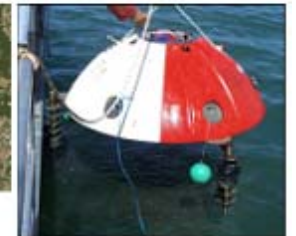
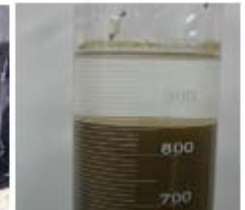


Estuaire Charente :

Flux à Saint Savinien et intrusions salines résultats durant l'étiage 2011



Fiche documentaire

Numéro d'identification du rapport : R.INT.ODE/LER/LERPC 2012-1 Diffusion : libre : <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/> Validé par : I Brenon (Université de La Rochelle) Adresse électronique : isabelle.brenon@univ-lr.fr		date de publication : janvier 2012 nombre de pages : 51 bibliographie : dans le texte illustration(s) : 23 langue du rapport : FR
Titre de l'article : Estuaire Charente : Flux à Saint Savinien et intrusions salines, résultats obtenus durant l'étiage 2011		
Contrat n° Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/> Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/>		
Auteur(s) principal(aux) : Le Moine, O., Robert, S., Geairon, P., Chabirand, J.M.	Organisme / Direction / Service, laboratoire IFREMER/ODE/LER/LERPC	
Encadrement(s) : Gaignon, J. L.		
Cadre de la recherche : Acquisitions de connaissances hydrosédimentaires sur l'estuaire du fleuve Charente, en réponse aux questionnements des gestionnaires. Marché CG17 N° 215H11 financé par le Conseil Général de Charente Maritime		
Destinataires : CG17-Ifremer		

Résumé

En réponse aux interrogations et enjeux soulevés par les gestionnaires de l'estuaire de la Charente (EPTB, CG17, AEAG), un projet scientifique partenarial (Ifremer, ULR) a été élaboré pour tenter d'apporter des éléments de réponse souhaités.

Les enjeux sont grossièrement de trois ordres :

- * de gestion, à court et moyen terme, du barrage de Saint Savinien, du Port de Rochefort, de la qualité de l'eau potable.
- * de connaissances et outils d'aide à la gestion : conditions favorisant l'envasement, continuité écologique, qualité des eaux côtières...
- * de connaissances scientifiques : bilans hydriques et sédimentaires, impacts des apports dans les pertuis.

Les attendus pour cette première phase du projet en 2011 sont surtout la connaissance ou évaluation des intrusions salines et sédimentaires, et l'harmonisation de la perception des différents acteurs (SAUR-UNIMA) des intrusions salines.

Des suivis de salinité, turbidité, et courants ont été réalisés lors de l'étiage 2011 et permettent de tirer les conclusions suivantes :

Flux au niveau du barrage de Saint Savinien ?

Les vitesses de courant, sur la période où les résultats sont disponibles, dépassent juste le mètre par seconde en jusant, et 0,70 en flot, pour des coefficients de marée de 80 à 90. Les bilans hydriques estimés (amont vers aval) sont de l'ordre de 0,5 à 0,6 millions de m³ par marée.

Les matières en suspension sont très importantes en aval du barrage en début de saison, puis semblent passer de l'aval à l'amont du barrage au cours de la période, dont les conditions sont propices à ce phénomène :

- coefficients supérieurs à 80
- débit faible, QMJ inférieurs à 10 m³ par seconde à Chaniers-Beillant. Au cours de la campagne, la vase en amont du barrage est montée de 0,9 à 1 m, recouvrant le courantomètre Doppler.

Intrusions salines

- Le point le plus amont impacté par les eaux marines l'été 2011 se situe en amont de l'Houmée, mais en aval de Saint Savinien (10 km plus amont)

- La norme pour les eaux potables d'un maximum 1,055 mS n'a jamais été atteinte, le maximum atteint en amont du barrage étant de 0,76 mS, et en aval : 1,01 mS, en pic et en mortes eaux à l'aval.

- Les conditions de l'étiage 2011 sont suffisamment drastiques pour conclure à l'absence de risque réel de contamination des eaux potables situées encore plus en amont (3,5 et 5,3 Km. de Saint Savinien), sauf conditions hors normes (ouragans estival..).

- l'intercalibration des systèmes de mesure Ifremer/Unima/Saur montre qu'elles-ci sont cohérentes, voire identiques sur Pont Rouge (Unima) avec celles validées par la métrologie Ifremer

Mots-clés : Estuaire Charente, Flux, MES, Intrusions salines

sommaire

1. Projet Estuaire Charente : Résultats obtenus durant l'étiage 2011.....9

1.1. Contexte	9
1.2. Les enjeux.....	9
1.3. Attendus	11
1.4. Organisation générale.....	11
1.5. Opérations programmées sur 2011 (tâche 1) :.....	12
1.6. Mesures réalisées au barrage de Saint Savinien (2011).....	15
1.7. Résultats 2011 au barrage de Saint Savinien :	16
1.7.1. Turbidité	16
1.7.2. Salinité	17
1.7.3. Courants et hauteurs d'eau	19
1.7.4. Flux hydriques	19
1.7.5. Conclusions apportées par les mesures au barrage de Saint Savinien	26
1.8. Evaluation des remontées salines au fil du fleuve.....	27
1.8.1. Mesures réalisées.....	27
1.8.2. Résultats acquis	27
1.8.3. Conclusions sur l'intrusion saline	30
1.9. Intercalibration sur les mesures de salinité.....	31
1.9.1. Objectifs recherchés :	31
1.9.2. Démarche retenue	31
1.9.3. Résultats	32
1.9.4. Discussion - conclusion : la mesure de salinité.....	33
1.10. Étude de faisabilité technique sur la dynamique hydrosédimentaire des fonds (amont du barrage).....	35
1.10.1. Objectif des travaux	35
1.10.2. Déroulement des travaux	35
1.10.3. Résultats.....	36
1.11. Résumé des acquis	40
1.12. Annexes	41
1.12.1. Annexe 1 : Section mouillée en amont du barrage	41
1.12.2. Annexe 2 : Calibration - vérification des sondes	42
1.12.3. Annexe 3 : Fiches techniques des matériels utilisés.....	44
1.12.4. Annexe 4 : Composition de l'eau : mer et minérale.....	49

sommaire

Table des illustrations

Figure 1 : Positionnement prévu des appareils de mesure pour la tâche 1	14
Figure 2 : Positionnement effectif des appareils de mesure au barrage de Saint Savinien	15
Figure 3 : Turbidité mesurée au barrage de Saint Savinien juin-août 2011.....	17
Figure 4 : Salinité au barrage de Saint Savinien	18
Figure 5 : Courantométrie Doppler (amont du barrage de Saint Savinien) : hauteur d'eau et vitesse moyenne du courant sur la colonne d'eau	19
Figure 6 : Débits instantanés en amont du barrage de Saint Savinien	20
Figure 7 : Volumes cumulés estimés en amont du barrage de Saint Savinien.....	21
Figure 8 : Bilan des flux estimés (amont du barrage de Saint Savinien).....	21
Figure 9 : Comparaison des flux estimés par courantométrie avec les débits moyens journaliers mesurés (QMJ).....	22
Figure 10 : Courbe d'étalonnage établie en laboratoire avec l'eau du barrage de Saint Savinien.....	23
Figure 11 : Hauteur d'eau et concentration en matières en suspension (MES) estimées en amont du barrage de Saint Savinien.....	23
Figure 12 : Flux hydriques et pondéraux de matières en suspension en amont du barrage de Saint Savinien.....	24
Figure 13 : Détail des flux hydriques, et de MES en concentration et masse: détail des 1 et 2 juillet 2011 au barrage de Saint Savinien.....	25
Figure 14 : Débit du fleuve Charente et coefficient de marée sur la période d'acquisition	26
Figure 15 : Localisation des points de mesures (température, salinité, courantométrie)de juin à septembre 2011	27
Figure 16 : Salinités mesurées sur l'été 2011 au fil du fleuve Charente	28
Figure 17 : Données de salinité, brutes et désaisonnalisées de la marée à Tonnay Charente, sur l'été 2011	28
Figure 18 : Données désaisonnalisées de salinité sur les différents points suivis en 2011, ensemble de la période (haut), et détail (bas)	29
Figure 19 : Localisation des points amont de mesures d'intercalibration	31
Figure 20 : Mesures de salinité à Pont Rouge : comparaison résultats UNIMA-Ifremer, (haut) intégralité de la période de recoupement , et (bas) détail.....	32
Figure 21 : Comparaison des mesures réalisées à Port La Touche (PLT : UNIMA-Ifremer) et Coulonges (SAUR-Ifremer).....	33
Figure 22 : Enregistrement des voies 'écho max' et profondeur de l'altimètre installé	36
Figure 23 : Fiche synthétique des paramètres sédimentologiques étudiés :	38

sommaire

Agents Ifremer ayant participé à ce travail :

J-L Gaignon : Administration finance

O. Le Moine : Coordination générale

Se. Robert : Sédimentologie (carottages – altimètres *in situ*)

P Geairon : Coordination mesures terrain, laboratoire

J.M.Chabirand : Métrologie, parc matériel, laboratoire

S. Guesdon : Hydrologie

J.L. Seugnet : Moyens à la mer, prélèvements discrets

P. Guilpain : Laboratoire (MES)

St. Robert, F. Cornette (LGP) **C. Arnaud** (CNRS): Plongeurs

Nos remerciements à l'équipe Hydrologie du CG 17, et particulièrement Julie Postaire et Jean Jacques Besnard (sondeur Bi-Fréquence), ainsi que Mr Félix Gomez (Sondeur à balayage) pour leur aide dans la recherche des appareils perdus (et partiellement retrouvés!).

