves (Gironde et Loire).

Une connaissance approfondie des apports ("intrants") des bassins versants dans l'écosystème est donc nécessaire. La disponibilité de la ressource trophique par exemple dépend non seulement des apports par les fleuves des sels nutritifs nécessaires au développement du phytoplancton, mais également de la capacité du système à le transporter jusqu'aux parcelles conchylicoles, ainsi que de la compétition trophique exercée au cours du voyage. Les flux terrigènes (sels nutritifs comme pesticides ou autres molécules impactant les végétaux marins à un premier niveau) sont donc le fondement de la connaissance nécessaire à une approche pour élaboration d'outils de gestion des différentes ressources en jeu.

Les fortes contraintes sur les quantités et la qualité des eaux douces arrivant dans les Pertuis, les pratiques amont, les besoins en eau potable, la satisfaction des activités côtières, professionnelles ou de loisir et le respect de la biodiversité imposent de plus en plus des modes de gestion communs, et rendent nécessaires la constitution d'outils de partage de la connaissance et de support à la gestion.

¹ Le Moine, O. Bèchemin, C. : Pertuis Charentais et mer côtière : approche intégrée ressource-environnement. Colloque : "De la terre à la mer, de la Gironde aux Pertuis : état des connaissances du système marin 28-29 octobre 2010.

L'élaboration de ces outils d'aide à la bonne gestion de l'environnement littoral et des métiers associés passe donc par :

- *La connaissance des flux des apports terrigènes, et la dynamique de leur mélange avec ceux d'origine marines*
- *La compréhension du fonctionnement du « réacteur Pertuis », avec identification des sources et productions (y compris secondaires) en fonction des saisons.*
- *La traduction de cette connaissance en outils de gestion par l'élaboration d'indicateurs de suivi permettant son intégration par les gestionnaires, en particulier ceux impliqués dans la gestion des apports d'eau douce, en qualité et quantité, souvent source de conflits.*

Les bases de connaissance existantes sur les pertuis sont nombreuses; pour ne parler que de celles acquises par l'Ifremer en terme de qualité des eaux (30 ans de mesures discrètes, 10 ans de haute fréquence), ou de données spatialisées (usages, stocks conchylicoles en élevage ou sauvages etc ...). Elles doivent permettre de valider les estimations des apports fluviaux par la modélisation, et l'évaluation spatiale de l'impact régional des fleuves sur les activités littorales pour parvenir à l'élaboration des outils indicateurs des états et besoins côtiers en terme de gestion des étiages ou des crues par exemple.

Le travail présenté ici concerne essentiellement le développement d'une mise au point méthodologique, d'un outil d'estimation des différents flux (hydriques, en suspension ou dissous) mis à disposition des pertuis par le fleuve Charente. Il n'a pas vocation à anticiper sur la diffusion ou sur les impacts des apports, comme cela a été fait dans d'autres études (Struski C., 2005², Munaron D., 2004³).

Des applications pratiques sont présentées : l'estimation quantitative des volumes d'eau douce apportés au Bassin de Marennes Oléron, celle du volume oscillant de l'estuaire, et celle des distances d'intrusion saline et temps de résidence dans l'estuaire inférieur.

Outre les éléments de connaissance et outils que ce type de démarche peut apporter, elle renseigne aussi sur le mode de fonctionnement dynamique de l'estuaire inférieur, et doit donc permettre d'optimiser les stratégies d'échantillonnage pour la qualification et quantification des apports du bassin versant.

2 Struski, C. Modélisation des flux de matières dans la baie de Marennes-Oléron : couplage de l'hydrodynamisme, de la production primaire et de la consommation par les huîtres. Thèse Université de La Rochelle

3 Munaron, D. l'étude des apports en herbicides et en nutriments par la Charente : Modélisation de la dispersion de l'atrazine dans le bassin de Marennes-Oléron. Thèse Université Pierre et Marie Curie Paris V

2 Campagnes de mesures

La quantification et la qualification des flux transitant dans le fleuve nécessitent plusieurs sources de données : la bathymétrie, la vitesse et le sens des courants pour évaluer les débits, et des mesures physico-chimiques en continu (en particulier salinité) pour qualifier les transits.

Bathymétrie

Diverses campagnes ont été réalisées, par le SHOM (embouchure côté Pertuis), la DDE, et l'EPTB Charente ; l'IFREMER a fait le nécessaire pour combler les vides entre ces différentes campagnes, et obtenir ainsi un jeu complet et continu sur l'ensemble du fleuve et des pertuis (fig. 1). Les techniques utilisées sont présentées et discutées dans plusieurs études : Curti et al., 2010⁴, Massard⁵, et al., 2007, Contrat de projets Etat Région Poitou-Charentes 2007-2013). La difficulté d'acquisition de mesures de bathymétrie en estuaire réside en la présence d'un "bouchon vaseux", dense, qui se déplace au gré de la météo, des marées et des débits du fleuve. A la fréquence de sonar utilisée (210 kHz) celui-ci interfère avec les mesures acoustiques (ultras sons) lors des levés bathymétriques. Il a donc été nécessaire de refaire les campagnes aval jusqu'à obtenir suffisamment de mesures hors influence du bouchon vaseux.

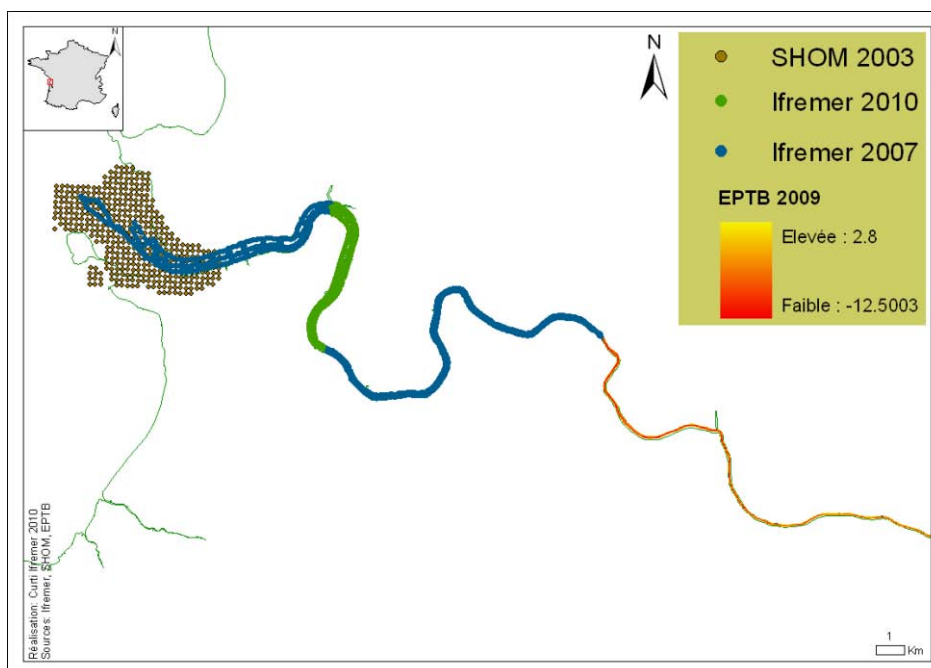


Figure 1 : Levés bathymétriques réalisés en Charente par différents organismes

⁴ Curti C., Geairon, P., Le Moine, O., 2010 : Méthode utilisée pour la mise à jour 2010 de la bathymétrie des pertuis Charentais et du fleuve Charente. Rapport d'avancement des travaux 2010

⁵ Massard E, 2007 : Incertitudes des mesures bathymétriques : évaluation, validation et application sur les levés bathymétriques de la Seudre et sur les bancs ostréicoles du bassin de Marennes-Oléron. Rapport de stage ULR-Ifremer, avancement des travaux 2007.

Les traitements réalisés imposent lors de l'acquisition des tracés "a minima" passant suffisamment près des berges, et contenant suffisamment de transects ainsi que le fond du chenal. La fig. 2 représente le tracé sélectionné pour être le plus favorable en terme de coût/rapport. Ces travaux ont été réalisés dans le cadre du CPER entre 2007 et 2010 pour les acquisitions Ifremer.

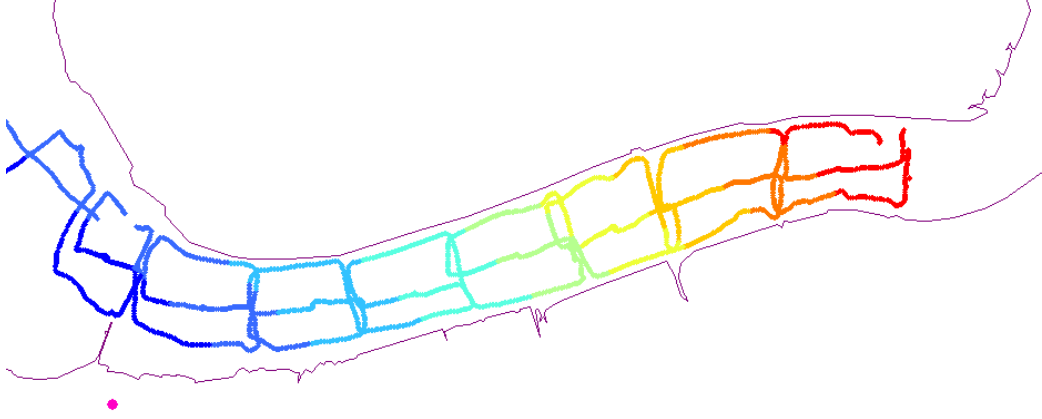


Figure 2 : Détail du tracé du levé au cours de la campagne.

Salinité à l'embouchure du fleuve Charente

Les données de salinité et température au niveau de l'embouchure de la Charente sont acquises en continu depuis une dizaine d'années par le laboratoire. Actuellement, les mesures se font sur la rive droite du fleuve, en face de la cale de mise à l'eau de Port des Barques (fig. 3 A). La transmission radio des données par GSM (fig. 3, B) accroît la réactivité du laboratoire aux événements pouvant survenir sur le fleuve (crues par exemple).