Remerciements particuliers également aux barragistes du CG17 pour leurs accueil et assistance.

1. Projet Estuaire Charente : Résultats obtenus durant l'été 2011

1.1. Contexte

Plusieurs demandes tant de la part de gestionnaires que de scientifiques portant sur des problématiques hydrosédimentaires de l'estuaire de la Charente ont conduit à envisager l'élaboration d'un projet multipartenarial cohérent et permettant de la synergie tant en terme de connaissances que des moyens à mettre en œuvre.

Les partenaires intéressés sont, pour les gestionnaires, l'EPTB Charente (Etablissement Public de Territoire de Bassin), le CG17 (Conseil Général de Charente Maritime) et l'AEAG (Agence de l'Eau Adour Garonne) et, pour les scientifiques, l'ULR (Université de La Rochelle) et l'Ifremer.

Le projet a été défini par l'ensemble des partenaires scientifiques et techniques pour tenter de répondre à l'ensemble des enjeux et questions posées par les différentes partenaires, en quatre grandes actions. Il a par la suite été décidé de ne réaliser que la première sur 2011. L'Ifremer a donc été chargé de mettre en œuvre l'appareillage et les compétences nécessaires, avec un financement du Conseil Général de Charente Maritime (CG17) pour répondre aux enjeux de cette seule action.

Ce document fait un état des lieux des réalisations du projet à fin 2011, et des informations directement apportées par les opérations réalisées.

1.2. Les enjeux

Sur la base d'une enquête auprès des partenaires intéressés, les interrogations, problématiques ou enjeux ont ainsi pu être identifiés (Gaignon, J.L.) :

<i>Enjeux de gestion (échéance) [partenaires]</i>	<i>Enjeux cognitifs associés</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Modalités de gestion de l'envasement de la Charente : dévasage au fil de l'eau avec risque de retour des vases et/ou optimisation de la gestion du barrage de Saint Savinien (temps et fréquence d'ouverture des vannes, entretien ponctuel, ...) pour améliorer la gestion des sédiments transportés (fin 2011, mais évolutif envisageable) [CG17, EPTB] - Modalités de dragage du port de Rochefort, impacts et optimisation en fonction du moment (par rapport au jusant, dans l'année, ...) et du lieu des refoulements, et de position du bouchon vaseux (échéance 2014) [CG17] - Gestion de la continuité écologique [EPTB, CG17, AEAG] ; connaissance des modalités d'intrusions salines dans le cadre des suivis de flux d'espèces eury- ou amphihalines [EPTB, AEAG] - Implication de l'estuaire sur les masses d'eaux côtières pour la surveillance la DCE (benthos, poissons, phytoplancton, ...) [AEAG] <p>- Contaminations salines des prises d'eau de consommation [CDA, UNIMA,...]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Conditions hydrodynamiques (météo, marée...) et impact du barrage de Saint-Savinien sur l'envasement de l'estuaire et le transport des sédiments (y compris les refoulements de dragage) ; dynamique des déplacements du bouchon vaseux et des intrusions salines - Fonctionnement de l'estuaire sur le plan hydrodynamique, sédimentaire, salinité, O2 dissous puis à terme sur un plan biologique - Influence de la qualité physico-chimique, des apports organiques, en nutriments, contaminants chimiques (organique et métallique) en terme d'impact sur la qualité des eaux côtières des Pertuis
<i>Enjeux scientifiques</i>	<i>Objectifs d'acquisition de connaissances estuariennes</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Quantification du bilan dépôt/érosion dans le fleuve et l'estuaire et des apports en sédiments fins à la mer côtière [ULR] - Compréhension de la dynamique sédimentaire globale du système Charente et de ses apports en sédiments cohésifs dans les pertuis [Ifremer] - Modalités de déplacement du bouchon vaseux entre l'estuaire et les pertuis, notamment les aires conchylicoles [Ifremer] - Compréhension des fluctuations environnementales et implication dans les grands processus biogéochimiques de l'estuaire. Caractérisation des apports de la Charente aux Pertuis [Ifremer] - Spatialisation de l'impact des apports fluviaux en mer par l'indicateur « salinité » [Ifremer] - Devenir du zooplancton (pontes d'huîtres...) pris dans la dynamique estuarienne en flot [Ifremer] <p>- Connaissance des contaminations métallique et organique dans le continuum bassin versant-pertuis [Ifremer]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Caractérisation sédimentaire des mouvements sédimentaires et des flux de turbidité et de Matière Organique Particulaire (MOP) dans le fleuve et l'estuaire, et des modalités les gouvernant [ULR] - Définition des variables forçantes régissant les processus de mélange eau douce-eau de mer (dont l'intrusion saline) dans l'estuaire [ULR, Ifremer] - Caractérisation spatio-temporelle des fonds sédimentaires pour la détermination des faciès bio-sédimentaires et la compréhension de la dynamique sédimentaire du système Charente et de ses apports en sédiments cohésifs dans les pertuis [Ifremer] - Processus météo-climatiques, hydrodynamiques, physico-chimiques, hydrosédimentaires, rhéologiques, biologiques, voire anthropiques déterminant les déplacements du bouchon vaseux [ULR / Ifremer] - Rôle de l'estuaire dans les phénomènes et de contaminations organique et métallique : caractérisation des apports de la Charente en matière particulaire et en substances dissoutes, suivi spatio-temporel de leur transport, quantification de leurs flux, impact sur le sédiment et relation avec l'activité humaine [Ifremer]

Les problématiques sont donc de diverses natures et échéances :

- de gestion, à court et moyen terme : plan de gestion du barrage de Saint-Savinien, gestion de port, qualité de l'eau potable...
- de connaissances pour l'aide à la gestion : conditions favorisant l'envasement, la continuité écologique, la qualité des eaux côtières,...
- d'acquisitions de connaissances scientifiques : bilans hydriques et sédimentaires, impacts dans les pertuis....

Au vu, d'une part, de la nature des questionnements et des modes de réponses associées, et d'autre part, des contraintes temporelles (des modalités de gestion optimisée du barrage de Saint Savinien devaient être proposées fin 2011), il est apparu que le projet devait clairement prendre en compte certaines échéances rapprochées de gestion. L'organisation des tâches telle que proposée prenait en compte cette dimension temporelle tout en veillant bien à la cohérence d'ensemble.

1.3. Attendus

Sur la base des questionnements, les attendus du projet en termes d'acquisition de connaissances à court terme pour l'élaboration du plan de gestion du barrage de Saint-Savinien : ont été ainsi définis :

- impacts d'actions-tests de gestion du barrage de Saint Savinien sur les paramètres hydrosédimentaires (*phase de faisabilité technique*)
- caractérisation des intrusions salines en amont du barrage

1.4. Organisation générale

Structuration en grandes tâches

Afin de répondre au mieux aux attendus, le projet a été structuré en quatre tâches prenant en compte les échéances.

- **Tâche 1** : Connaissances nécessaires à l'élaboration du plan de gestion du barrage de Saint-Savinien

Responsable O. Le Moine Ifremer en collaboration avec le bureau d'études Eaucea
Echéance : fin 2011 pour permettre des propositions par Eaucea d'amélioration du plan de gestion du barrage. Cette tâche est détaillée plus bas.

- **Tâche 2** : Modélisation 3D du fleuve Charente

Responsable I. Brenon ULR

Calendrier : 2011-2014

A noter : cette tâche sera mise en œuvre en partie dans le cadre d'une thèse réalisée au sein de l'Université de La Rochelle (Florence Toublanc) et financée par le CG17.

- **Tâche 3** : Nature et comportement sédimentaire au fil du fleuve

Responsable : S. Robert Ifremer

Calendrier : 2011-2014

A noter : cette tâche est constitué d'un double volet : l'un sera une contribution à la modélisation 3D du fleuve en précisant la qualité des sédiments superficiels, l'autre permettra de disposer de connaissances supplémentaires sur la caractérisation des sédiments (physique et chimique) et de leur comportement au long du fleuve.

- **Tâche 4** : Caractérisation hydrologique du fleuve Charente et devenir de ses apports dans les pertuis

Responsable : O. Le Moine Ifremer

Calendrier : 2011-2014

1.5. Opérations programmées sur 2011 (tâche 1) :

Connaissances nécessaires à l'élaboration du plan de gestion du barrage : Enjeux et questions pris en compte

Les questions sont de deux ordres :

1. Evaluer des scénarios d'actions sur le barrage optimisant la lutte contre l'envasement en amont et aval
2. Evaluer les remontées d'eau salées dans le fleuve y compris en amont du barrage

Protocole général

Question 1 :

- pour évaluer l'impact des actions de gestion sur les flux sédimentaires : estimation des flux sédimentaires par acquisition courantométrique Doppler couplée à des mesures de turbidité (NTU) en continu et des mesures discrètes de Matières En Suspension (MES). Les mesures seront faites en amont et en aval du barrage de Saint Savinien (cf carte fig. 1, points oranges et rouges),
- pour obtenir des éléments sur les phénomènes de dépôt/érosion : suivi de l'altimétrie des sédiments par ALTUS avec mesure ADV couplée (cf carte fig. 1, points jaunes) au moins au point aval. Il ne peut toutefois être garanti de résultats fiables du fait des incertitudes concernant la validité des mesures dans cet environnement très turbide au fond. Cette phase est donc à considérer comme une phase de faisabilité technique pour la Tâche 3. Elle permettra néanmoins de fournir au mieux des résultats permettant une gestion optimisée du barrage

Question 2

Elle peut se décliner en deux volets :

- **Evaluation des remontées salines** : mise en place de sondes TPS (Température Pression Salinité) en continu aux points de Tonnay Charente et l'Houmée (cf carte, points bleus) en complément des mesures assurées par l'Ifremer à Port des Barques et de celles de Saint Savinien, également équipés pour la mesure de salinité en plus du suivi NTU.
- **Intercalibration données acquises par différents partenaires** : l'objectif est de mettre en cohérence les données acquises par l'Unima, et la Saur, respectivement à Pont Rouge et Port la Touche, et à la station de pompage SAUR de Coulonges. Ces points étant déjà équipés par ces organismes, il s'agit de uniquement valider et comparer les mesures, pour favoriser une perception commune des paramètres discutés.

Acquisitions :

Il ressort les besoins suivants de l'analyse des attendus :

1. 2 sondes YSI (TPS) en acquisition sont nécessaires, équipées en capteurs turbidité de 4000 NTU. Les mesures doivent être concomitantes et proche de celles des courantomètres Doppler.
2. Sondes STPS, (Température pression salinité). La série de mesures peut démarrer dès que nécessaire.
3. Courantomètre Doppler de fond pour mesures Saint Savinien
4. Essai de suivi de l'altimétrie des sédiments par ALTUS
5. En parallèle des mesures de NTU et courantométrie, des mesures discrètes de MES seront réalisées pour calibrer le signal NTU en flux pondéraux sur des cycles de marée et tout au long de la période. Une cinquantaine de mesures au moins seront faites.
6. La métrologie des instruments de mesures sera réalisée au laboratoire.

Calendrier prévisionnel

	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
Doppler						Courantométrie, hauteur d'eau, continu, 2 points	
YSI NTU						Turbidité, Salinité température, continu, 2 points	
MES						Prélèvements discrets (~100-150)	
STPS						Température salinité, continu, 2 points	
Altus						Altimétrie du fond en continu, 2 points doublés	

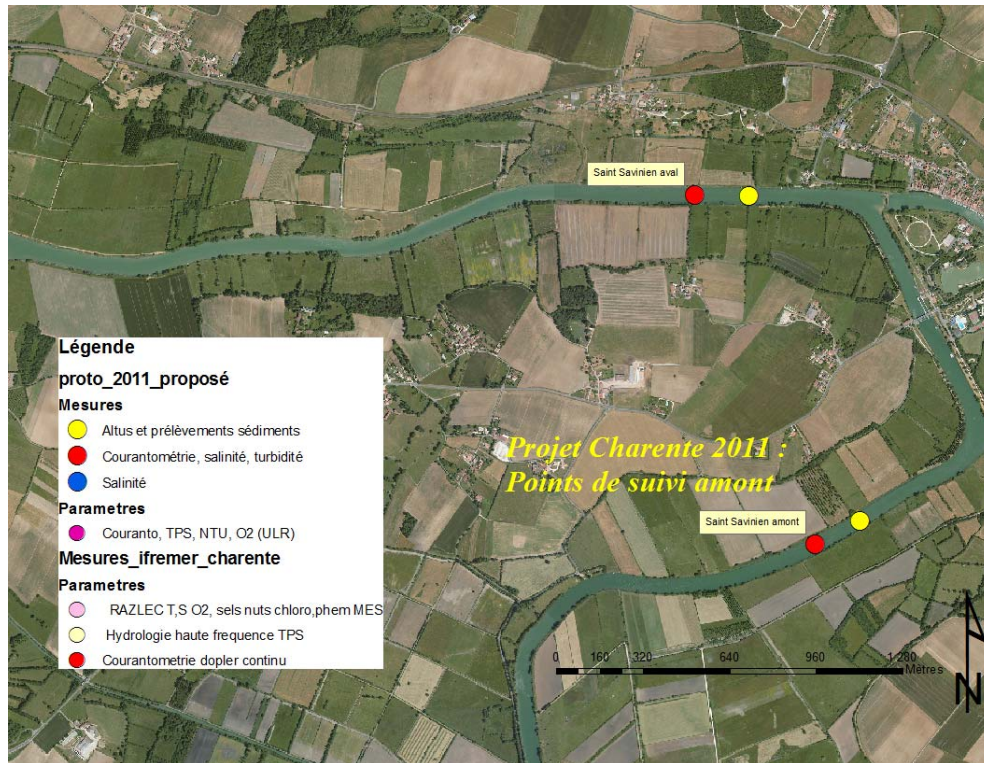


Figure 1 : Positionnement prévu des appareils de mesure pour la tâche 1

1.6. Mesures réalisées au barrage de Saint Savinien (2011)

L'estimation des flux au barrage de Saint Savinien a été faite par acquisition en continu de mesures turbidité et salinité en amont et aval du barrage. Ces mesures en continu ont été complétées par des prélèvements discrets d'eau pour évaluation des MES. Un courantomètre à effet Doppler a également été positionné sur l'ensemble de la saison (figure 2).

Dans le cadre des travaux altimétriques en phase de faisabilité technique, il a été mis en place en fin de période (octobre-décembre) un seul altimètre Altus en amont du barrage et situé au centre du lit du fleuve (figure 2). Une double carotte sédimentaire (*i.e.* deux carottes adjacentes) a été prélevée à proximité de l'appareil à fins de caractérisation sédimentologique sur plusieurs niveaux (taille de particules par micro granulométrie, comportement rhéophysique par rhéométrie).