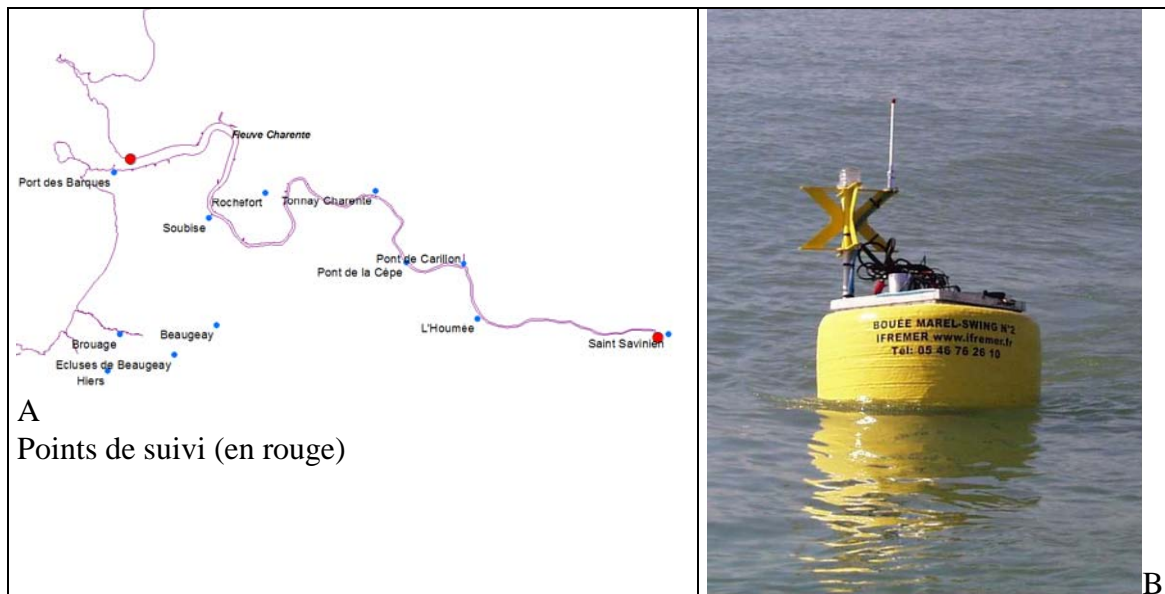


Figure 3 : Localisation des suivis (A) et (B) Bouée Marel-Swing d'acquisition de données physico-chimiques.

Courantométrie Doppler

Une campagne courantométrique a été réalisée en Mars Avril 2006, pour la validation du modèle hydrodynamique MARS 2-3D de Ifremer (Stanisière, 2007⁶). Le courantomètre et son dôme de protection (fig.4) sont posés en plongée, dans des conditions rendues difficiles par le courant et la turbidité très importante du milieu. Des « ancrettes » (vis sans fin) assurent sa stabilité sur le fond. La récupération est également délicate, les plongeurs s'étant retrouvés plusieurs fois pris dans le bouchon vaseux de l'estuaire.... L'appareil mesure par acoustique la vitesse des particules se déplaçant dans l'eau ("effet Doppler"), selon deux vecteurs orientés au Nord et à l'Est. Un capteur de pression mesure la hauteur d'eau au dessus de l'appareil. Les mesures sont faites "par tranches" sur la hauteur d'eau, ce qui permet si besoin est d'analyser les courants en 3 dimensions.

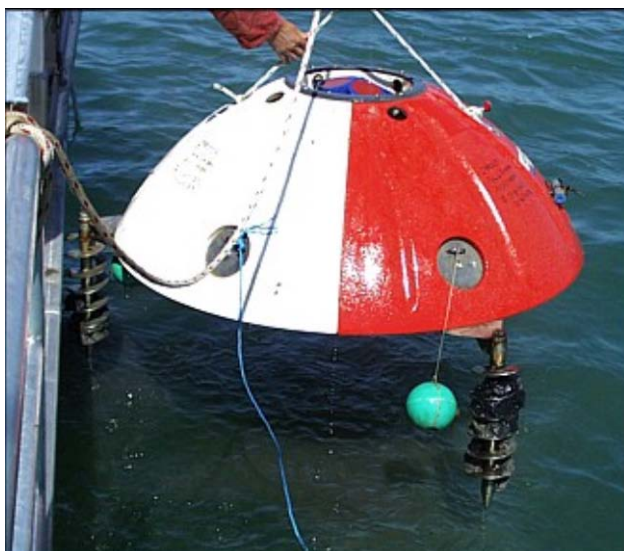


Figure 4 : Mise à l'eau du courantomètre Doppler.

3 Résultats

Profil, section mouillée et Volume

Le premier traitement réalisé sur la bathymétrie est un krigeage. Il s'agit d'un procédé de calcul d'interpolation particulier permettant de passer des points de mesures acquis (fig.2) à une "nappe" continue (Modèle Numérique de terrain, fig.5). Les mesures estimées par calcul complètent celles acquises pour avoir une valeur en tout point.

⁶ Stanisière J. Y. Dumas F., Plus M., Maurer D., Robert S. (2006). Caractérisation des composantes hydrodynamiques d'un système côtier semi-fermé : Le Bassin de Marennes-Oléron.

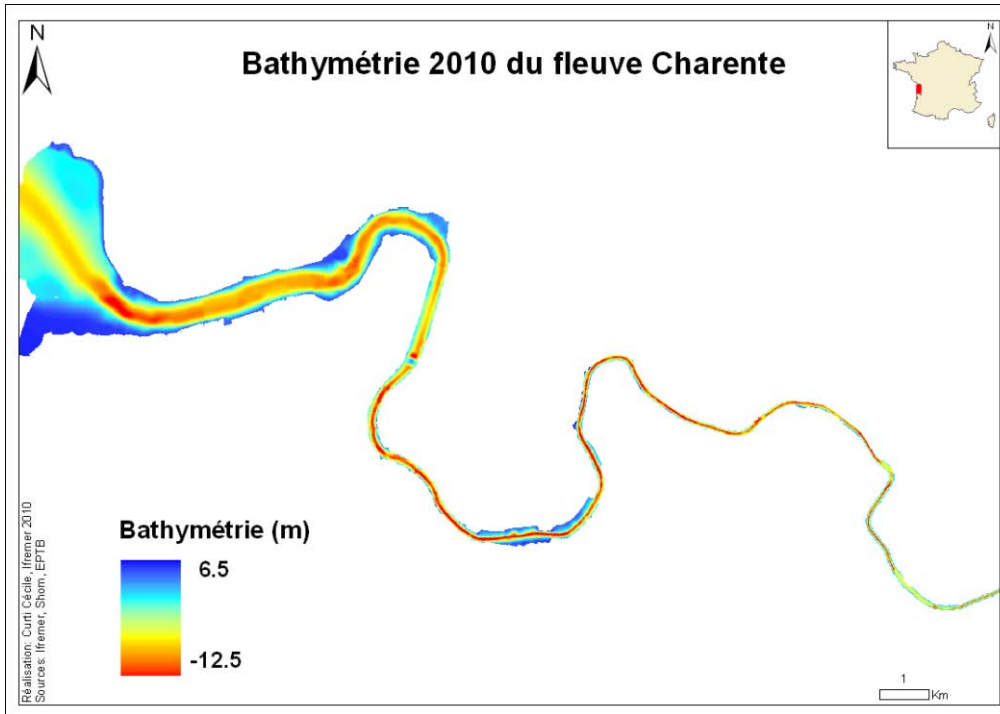


Figure 5 : Modèle numérique de terrain obtenu après Krigeage (résolution de 10m).

Une fois ce travail réalisé, on peut extraire de ce modèle du terrain les valeurs de bathymétrie sur le profil du fleuve situé au droit du site de mesure où est placé le courantmètre (fig.6). Cette étape est nécessaire à l'établissement de la relation liant la hauteur de l'eau (cote altimétrique de la surface libre) à la section mouillée correspondante de l'estuaire (en bleu, fig.6 A.). Cette relation mathématique est utilisée dans la suite des calculs (fig. 6 B).

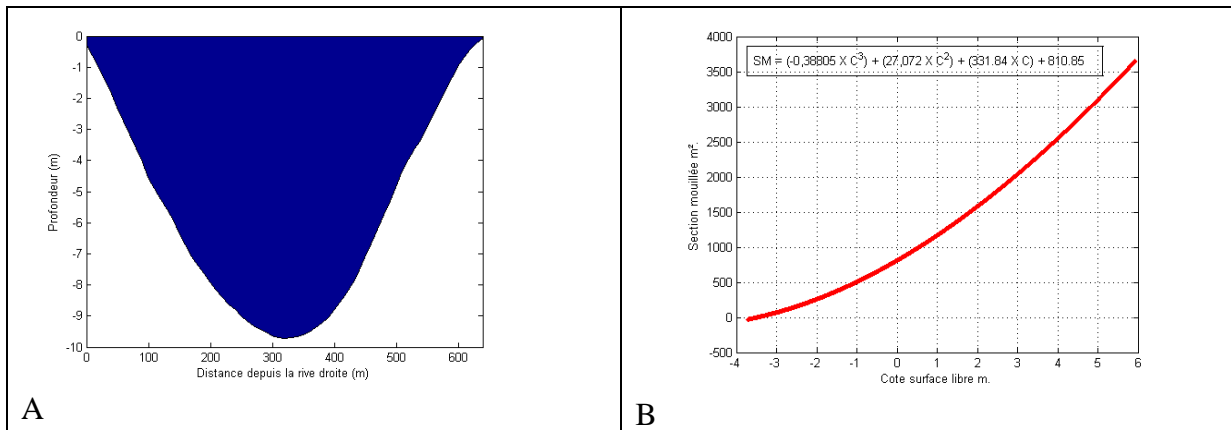


Figure 6 : A) Section du fleuve extraite de la bathymétrie, B) Section mouillée (SM) en fonction de la cote de la surface libre (C).

Ces données sont acquises dans le référentiel niveau moyen des mers (NMM, norme IGN), utilisé par la cartographie à terre et les DGPS. Dans l'embouchure, il présente un écart de 3,54 m. avec le référentiel hydrographique utilisé en mer (norme SHOM), et donc le zéro des plus basses mers (zéro hydrographique), utilisé dans la figure et la suite des traitements. Le modèle d'estimation de la section mouillée en fonction de la cote altimétrique a été évalué.

Un autre élément caractérisant la géométrie du fleuve est son volume, en fonction de la cote altimétrique de la surface d'eau libre. Ce type d'analyse se fait sous SIG, à partir des données traitées de bathymétrie. Ces estimations ont été faites sur la portion estuarienne du fleuve, du barrage de Saint Savinien à Port des barques (fig 7).