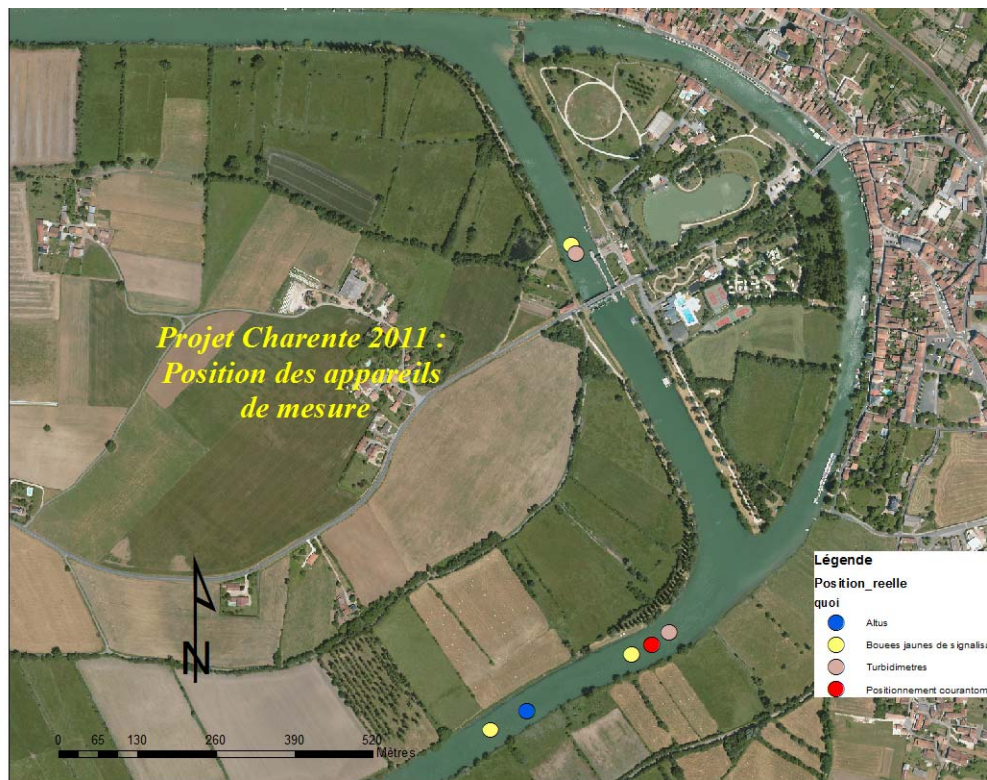


Figure 2 : Positionnement effectif des appareils de mesure au barrage de Saint Savinien

Nous avons rencontré un certain nombre de problèmes au cours de cette campagne :

1. panne de la sonde Ysi amont lors de la première quinzaine (11-26 juin)
2. disparition d'une sonde multiparamétrique YSI en amont du barrage, courant Septembre, et du courantomètre Doppler. De nombreuses recherches ont été réalisées, au sondeur, en plongée, au sondeur bifréquence (CG17) et en imagerie acoustique en sonar à balayage. L'ensemble de ces efforts infructueux nous a fait

- émettre l'hypothèse d'un envasement dépassant la hauteur de l'appareil (70 cm). Le courantomètre a ainsi été retrouvé en décembre, sous 90 à 100 cm de vase.
3. problème technique de mise en oeuvre de l'Altus due à la fabrication d'un nouveau bâti *a priori* plus adapté à ce type de fond, ce qui a fortement retardé sa pose.
 4. enfoncement (ou envasement brutal ?) de l'altimètre ayant perturbé l'enregistrement, malgré la nouvelle disposition technique précédente.

1.7. Résultats 2011 au barrage de Saint Savinien :

1.7.1. Turbidité

Hors des périodes de vives eaux, la sonde amont ne mesure que de très faibles turbidités (figure 3, courbe noire). Lorsque les pelles du barrage sont fermées (coefficients de marée inférieurs à 80) les données de turbidité, mesurées en aval (NTU), sont toujours supérieures à celles de l'amont. Lors des marées de coefficient supérieures à 80, le barrage est ouvert, et la sonde placée en amont se trouve en saturation (3500 NTU), comme celle de l'aval. Les mesures de MES réalisées ne conduisent pas à des résultats probants concernant leur cinétique au fil du fleuve. Cependant, complétées par les observations des barragistes et des plongeurs, elles tendraient à établir qu'un volume de vase important s'accumule en aval du barrage sous l'effet des marées en période de revif et qu'il est remis en suspension par les turbulences créées en période de pleine mer lors de l'ouverture des pelles. Par suite de la diminution progressive de la turbidité en aval (courbe verte) et le maintien de niveaux turbides importants en amont (courbe noire), on peut en déduire que les mouvements de 'crème de vase' s'opéreraient progressivement de l'aval vers l'amont du barrage, ce phénomène semblant s'atténuer au cours de la saison étudiée.

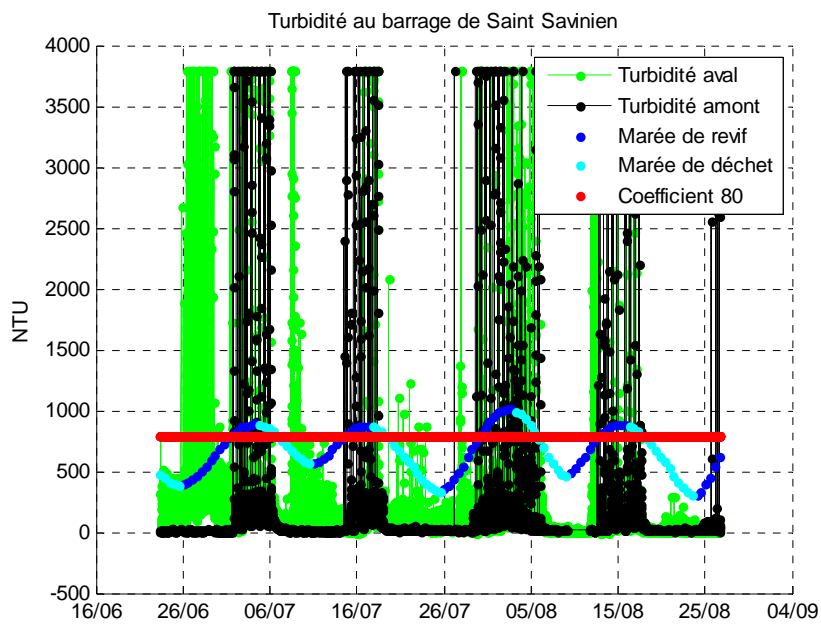


Figure 3 : Turbidité mesurée au barrage de Saint Savinien juin-août 2011

1.7.2. Salinité

Les salinités mesurées en amont et aval du barrage sont très faibles, et restent en deçà de 0,5 (figure 4). Une légère élévation (0,1, 0,15) est notée lors des forts coefficients, à l'identique des données de turbidité. Hors période de vives eaux, une augmentation continue est observée en aval (courbe verte) en marée de déchet.

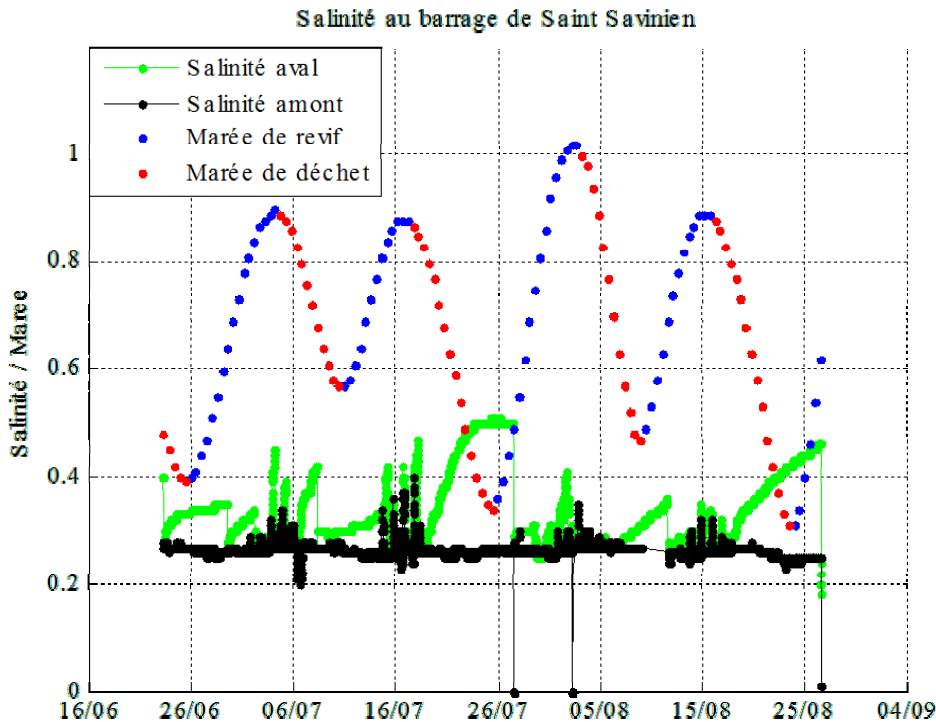


Figure 4 : Salinité au barrage de Saint Savinien

En principe (Aminot¹), l'évaluation de la salinité par la conductivité n'est pas utilisable en dessous d'une valeur de salinité de 2, (ce que l'on mesure à Saint Savinien est <1). Néanmoins, plusieurs constats nous conduisent à présenter les choses ainsi :

- –Le constructeur donne les sondes utilisées (YSI) pour une gamme salinité de 0 à 70,
- –Des séries de mesures et calibrations ont été faites dans ces gammes, donnant une confirmation métrologique des écarts de mesure observés (de 0 à 0,011 en salinité), et de la validité des résultats présentés dans les gammes considérées,
- –En dernier lieu, c'est la méthode la plus aisée pour comparer des mesures conductivité/température mesurées sur des sites différents.