Le modèle d'estimation de ce volume en fonction de la cote altimétrique de l'eau a été calculé. Ce volume varie de 10 à 140 millions de m³ entre le zéro hydrographique et la cote 6m (fig. 7). Il est à distinguer du volume oscillant du fleuve. En effet, ces estimations sont faites entre une surface plane et horizontale passant par le zéro et la bathymétrie. Le volume oscillant est calculé entre la bathymétrie et le modèle numérique de ligne d'eau (MNLE), qui lui n'est pas horizontal, et intègre l'aspect dynamique des cotes atteintes au fil du fleuve.

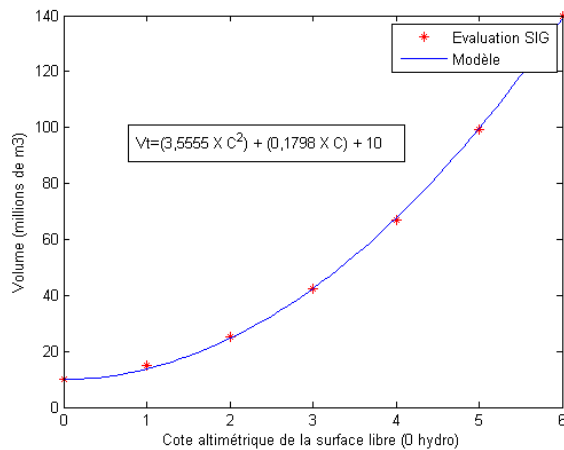


Figure 7 : Volume de l'estuaire du fleuve Charente (Vt) en fonction de la cote de la surface libre (C), référentiel zéro hydrographique)

Salinité mesurée à Port des Barques

La salinité est très variable, contrainte en premier lieu par le débit du fleuve, puis par le coefficient de marée, et enfin par le moment du cycle de marée : revif (coefficients en augmentation), et déchet (en diminution) (fig. 8.) D'autres études (EAUCEA⁷, Robert⁸, ont montré que la salinité moyenne journalière est liée au débit du fleuve, alors que les écarts journaliers (maxi-mini) sont davantage dépendants du coefficient de marée. Ces écarts peuvent varier de 0,6 à 28 soit un différentiel de plus de 25 sur une marée de fort coefficient. Les petits coefficients (< 60), en limitant le transport des masses d'eau, engendrent de moindres variations de l'ordre de 10 à 15, les minima restant plus élevés que lors des basses mers de vives eaux, lorsque le fleuve peut s'écouler sans contrainte marine.

⁷ Eaucea, 2006 : Etude de valorisation de base de données qualité des eaux dans le bassin de Marennes Oléron et le bassin de la Charente. Rapport de contrat Ifremer

⁸ Robert, S. & al. 2000 : Evolution de la température et de la salinité dans l'estuaire de la Charente Fontaine de Lupin. Rapport d'étude Ifremer

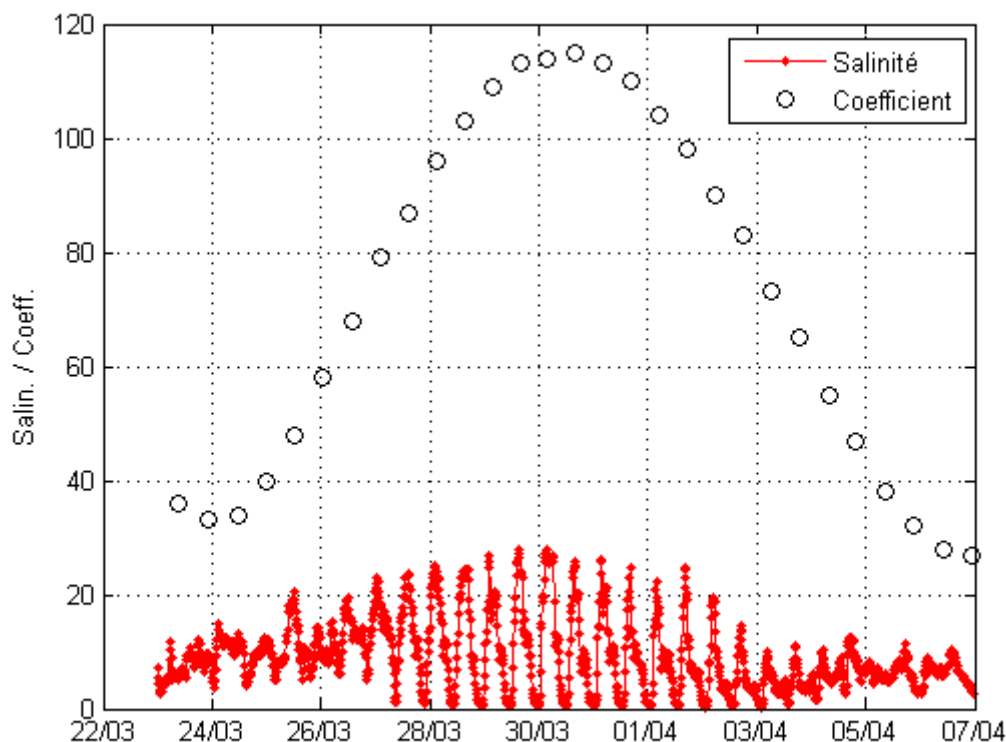


Figure 8 : Salinité mesurée à Fort Lupin (voir figure 3A) lors de la campagne de courantométrie.

Hauteur d'eau

A titre d'information, les données mesurées de hauteurs d'eau sont comparées à celle du marégramme délivré par le SHOM (fig. 9). On note un écart, de l'ordre de 40 cm, entre les deux courbes : plusieurs facteurs peuvent influencer la cote atteinte par l'eau :

- **la marée barométrique** : effet de la pression atmosphérique et des vents sur les cotes atteintes (plus élevées en dépression). Cet effet n'est pas pris en compte dans la courbe « SHOM » figure 9 , mais il est mesuré par le capteur pression du courantomètre.
- **La dynamique du débit d'eau douce** du fleuve peut engendrer une "sur cote".
- **Les contraintes géomorphologiques** de la zone peuvent également provoquer une sur cote ; l'estuaire en entonnoir contraint la masse d'eau qui y pénètre.

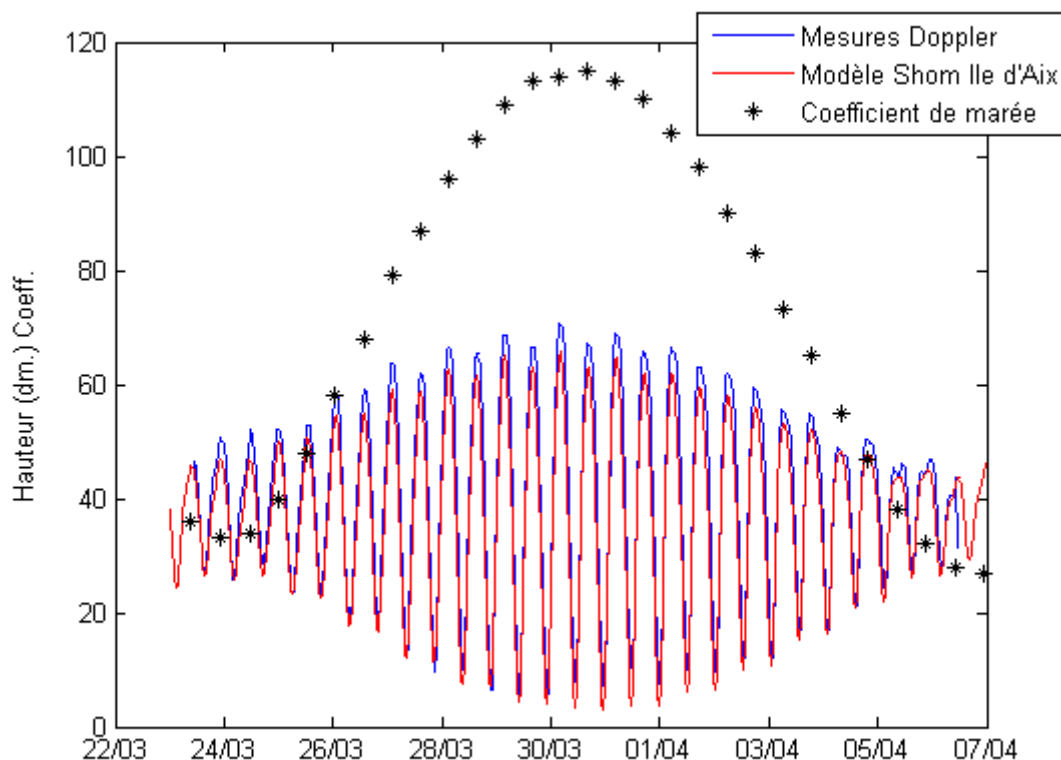


Figure 9 : Hauteur d'eau (mesures et modèle SHOM) et coefficients de marée.

Vitesse des courants

La vitesse du courant (cm/s) oscille autour du zéro (fig 10). Les heures de pleines et basses mers se situent alternativement sur l'axe horizontal, la vitesse du courant passant par zéro à l'inversion de la marée. Par convention, les courants de flot sont positifs, ceux de jusant négatifs.

L'évolution de la vitesse moyenne du courant sur la colonne d'eau varie au cours du cycle de marée. En période de mortes eaux, sur cette campagne, les maxima atteints sont de l'ordre de 50 cm/s. En vives eaux, ils varient autour de 150 -170 cm/s. Ils dépassent le mètre par seconde à partir de coefficients de 70 sur cette campagne. On note qu'ils sont toujours supérieurs en jusant (partie de la courbe inférieure à 0). Ce phénomène est lié au débit d'eau douce qui augmente à ce moment la masse d'eau en déplacement, et conséquemment les vitesses de courant. L'ensemble de la courbe est un peu déséquilibré, les vitesses en période de déchet paraissant, à coefficient égal, légèrement supérieures à celles du revif.