Sur la base de ces mesures, les observations suivantes peuvent être faites :

1. La mesure de salinité semble influencée par la turbidité (cela a été vérifié par la suite au laboratoire).
2. Dans les conditions de la campagne de mesures, l'intrusion saline reste en aval de Saint Savinien, même par gros coefficients (102 début août et 112 fin août), et conditions d'étiage sévère (entre 10 et 15 m³ /s sur les mêmes périodes de vives eaux).

1.7.3. Courants et hauteurs d'eau

¹ Aminot, A. et Kerouel, R. 2004 : Hydrologie des écosystèmes marins, paramètres et analyses

La campagne de mesures Doppler se résume à la période du 14 juin, date de pose, au 2 juillet, date à laquelle les transducteurs se sont vraisemblablement retrouvés envasés. La mesure de hauteur d'eau a été enregistrée, le capteur pression fonctionnant même sous la vase, mais pas les vitesses de courant (Fig.5). Celles mesurées sont de l'ordre du mètre par seconde en jusant, et de 0,70 en flot, pour des variations de hauteur d'eau de l'ordre de 50 cm.

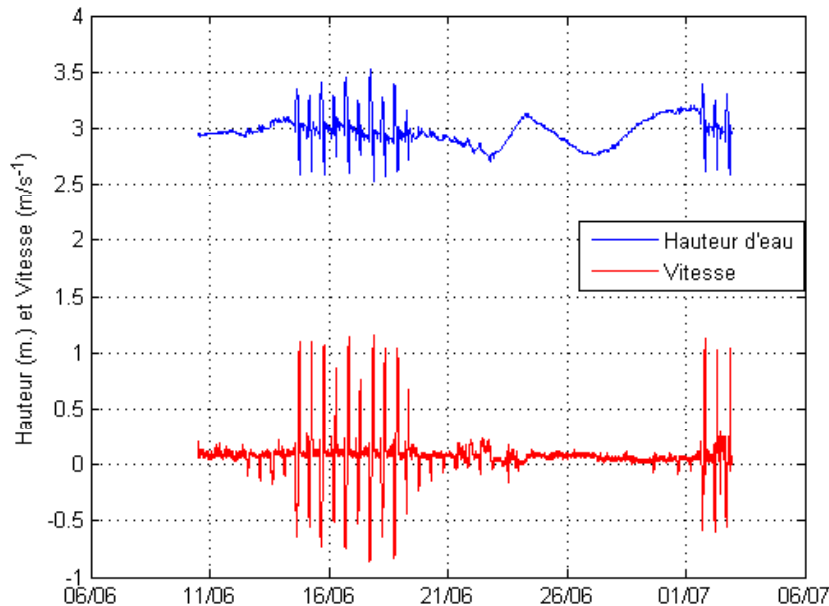


Figure 5 : Courantométrie Doppler (amont du barrage de Saint Savinien) : hauteur d'eau et vitesse moyenne du courant sur la colonne d'eau

1.7.4. Flux hydriques

1.7.4.1. Débits instantanés

Ceux ci sont estimés selon la méthode précédemment décrite (Le Moine et al.²). Sur cette période, lorsque le barrage est fermé, il oscille entre 5 et 20 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, pour atteindre 180 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ lors des jusants de vives eaux, barrage ouvert, et 150 à 170 en flot (Fig.6). Les débits de jusant se trouvent supérieurs à ceux de flot, les volumes apportés par la marée s'ajoutant à ceux amenés par le fleuve lors des coefficients de marée supérieurs à 80.

² Le Moine, Olivier, Geairon, P., 2011, développement d'une méthode d'estimation des flux du fleuve Charente par Courantométrie Doppler,; exemples d'applications Rapport d'avancement Contrat de projets Poitou-Charentes 2007 2013.

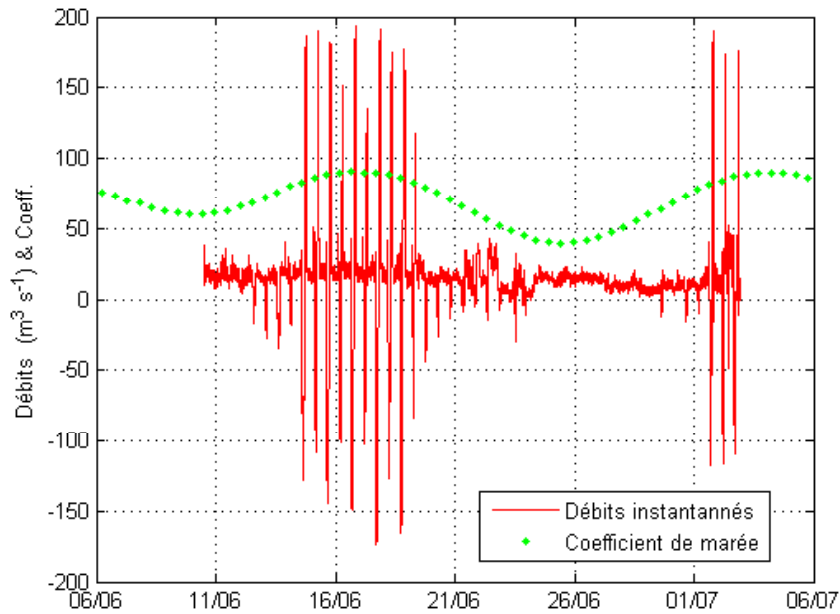


Figure 6 : Débits instantanés en amont du barrage de Saint Savinien

1.7.4.2. Flux par marée

A partir des débits, il est possible de cumuler les volumes transportés, en flot ou en jusant, sur chaque marée. Le signe du courant (positif ou négatif) indiquant le sens de déplacement. Dans le cas présenté, les volumes positifs sont ceux transitant vers l'aval (Fig.7). Les cumuls très importants notés lors des mortes eaux sont dus à un cumul des volumes dévalant, hors influence de la marée. Dès que l'influence de la marée se fait sentir, le cumul par marée est alternativement positif en jusant (apports vers l'aval), puis négatif quand la mer monte, traduisant des apports en amont du barrage.

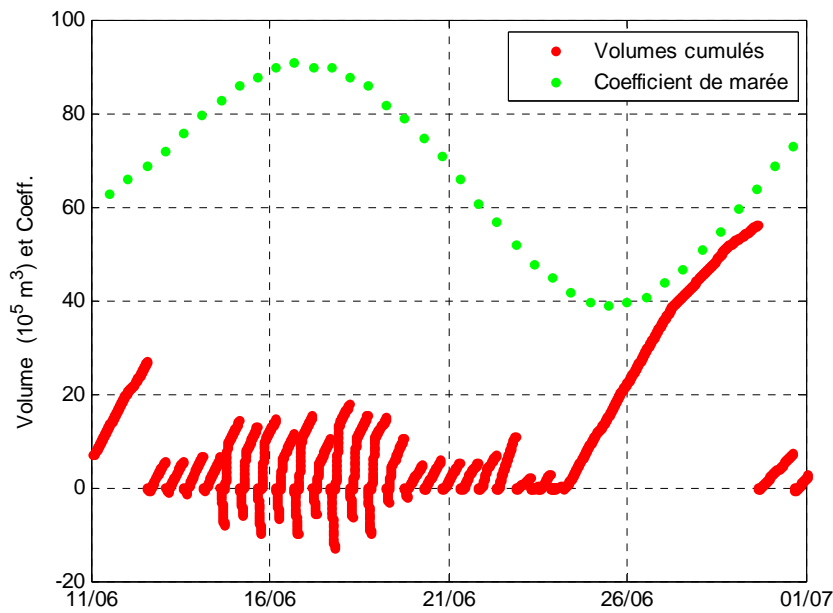


Figure 7 : Volumes cumulés estimés en amont du barrage de Saint Savinien

Les valeurs les plus importantes obtenues lors de cette période de vives eaux sont de 1,3 millions de m^3 en flot, et de 1,8 le jusant suivant, soit un flux résiduel de 0,5 millions de m^3 vers l'aval.

Les valeurs en "dents de scie" des flux proviennent du cycle nyctéméral (jour-nuit) de la marée (Fig.8).

Les bilans hydriques estimés sont de l'ordre de 0,5 à 0,6 millions de m^3 par marée, pour monter jusqu'à 0,9 en début de déchet.