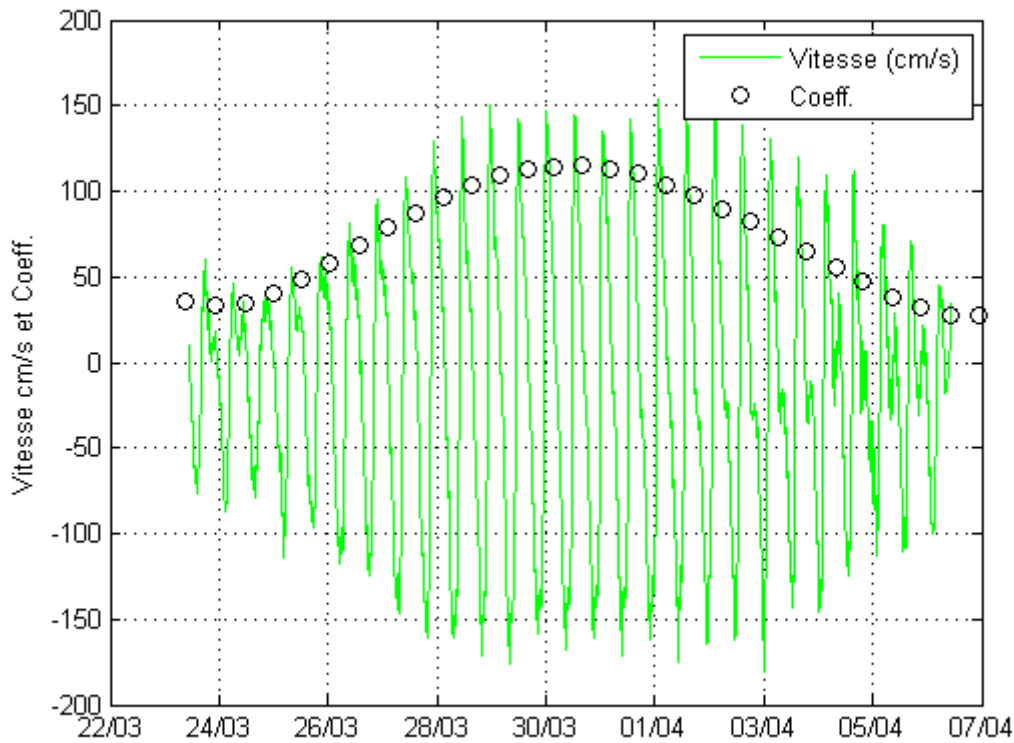


Figure 10 : Evolution de la vitesse moyenne du courant en fonction du coefficient de marée.

En début et fin de cycle, des perturbations de signal sont visibles, pouvant être liées à des turbidités très importantes, éventuellement à relier à la présence du bouchon vaseux.

Débits instantanés

Ils sont le résultat du produit de la section mouillée (en m^2) par la vitesse du courant (en m/s). On obtient donc des débits (m^3 par seconde) estimés à chaque pas de temps (fig.11). Dans cette étude, le pas de temps est de 5 minutes.

Les débits augmentent régulièrement en flot de revif, jusqu'à atteindre un maximum avant les plus forts coefficients. Ils décroissent beaucoup plus lentement quand les coefficients diminuent.

Lors des plus forts coefficients (114-115), les débits instantanés peuvent atteindre environ $3500 m^3$ par seconde en pic. Ces niveaux sont atteints à mi marée.

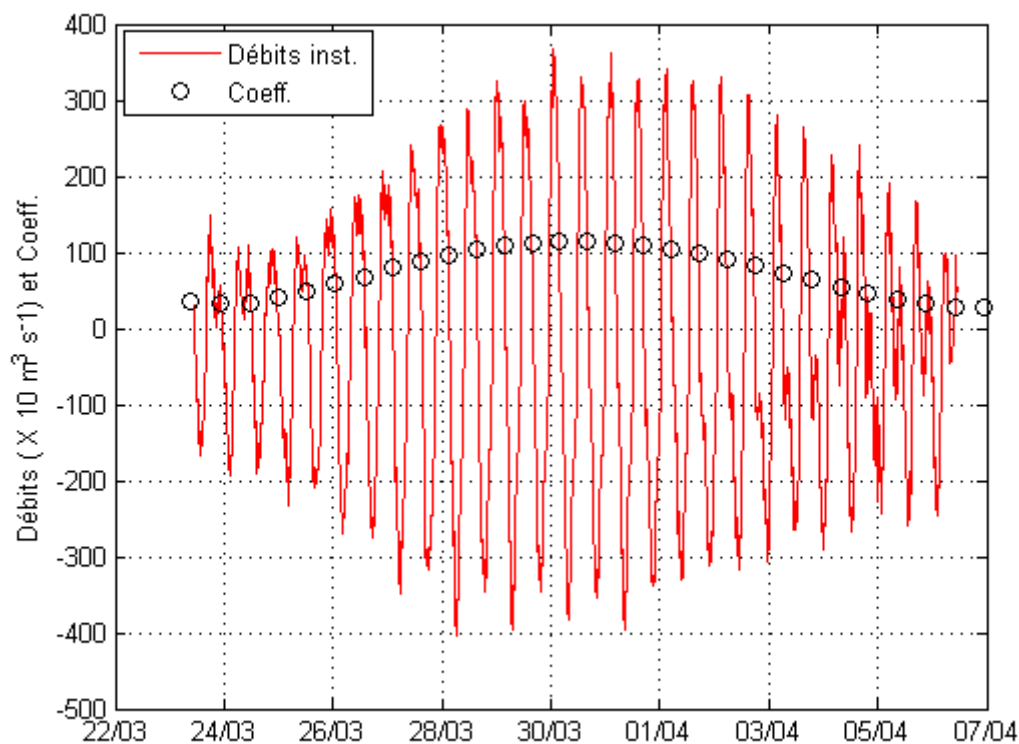


Figure 11 : Débits instantanés et coefficients de marée au cours de la période d'acquisition (positifs en flot).

Volumes d'eau en jeu

Les volumes instantanés sont ensuite obtenus par le produit des débits par le pas de temps (fig. 12). Les volumes et débits sont en phase, et les pics correspondent à la valeur moyenne de la section mouillée. Cela signifie que c'est bien à la mi marée de jusant que les débits et volumes sont les plus élevés.

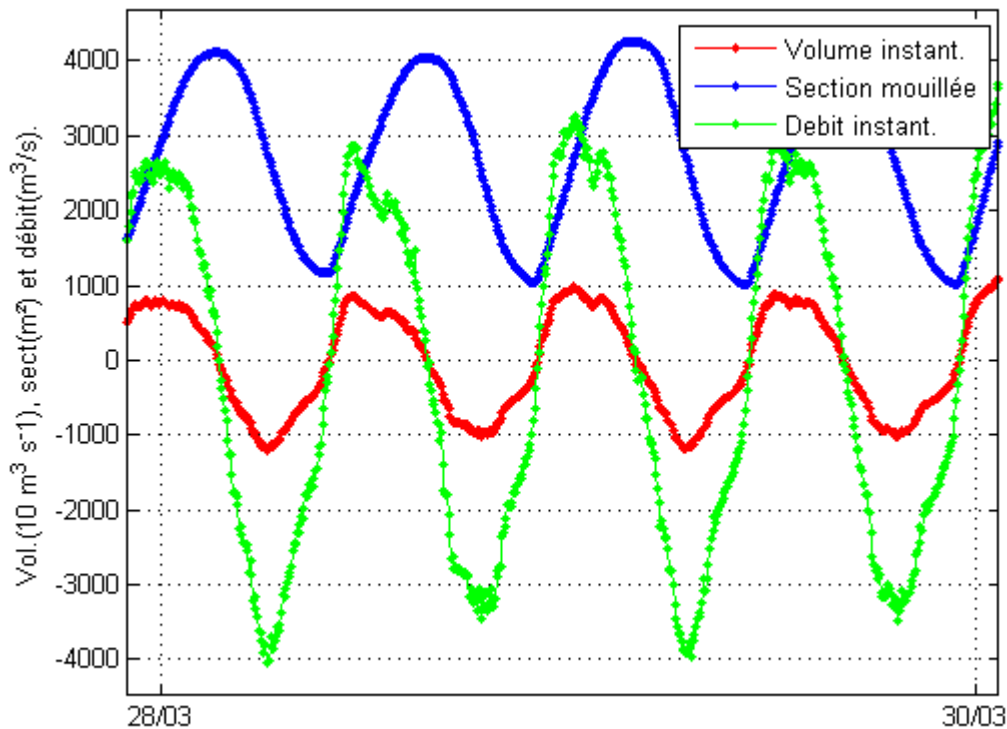


Figure 12 : Evolution comparée des débits et volumes instantanés en relation avec la section mouillée sur 2 jours.

L'objectif de ce travail étant la mise au point méthodologique de l'évaluation quantitative des apports du bassin versant de la Charente vers les pertuis par le fleuve, il était nécessaire d'arriver à distinguer la fraction du volume total correspondant à de l'eau douce de celle de provenance océanique (fig. 13).

L'hypothèse de départ assume que l'eau océanique est à 35,5 de salinité ; on peut à partir de là déduire la quantité d'eau douce diluée dans l'eau de mer à l'aide de la mesure de salinité. A titre d'exemple, si on mesure une salinité à 20, avec de l'eau qui à l'origine (océan) était à 35,5, la quantité d'eau de mer contenue dans le mélange sera de $20/35,5$ soit 0,56 litre d'eau d'origine océanique par litre de mélange, et par conséquent 0,44 litres d'eau douce ($1 - 0,56$).

Globalement, ces courbes de volumes instantanés montrent les phénomènes suivants :

- Les volumes instantanés concernés (courbes vertes et bleues), en flot comme en jusant, sont corrélés aux hauteurs d'eau (courbe noire), et donc aux coefficients de marée
- La salinité (courbe rouge) évolue avec un temps d'avance sur la hauteur d'eau, le maximum étant atteint avant la pleine mer.
- Les volumes d'eau douce de jusant sont toujours plus importants que ceux du flot précédent (courbe verte). La différence est assimilable à l'apport du fleuve au cours de cette marée.
- Les volumes d'eau douce les plus importants sont observés en jusant de début de déchet (31/03 – 01/04, fig. 13 B)

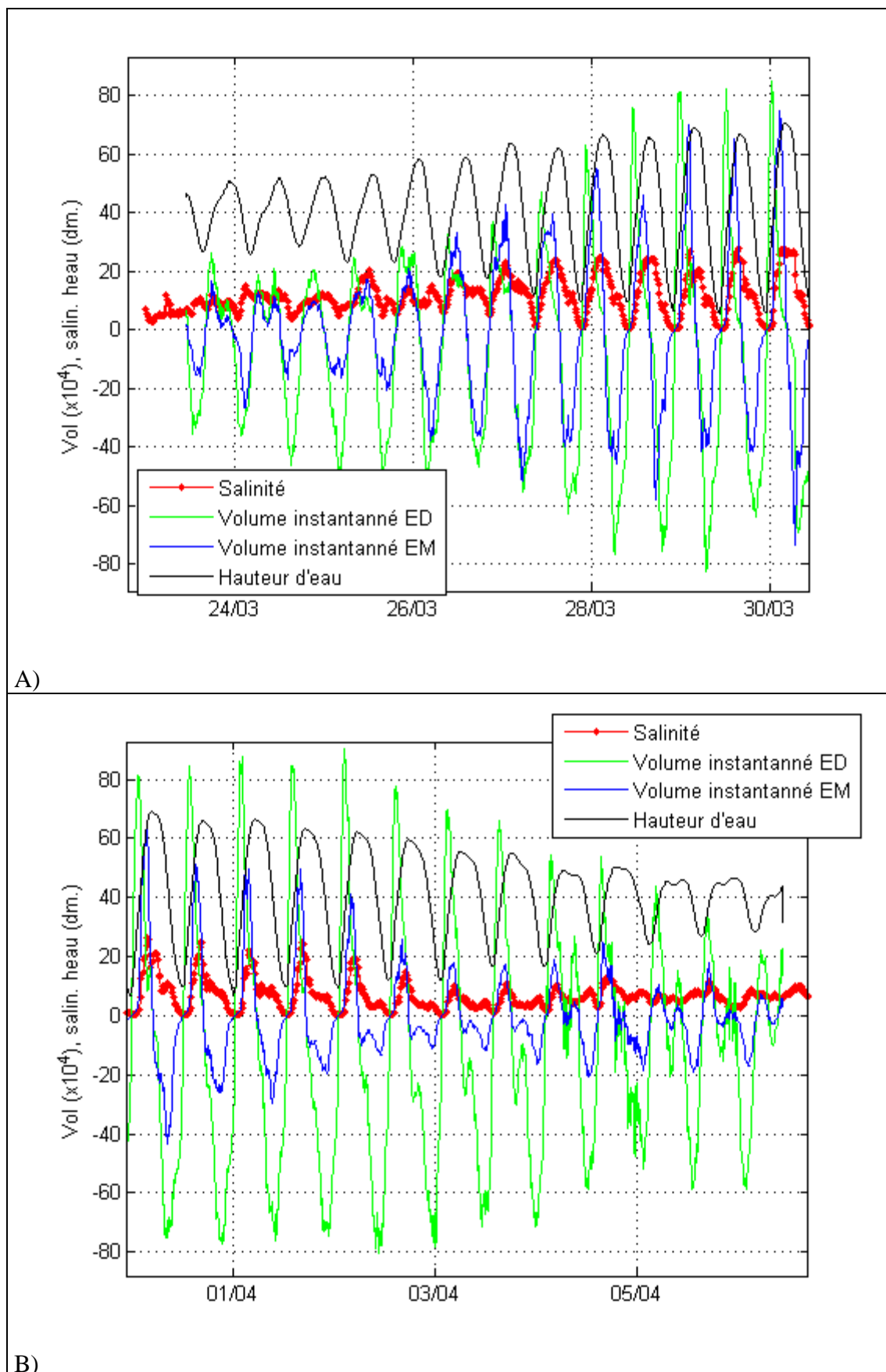


Figure 13 : Volumes instantanés transitant (ED : eau douce, EM eau de mer), en relation avec les hauteurs d'eau et la salinité (A) revif, B) déchet).

En isolant et cumulant les volumes instantanés de flot de ceux de jusant, il est possible d'estimer les volumes cumulés ayant transité sur l'ensemble du cycle de la marée (fig. 14).

Les **volumes totaux** en jeu sont importants, dépassant 40 millions de m³ par marée en pic de flot, et 50 en pic de jusant.

Les volumes cumulés en flot peuvent être assimilés au volume oscillant du fleuve pour ce coefficient là; ils sont augmentés en jusant du débit d'eau douce apporté par le fleuve.

Les **volumes d'eau de mer** sont relativement symétriques sur l'abscisse, ce qui traduit un va et vient de la masse d'eau de mer, et un bilan global proche de 0 (fig. 15 A). Ils passent par une augmentation en période de revif, puis leur proportion dans le volume total diminue très rapidement sur la phase de déchet.

La **dynamique de circulation de la fraction eau douce** du volume total est très différente (fig. 15 B). En premier lieu, elle est dissymétrique sur l'axe des x, les volumes en jusant étant supérieurs à ceux du flot, en lien avec les apports amont. D'autre part, les volumes d'eau douce en flot augmentent de façon significative en période de déchet; les volumes de jusant les plus importants (supérieurs à 40 10⁶ m³ dans la marée) se situant en début de période de déchet (01/04).

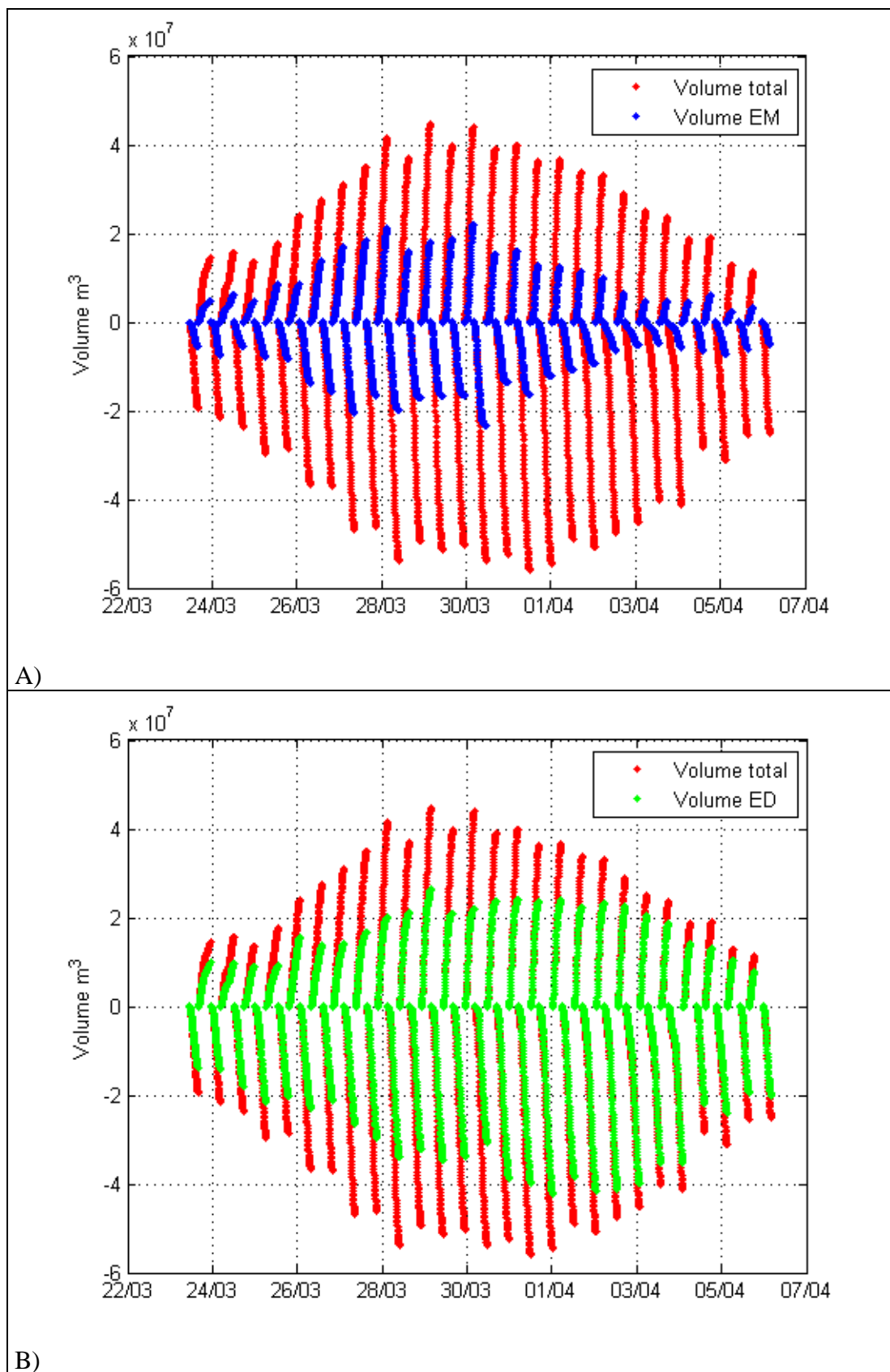


Figure 14 : Volumes circulant par marée : volume total, haut EM : eau de mer et bas ED : eau douce (positif en flot et négatif en jusant).

4 Exemples d'applications

Evaluation quantitative des apports d'eau douce et du volume oscillant

Les bilans sont le résultat, à chaque marée, du volume maximal ayant circulé en flot, et de celui ayant circulé en jusant (fig.15). Ils donnent donc un « état des lieux » toutes les 6 heures. Ils montrent la cinétique d'évacuation de l'eau douce du fleuve (points rouges), qui se fait pour les plus gros volumes à partir de la fin de période de revif. Pendant cette période, la dynamique de marée, en phase montante, bride la descente des eaux douces, qui s'accroissent en amont.