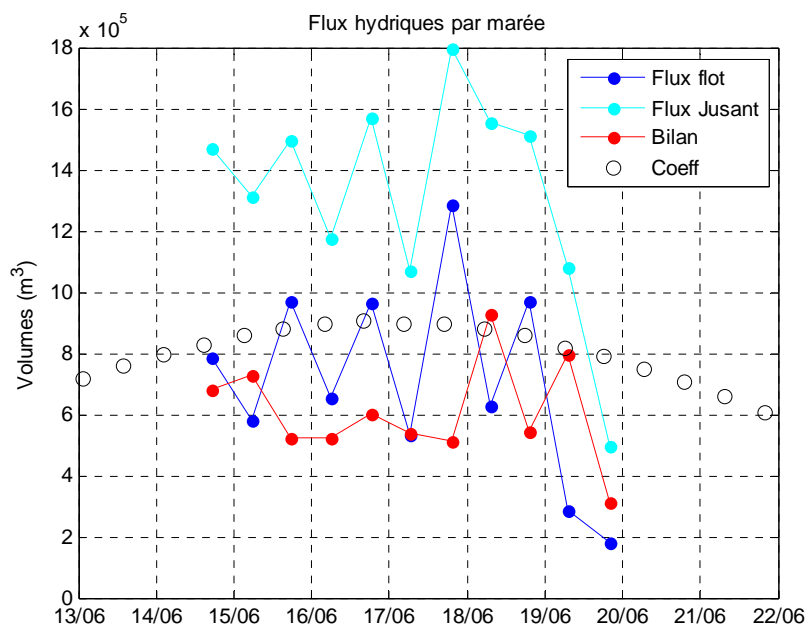


Figure 8 : Bilan des flux estimés (amont du barrage de Saint Savinien)

La comparaison des résultats obtenus en bilans hydriques avec les estimations faites à partir des débits mesurés sur le fleuve en amont (QMJ Beillant) montre une grande cohérence (Fig. 9). Seul le dernier jour est différent, ce qui est dû à la fermeture du barrage avant la seconde marée du jour, de coefficient inférieur.

Les deux journées du 16 et 17 juin, apparaît un léger différentiel, qui pourrait être dû à des prélèvements amont supérieurs, ou à un léger déstockage.

Cette cohérence conforte les résultats d'estimation de volumes transitant, nécessaires à l'évaluation des flux de MES suivante.

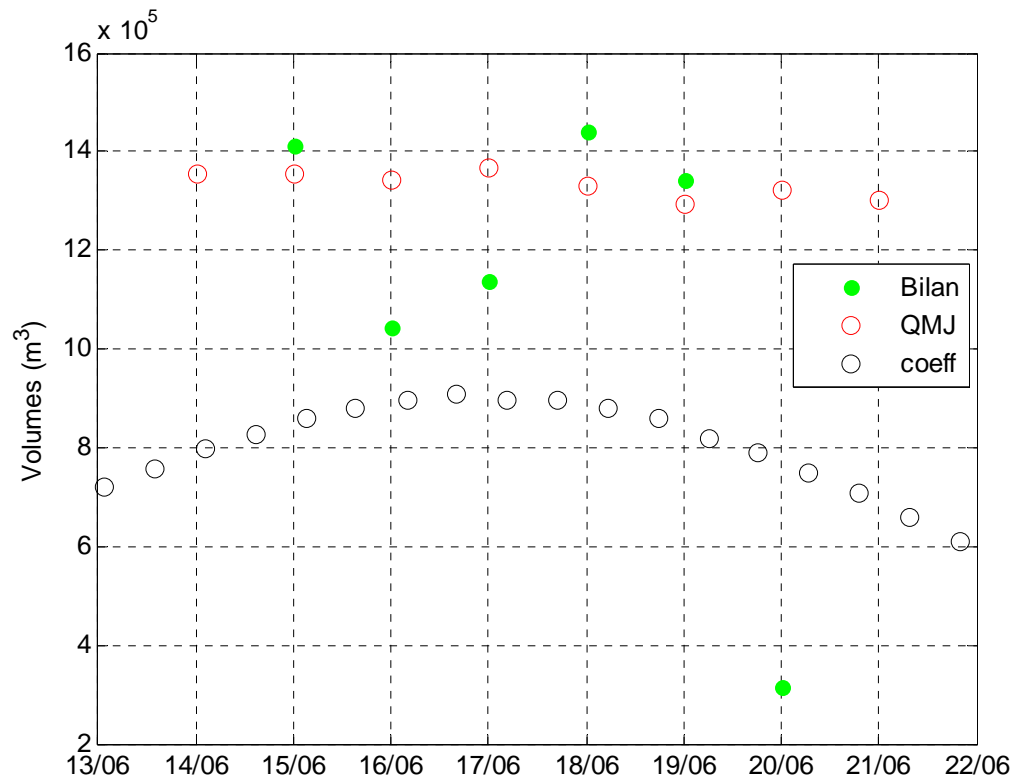


Figure 9 : Comparaison des flux estimés par courantométrie avec les débits moyens journaliers mesurés (QMJ)

1.7.4.3. Flux de matières en suspension (MES)

Ils sont estimés sur la base des volumes cumulés calculés précédemment, la turbidité mesurée, et une régression d'étalonnage, servant à établir le modèle MES fonction de la mesure NTU (Fig. 10).

La méthodologie utilisée est décrite en annexe 3. Les capteurs utilisés sont étalonnés de 0 à 4000 NTU. Ils saturent au dessus de cette valeur, qui correspond environ à 2200 mg/l de MES.

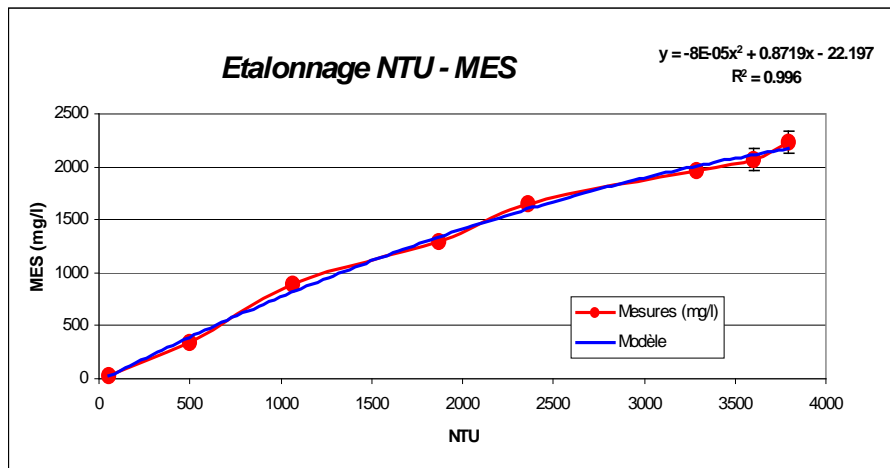


Figure 10 : Courbe d'étalonnage établie en laboratoire avec l'eau du barrage de Saint Savinien

Ce modèle permet de convertir les valeurs en continu de turbidité (NTU) en teneurs en matières en suspension (grammes par litres) dans les conditions du site (Fig 11). La variation des concentrations sur la période de mesures exploitables, malheureusement très courte, plafonnent à une concentration de 2,24 g/l. Elles sont certainement beaucoup plus importantes en réalité, puisqu'il s'agit de la limite supérieure lisible par les capteurs utilisés. A titre d'information, la "crème de vase" rencontrée en aval du barrage, avant remise en suspension, présentait 160 g/l de matières en suspension, le jour du prélèvement. L'absence de données du 11 au 23 juin est due à une panne de la sonde.