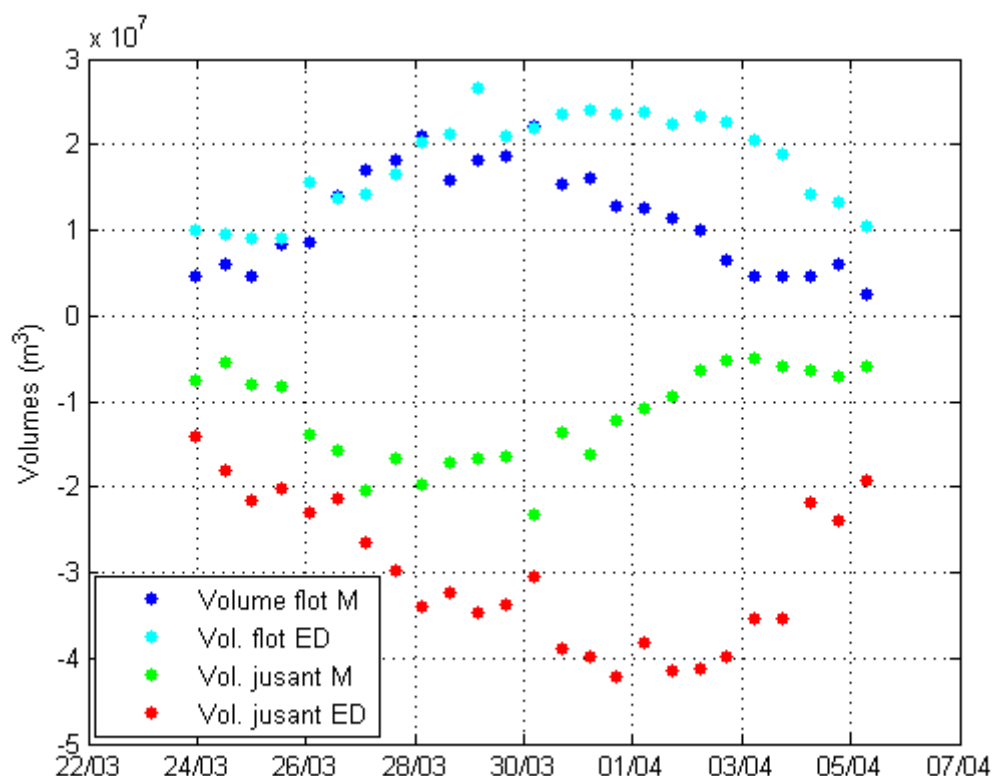


Figure 15 : Bilans comparés des flux par marée. (EM eau de mer, ED eau douce).

Les bilans nets des flux hydriques sont obtenus par la différence, à chaque marée, des flux de flot et de jusant (fig. 16). Ils font un bilan toutes les 12 heures.

Les flux d'eau de mer (EM) oscillent autour du zéro, signifiant qu'il n'y a pas de "consommation" importante d'eau de mer en amont. Cela aurait pu être le cas, par exemple, si des surfaces importantes de marais salés étaient alimentées en amont du point de mesure.

Les volumes d'eau douce mis à disposition du pertuis d'Antioche par marée sur cette période oscillent entre 5 et 8 millions de m^3 en revif, pour se situer entre 15 et 20 millions en début de déchet pour redescendre à 6 ensuite. Cela illustre bien l'effet de rétention produit par la dynamique de marée sur les eaux terrigènes en phase de revif.

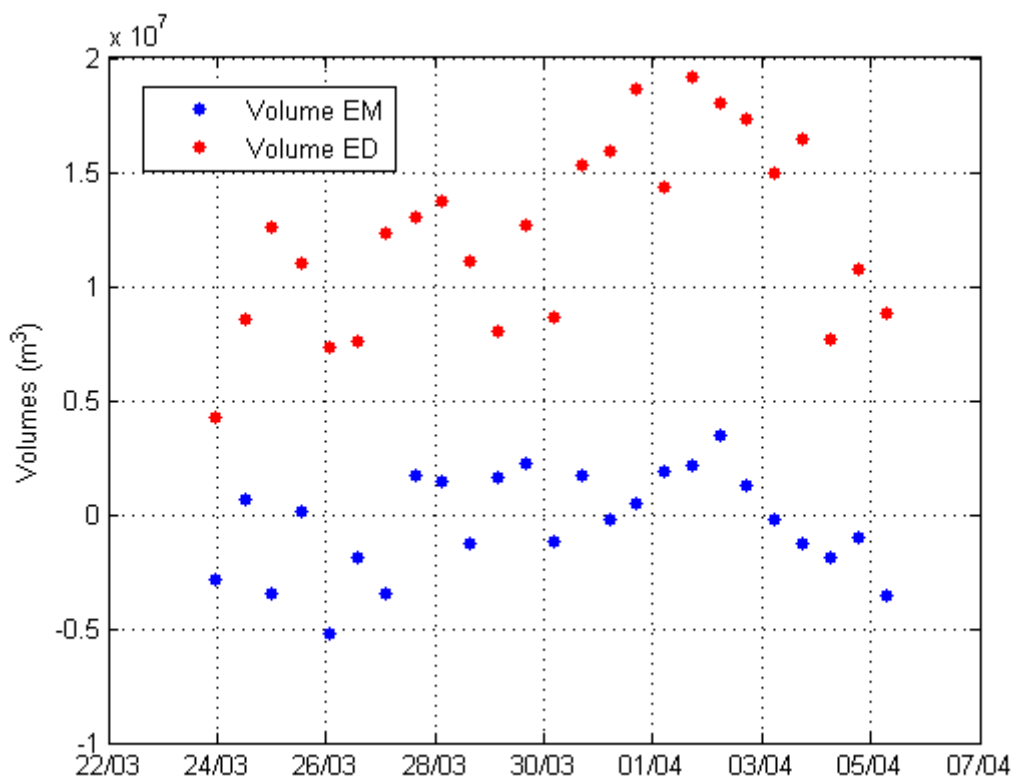


Figure 16 : Bilans nets des flux hydriques par marée.

Comparaison avec les apports déduits des débits du fleuve (HydroFrance)

Les volumes estimés d'après les mesures Doppler sont du même ordre de grandeur que ceux estimés avec la base hydrologique du laboratoire (fig.17). Les débits pris en compte sont ceux estimés à Saint Savinien pour la Charente et Cabariot pour la Boutonne (source eaufrance.fr). On note cependant des écarts journaliers qui peuvent être importants et engendrent un écart de 26 millions de m^3 sur la totalité de la période, soit en moyenne 2 millions par jour. On note que les différences les plus importantes en positif se situent sur la phase de revif, celles en négatifs en déchet, sans pouvoir encore l'expliquer.

Plusieurs hypothèses peuvent être avancées :

- * Déphasage entre la mesure de débit à Saint Savinien et/ou à Cabariot et celle faite à l'embouchure (durée d'écoulement, influence de la météo)
- * Pluviométrie et écoulement des micro bassins versants en aval de Saint Savinien.
- * Echanges avec la nappe d'accompagnement.
- * Incertitudes cumulées des mesures de courant, bathymétrie, débits et salinité.
- * Choix de 35,5 comme salinité "océanique". Une rapide analyse de sensibilité a montré qu'au vu de la masse des apports, l'influence d'une salinité originelle entre 30 et 35,5 n'a que peu d'effet sur l'ordre de grandeur des résultats.
- * Prélèvements ou apports humains (vidange de marais, canaux, pluviaux, stations d'épuration, etc.) entre les points de mesure de débit et d'évaluation avale. L'essentiel des eaux alimentant les marais doux de Rochefort Nord et Saint Agnant sont collectées en amont du barrage, mais il se peut que des évacuations existent sur l'estuaire. L'ensemble des stations

d'épuration en aval du barrage de Saint Savinien ne représentent au total qu'une dizaine de milliers de m³ par jour.

Pour expliquer cet écart, une étude sur la géographie et l'hydrologie des bassins versants non pris en compte dans les mesures de débit de la DDTM (ruissellement en aval du barrage...) serait nécessaire, de manière à évaluer les apports en aval de Saint Savinien où sont estimés les débits. Une période d'acquisition plus longue pourrait également apporter des informations sur les délais de retard entre débit amont (Saint Savinien) et les mesures à Port des Barques.

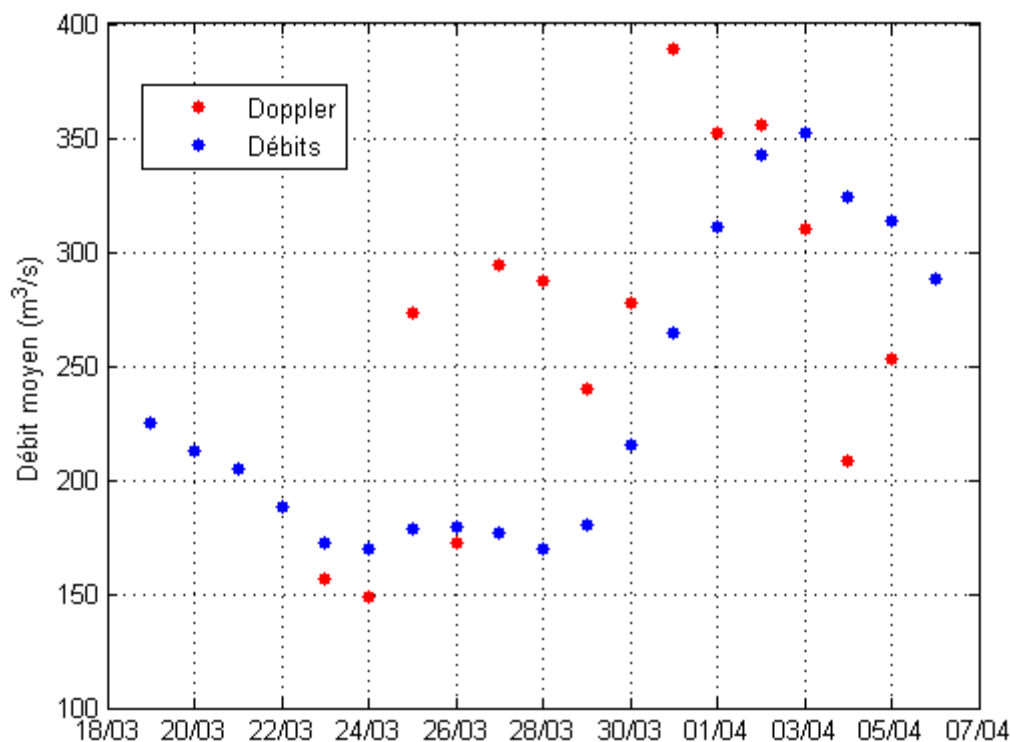


Figure 17 : Comparaison des résultats des évaluations avec les débits moyens journaliers (données Eaufrance).

Estimation du volume oscillant

Le volume oscillant est la masse d'eau qui se déplace de l'aval vers l'amont sous l'influence de la marée. Il est sous dépendance du volume du fleuve (donc de la bathymétrie et des cotes altimétriques de l'eau, fig. 18), et de son débit. Du rapport entre ce volume et celui apporté par l'amont dépendent les modalités de mélange des eaux, salinités, matières en suspension, et distribution écologique des espèces; sa connaissance est donc un indicateur important qu'il est nécessaire d'estimer (CMB⁹).

Le volume oscillant est ici estimé par le volume total de flot (fig. 19). Il augmente en relation étroite avec le coefficient de marée

⁹ Loire Estuaire, Cellule de Mesures et de Bilans, Cahiers indicateurs n°1, 2004.

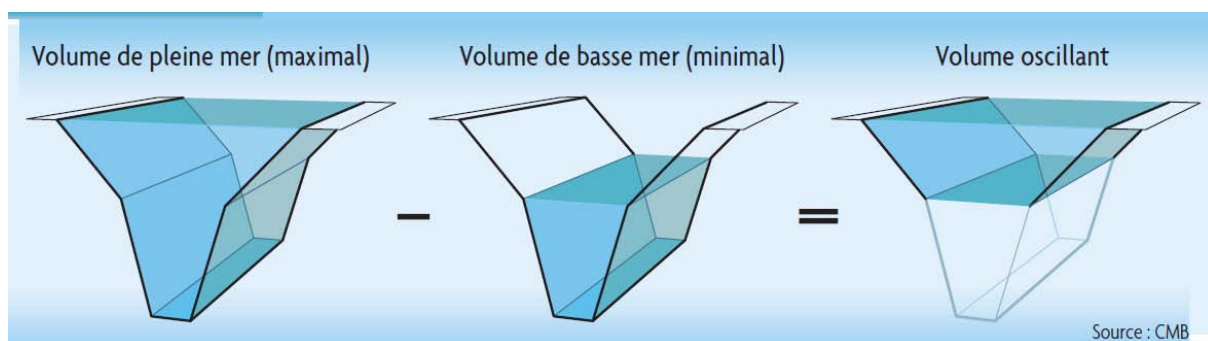


Figure 18 : Volume oscillant (données CMB)

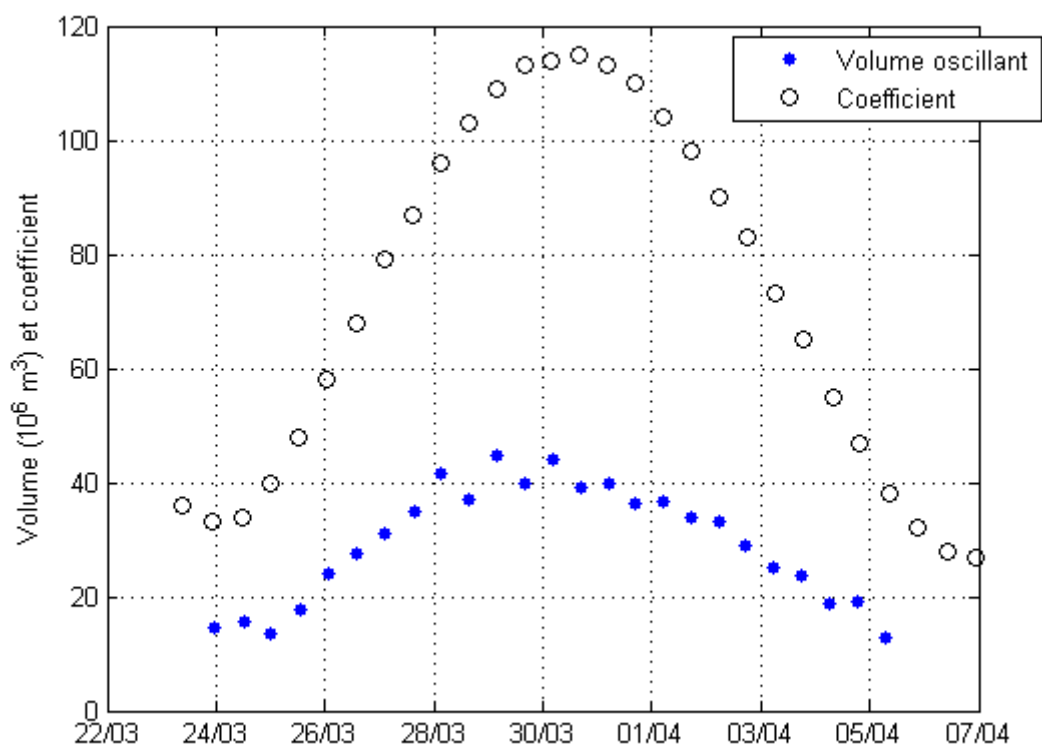


Figure 19 : Volume oscillant en fonction des coefficients de marée.

La corrélation se révèle robuste pour la période considérée, et autorise sa mise en équation (fig. 20).

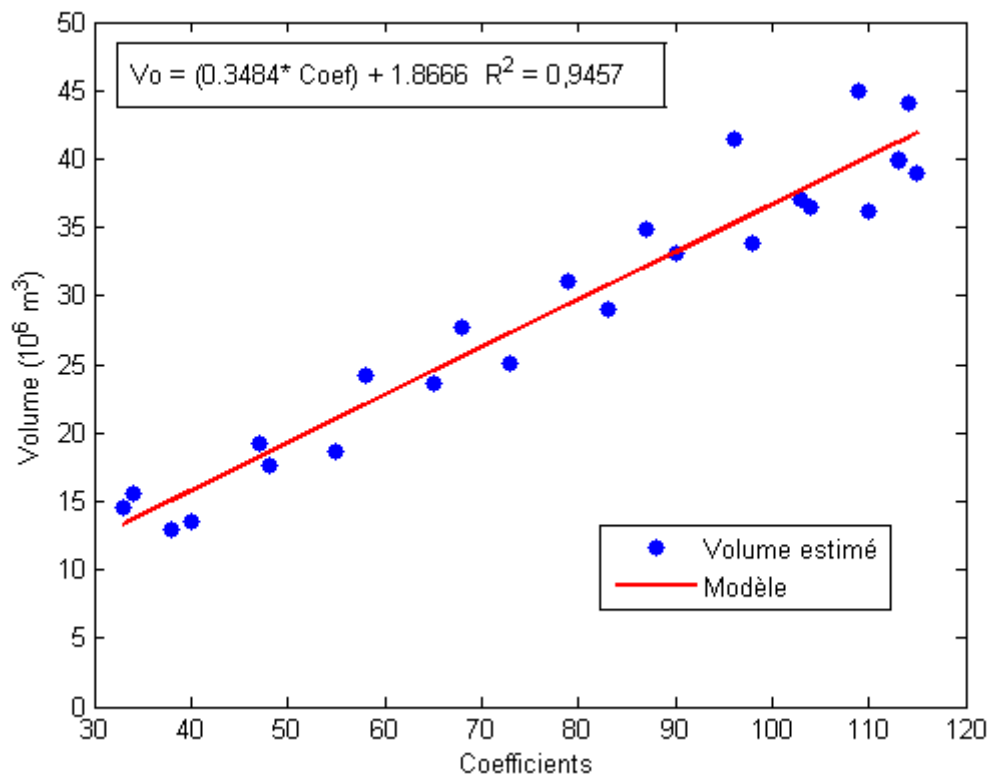


Figure 20 : Corrélations entre les coefficients de marée et le volume total de flot estimé.

Intrusion saline vers l'amont du fleuve et temps de résidence

Sous l'hypothèse de la conservation de la vitesse, les mesures faites par le courantomètre permettent d'évaluer les distances que l'eau de mer est susceptible de parcourir en remontant le fleuve sur un cycle de marée (fig. 21).

Celle-ci est sous la dépendance des coefficients de marée, mais également des débits du fleuve. Dans les conditions de la campagne considérée, la distance parcourue vers l'amont est au plus d'une quinzaine de kilomètres depuis Port des Barques, ce qui amène notre particule à Tonnay Charente. Il faut garder à l'esprit que les débits journaliers moyens de la Charente sur cette période sont importants, de l'ordre entre 150 à 350 m³ par seconde. Il est donc certain que des coefficients de même valeur en période d'étiage laisseront à l'eau de mer la possibilité de remonter plus en amont. Des coefficients supérieurs à 100 en période d'étiage ne sont pas systématiques; il n'y en a pas par exemple en 2011 entre mi-mai et fin août, ce qui minimise la probabilité d'une remontée très amont des eaux de mer.

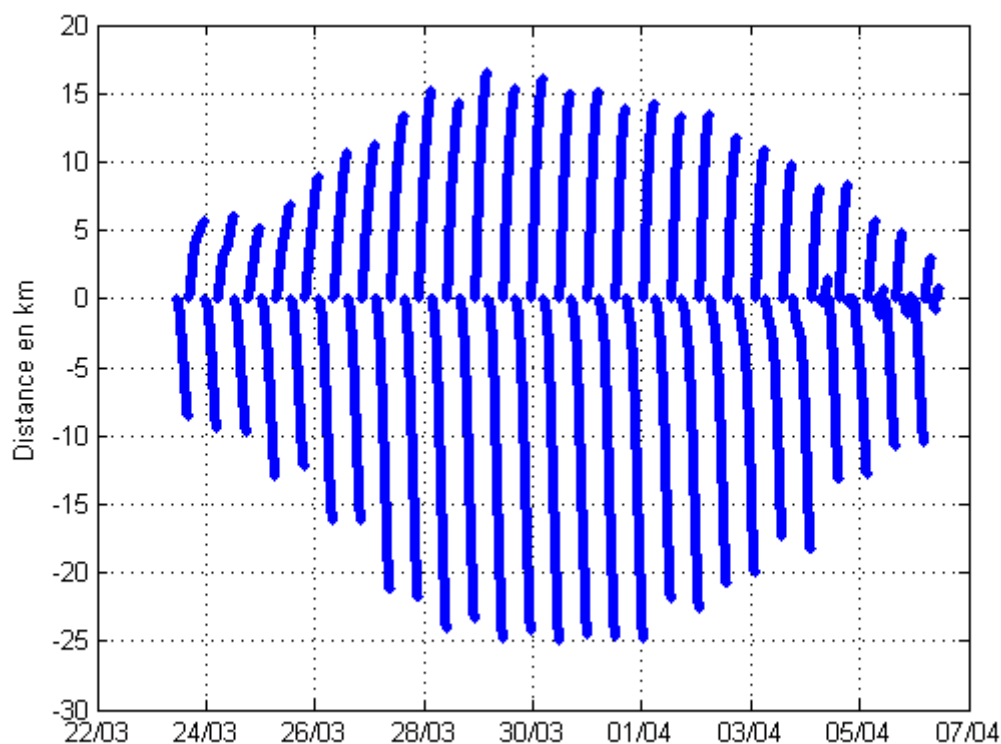


Figure 21 : Estimation de la distance parcourue en une marée par une molécule d'eau, depuis Port des Barques.

Le cumul des distances parcourues au cours du temps, donne une estimation des trajets réalisés par les particules d'eau (fig. 22). Le temps de résidence dans la partie basse de l'estuaire peut ensuite en être déduit.