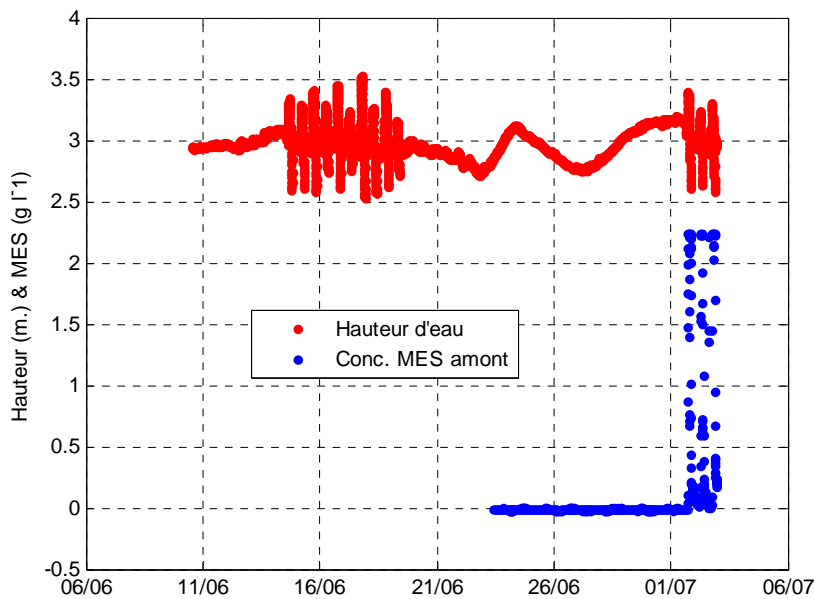


Figure 11 : Hauteur d'eau et concentration en matières en suspension (MES) estimées en amont du barrage de Saint Savinien

Les flux tels qu'on peut les estimer dans les conditions d'acquisition sont à minima de l'ordre de 1000 tonnes par marée en flot (partie négative de la courbe), et du double en jusant (Fig. 12). Le bilan dans ce cas paraît négatif pour l'amont, qui exporterait plus de matière qu'il n'en reçoit.

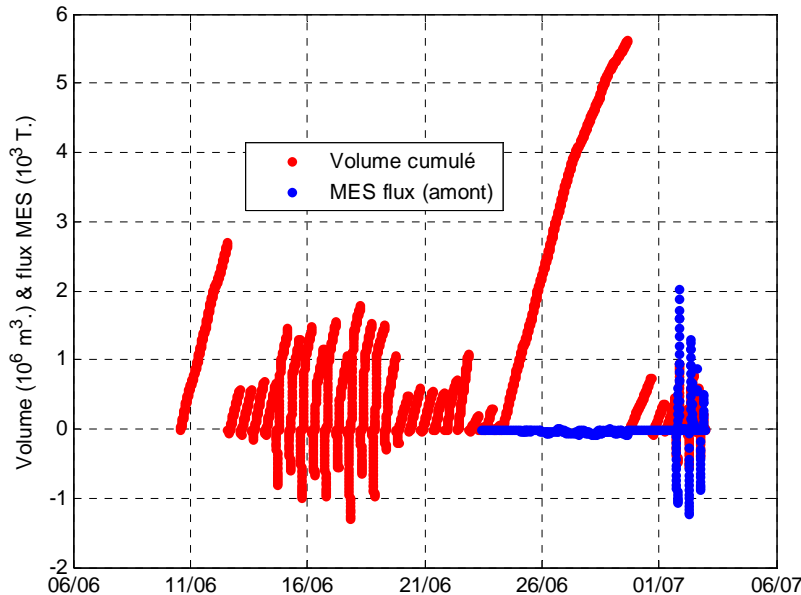


Figure 12 : Flux hydriques et pondéraux de matières en suspension en amont du barrage de Saint Savinien

Cette observation est invalidée par les observations terrain, puisque en trois marées (1 juillet au soir, coefficient 81, et 2 juillet, coefficients 84 et 86), l'envasement des transducteurs du courantomètre a été suffisant pour en empêcher les mesures. Le flux résiduel est donc sur cette période vers l'amont. Ceci n'est jamais arrivé dans les campagnes de mesures en aval (e. g. Fort Lupin), ce qui amène à l'hypothèse de concentrations et caractéristiques sédimentaires différentes, pouvant devenir rapidement relativement plus cohésives, ce qui les rendrait moins mobilisables par les vitesses de courant existantes par la suite (hypothèse restant à vérifier).

Le détail de ces événements montre que la saturation des capteurs est très rapidement atteinte (en environ 5 minutes) et perdure tout le temps du flot (Fig. 13). Lors de la renverse de courant, la concentration diminue, trahissant une légère sédimentation, puis remonte jusqu'à la saturation, là encore très rapidement (moins de 10 minutes), pour y rester jusqu'à la diminution significative du courant (fermeture des pelles du barrage).

En toute logique, en saison estivale, hors pluies, le flux descendant de MES devrait au maximum être du même ordre que celui montant, en cas de bilan sédimentaire nul. Le débit du fleuve, plus les phénomènes de sédimentation, devrait faire baisser la concentration en phase descendante. Le poids de matières sèches (MES) obtenu en phase descendante devrait donc être inférieur à celui de flot (effets dilution par le fleuve plus sédimentation), ce qui n'est pas le cas dans cette étude, ceci étant très certainement dû à la saturation des capteurs turbidité, biaisant le calcul.

Des valeurs de 30 à 70 g/l. ont ponctuellement été mesurées dans la colonne d'eau, en aval du barrage, et de 4 à 5 g/l en amont, donc des concentrations bien supérieures à la gamme de lecture et de calcul utilisée ce qui limite la portée des conclusions que l'on peut en tirer.

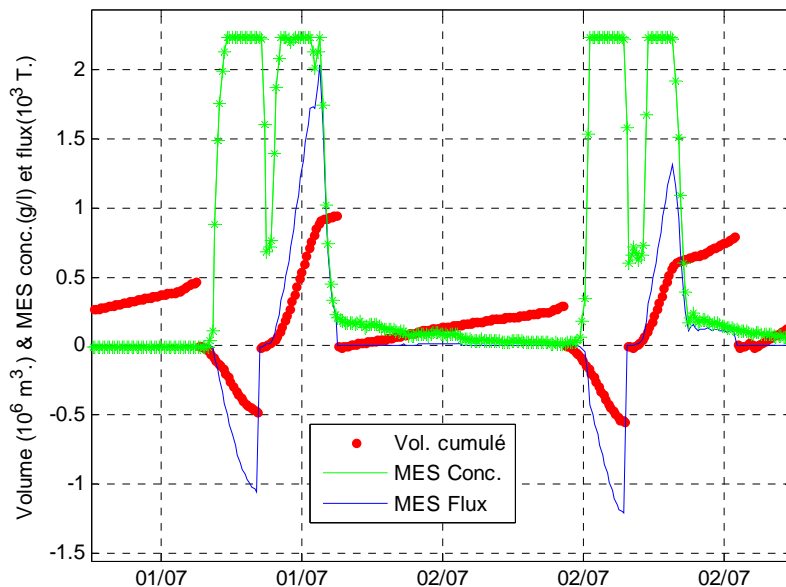


Figure 13 : Détail des flux hydriques, et de MES en concentration et masse: détail des 1 et 2 juillet 2011 au barrage de Saint Savinien

La marée précédente, du 11 au 26 juin, n'avait pas provoqué un envasement suffisant pour gêner les mesures du courantomètre. D'autre part (Fig 3), on observe une saturation du capteur aval, non liée à l'ouverture du barrage. Ceci montre que la vase est remontée sur cette période depuis l'aval jusqu'au barrage, poussée petit à petit par les coefficients de marée en augmentation (revif). La conjonction de ces coefficients en augmentation, et de la diminution importante des débits moyens journaliers du fleuve a favorisé cette remontée (fig. 14). Le phénomène s'est sans doute reproduit lors des cycles de marée suivants, jusqu'à épuisement du stock de crème de vase.

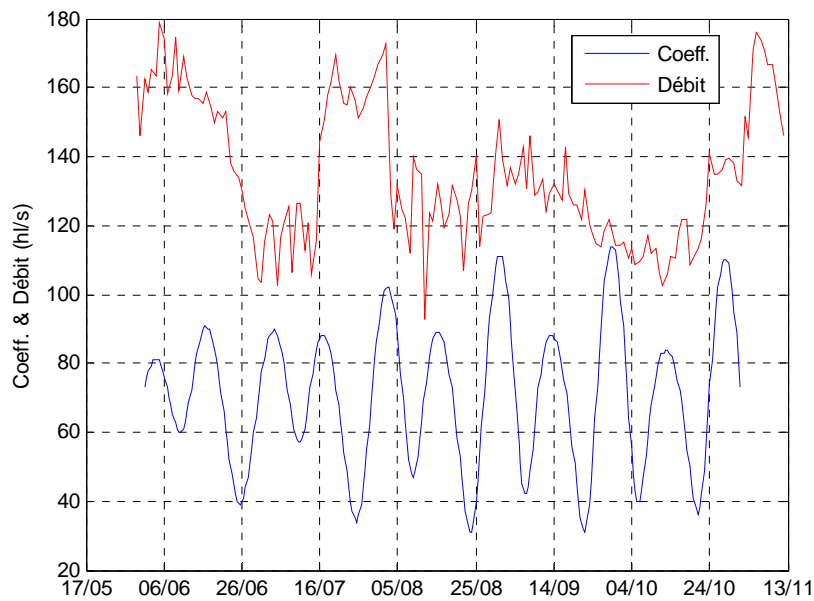


Figure 14 : Débit du fleuve Charente et coefficient de marée sur la période d'acquisition

1.7.5. Conclusions apportées par les mesures au barrage de Saint Savinien

Les vitesses de courant, sur la période où les résultats sont disponibles, dépassent juste le mètre par seconde en jusant, et 0,70 en flot, pour des coefficients de marée de 80 à 90.