En début de campagne (24/03) la particule présente à basse mer à Port des Barques (trait bleu épais) monte vers l'amont avec le flot d'environ 6 km (trait fin bleu), puis redescend avec le jusant en aval de Port des Barques, pour n'y plus revenir au flot suivant, et s'éloigner vers le bassin de Marennes Oléron. Elle est repassée 3 fois à son point de départ; ce qui permet

d'estimer son temps de résidence dans l'estuaire à un jour et demi. Le cas de figure reste le même sur tout le cycle de marée, sauf en fin de rejet où il a tendance à diminuer, la masse d'eau circulant vers l'aval par l'effet de chasse en déchet, et l'augmentation concomitante du débit du fleuve. On note qu'au plus fort de la marée, dans ces conditions, la ville de Tonnay Charente a été atteinte plusieurs fois par les eaux salées de flot.

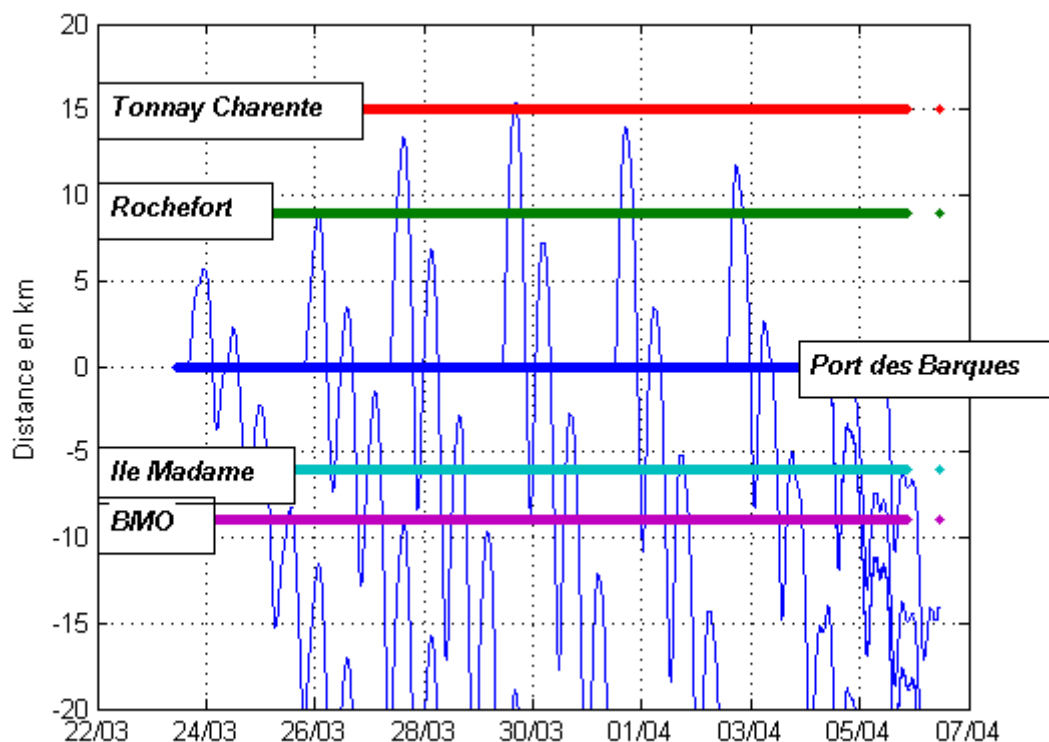


Figure 22 : Estimation du trajet parcouru et des villes atteintes par l'eau au départ de Port des Barques en volume de flot.

5 Conclusion et perspectives

L'objectif de développement d'une méthode d'évaluation quantitative des apports par courantométrie est atteint. Il reste à préciser l'origine des écarts trouvés entre les débits moyens journaliers (mis à disposition par le site Hydrofrance.fr), et les résultats obtenus par cette méthode, et vérifier s'ils subsistent sur d'autres périodes.

Un certain nombre d'outils, tels que les modèles de volume total du fleuve, de section mouillée en fonction de la cote altimétrique de l'eau à Port des Barques ont été développés. Ces éléments représentent la géométrie du fleuve, et peuvent être réutilisés sans autre besoin de mesure.

D'autres, comme celui du volume oscillant estimé en fonction du coefficient, doivent être vérifiés dans d'autres conditions (e.g. météorologie, cycles de marée, débits) pour être généralisés, si cela est faisable, et obtenir une équation valide quelles que soient les conditions. On peut probablement imaginer le développement d'un système d'évaluation des apports en fonction des hauteurs d'eau, et de son différentiel flot-jusant.

En tant qu'outil d'évaluation des apports du bassin versant dans le pertuis, cette méthode peut se révéler très efficace. En effet, d'autres mesures, qualitatives celles là sont faites dans le cadre du DDPC CPER, comme dans d'autres projets. Cela permet de penser que nous pourrions, à posteriori, évaluer des flux d'apports des différentes molécules échantillonnées (pesticides, sels nutritifs etc...) réalisées lors des périodes d'acquisition. A titre d'exemple, sur la période considérée, des dosages de matières organiques en suspension ont été réalisées. Si l'on croise ces données de concentration (153 mg/l) aux bilans nets de volumes totaux obtenus (310 millions de m³), nous pouvons estimer les apports de matière organique sur la période à 47000 T, soit un peu moins de 4000T par jour, mis à disposition du pertuis d'Antioche.

La campagne traitée, acquise dans des conditions particulières de marée, météo et débits a montré une faible probabilité d'intrusion saline en amont de Tonnay Charente. Il serait souhaitable d'acquérir des données sur la période d'étiage pour évaluer cela dans des conditions différentes.

Ce premier décryptage du fonctionnement hydraulique de l'estuaire doit également aider à choisir le meilleur moment d'échantillonnage pour qualifier au mieux les apports du fleuve. Par exemple, pour évaluer ce qui va le plus rapidement être exporté dans le pertuis, il vaudra mieux échantillonner en jusant de début de période de déchet, où les volumes d'eau douce transitant sont plus élevés, et les temps de résidence estimés diminués.

D'autres outils sont encore à développer, pour améliorer la connaissance du fonctionnement de cet hydrosystème et évaluer les différents impacts de ses apports, qu'ils soient positifs ou négatifs, sur l'environnement des pertuis. Pour cela, il apparaît nécessaire d'évaluer les flux sur toutes les saisons; une acquisition courantométrique à l'embouchure, de longue durée, voire annuelle, serait à même d'apporter des éléments importants de connaissance avec le type de méthode proposé.

Glossaire

Cote : mesure de hauteur par rapport à un référentiel. Les référentiels utilisés dans ce rapport sont le Niveau Moyen des mers (NMM), référentiel IGN et des appareils de mesure (DGPS), et le référentiel du service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM), où le zéro Hydrographique est le niveau d'eau atteint lors des basses mers des plus forts coefficients de marée. L'écart entre les deux référentiels varie dans l'espace.

DGPS : Differential Global Positionning System : système de GPS à positionnement avec calcul différentiel, de précision centimétrique

Déchet -Revif : Période du cycle de marée où les coefficients sont en diminution (déchet) ou en augmentation (revif).

Flot - Jusant : Temps pendant lequel la mer monte (flot), ou descend (jusant) sous l'effet de la marée.

Krigeage: méthode d'interpolation spatiale basée sur la variance spatiale d'un jeu de données ponctuel, permettant l'estimation des données à pas régulier (données maillées)

Section mouillée: Surface obtenue dans une coupe perpendiculaire au fleuve, entre la surface libre et le fond.

Surface libre: Surface de l'eau à un moment donné. Elle a une dimension altimétrique (cote), et de longueur, correspondant à la largeur du fleuve à la cote considérée.

Temps de résidence: Période durant laquelle une molécule (?) d'eau reste dans un certain milieu. Le temps de résidence est lié à la capacité de renouvellement du système considéré.

Volume oscillant: C'est le volume de flot. Il est directement dépendant de la géomorphologie du fleuve, et de son débit.

Index des illustrations

Figure 1 : Levés bathymétriques réalisés en Charente par différents organismes.....	9
Figure 2 : Détail du tracé du levé au cours de la campagne.	10
Figure 3 : Localisation des suivis (A) et (B) Bouée Marel-Swing d'acquisition de données physico-chimiques.....	10
Figure 4 : Mise à l'eau du courantomètre Doppler.	11
Figure 5 : Modèle numérique de terrain obtenu après Krigeage (résolution de 10m).....	12
Figure 6 : A) Section du fleuve extraite de la bathymétrie, B) Section mouillée (SM) en fonction de la cote de la surface libre (C).....	12
Figure 7 : Volume de l'estuaire du fleuve Charente (V_t) en fonction de la cote de la surface libre (C), référentiel zéro hydrographique).....	13
Figure 8 : Salinité mesurée à Fort lupin (voir figure 3A) lors de la campagne de courantométrie.....	14
Figure 9 : Hauteur d'eau (mesures et modèle SHOM) et coefficients de marée.	15
Figure 10 : Evolution de la vitesse moyenne du courant en fonction du coefficient de marée.....	16
Figure 11 : Débits instantanés et coefficients de marée au cours de la période d'acquisition (positifs en flot).	17
Figure 12 : Evolution comparée des débits et volumes instantanés en relation avec la section mouillée sur 2 jours.	18
Figure 13 : Volumes instantanés transitant (ED : eau douce, EM eau de mer), en relation avec les hauteurs d'eau et la salinité (A) revif, B) déchet).	19
Figure 14 : Volumes circulant par marée : volume total, haut EM : eau de mer et bas ED : eau douce (positif en flot et négatif en jusant).	21
Figure 15 : Bilans comparés des flux par marée. (EM eau de mer, ED eau douce).	22
Figure 16 : Bilans nets des flux hydriques par marée.....	23
Figure 17 : Comparaison des résultats des évaluations avec les débits moyens journaliers (données Eaufrance).	24
Figure 18 : Volume oscillant (données CMB)	25
Figure 19 : Volume oscillant en fonction des coefficients de marée.	25
Figure 20 : Corrélations entre les coefficients de marée et le volume total de flot estimé.....	26
Figure 21 : Estimation de la distance parcourue en une marée par une molécule d'eau, depuis Port des Barques.....	27
Figure 22 : Estimation du trajet parcouru et des villes atteintes par l'eau au départ de Port des Barques en volume de flot.....	28