Les bilans hydriques estimés sont de l'ordre de 0,5 à 0,6 millions de m³ par marée, pour monter jusqu'à 0,9 en début de déchet. L'évaluation est confortée par la comparaison aux débits mesurés sur le fleuve, les données étant très cohérentes.

La crème de vase paraît présente en aval du barrage en début de saison, puis ce stock de crème de vase semble passer de l'aval à l'amont au cours de la période (coefficients supérieurs à 80 et débit faible, inférieurs à 14 m³ par seconde en débit journalier moyen (QMJ) reconstitué à St Savinien, et 10 m³ par seconde à Chaniers-Beillant). Au cours de la campagne, la vase en amont du barrage est montée de 0,9 à 1 m ce qui a fait croire à la disparition du courantomètre qui en fait n'était qu'ensasé.

1.8. Evaluation des remontées salines au fil du fleuve

1.8.1. Mesures réalisées

L'objectif étant de quantifier et localiser les remontées salines dans l'estuaire, une série de sondes de mesure de salinité, température ont été disposées (fig. 15). Hormis celle de Saint Savinien déjà évoquée, et celle de l'Ifremer, maintenue en acquisition depuis plusieurs années, un appareil a été disposé à Tonnay Charente, et un autre à l'Houmée, de fin juin à la mi-septembre 2011. Elles ont été relevées en moyenne tous les 15 jours, nettoyées, puis remises en acquisition tout de suite après.

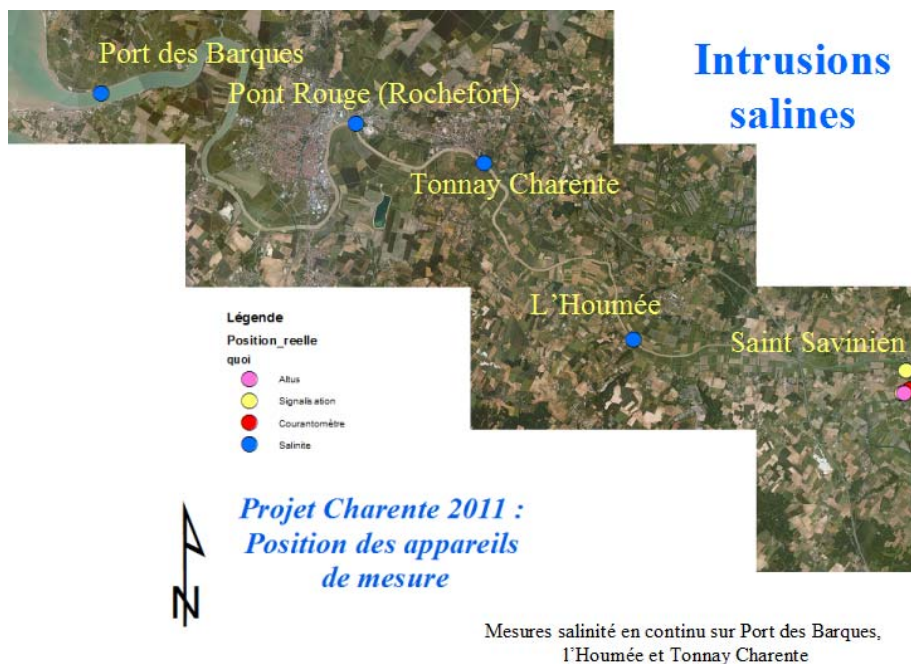


Figure 15 : Localisation des points de mesures (température, salinité, courantométrie) de juin à septembre 2011

1.8.2. Résultats acquis

On note la variabilité très importante à l'embouchure, Port des Barques (courbe rouge, fig. 16), qui s'estompe déjà à Tonnay Charente (ligne bleue), puis encore un peu plus à l'Houmée (verte), puis enfin à Saint Savinien (Noire). On note également une dilution très forte (environ 8 fois) entre Port des Barques et Tonnay Charente, où l'on passe

d'une valeur moyenne de 28,1 à 3,6 en 15,5 km de fleuve. La dilution est de 5 fois encore entre Tonnay et l' Houmée, où l'on atteint 0,68 de valeur moyenne. Le cas de Saint Savinien, déjà discuté, est un peu différent.

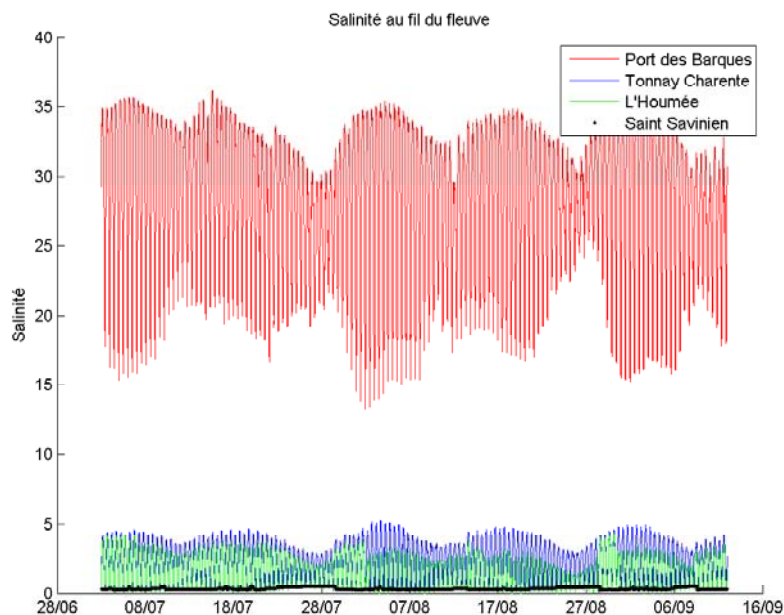


Figure 16 : Salinités mesurées sur l'été 2011 au fil du fleuve Charente

Afin de mieux visualiser les variations sur le moyen terme, les données de salinité ont été filtrées de la marée (processus statistique de désaisonnalisation, fig. 17).

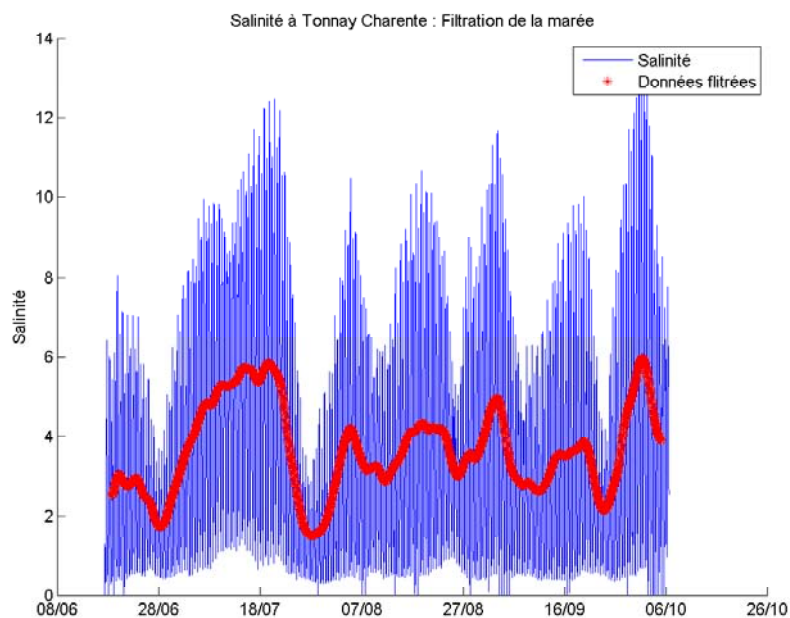


Figure 17 : Données de salinité, brutes et désaisonnalisées de la marée à Tonnay Charente, sur l'été 2011

L'ensemble des stations, une fois les données traitées, permet les observations suivantes :

Fig. 18 haut : sauf exceptions rares, toutes les hausses de salinité correspondent à des flots de marée de revif, sauf cas particulier de Saint Savinien.

Fig. 18 bas : zoom du début de campagne : Saint Savinien se présente en opposition de phase, les très légères augmentations observées se situent lors des marées de déchet, et ne présentent pas de corrélation avec les données de sites plus aval.

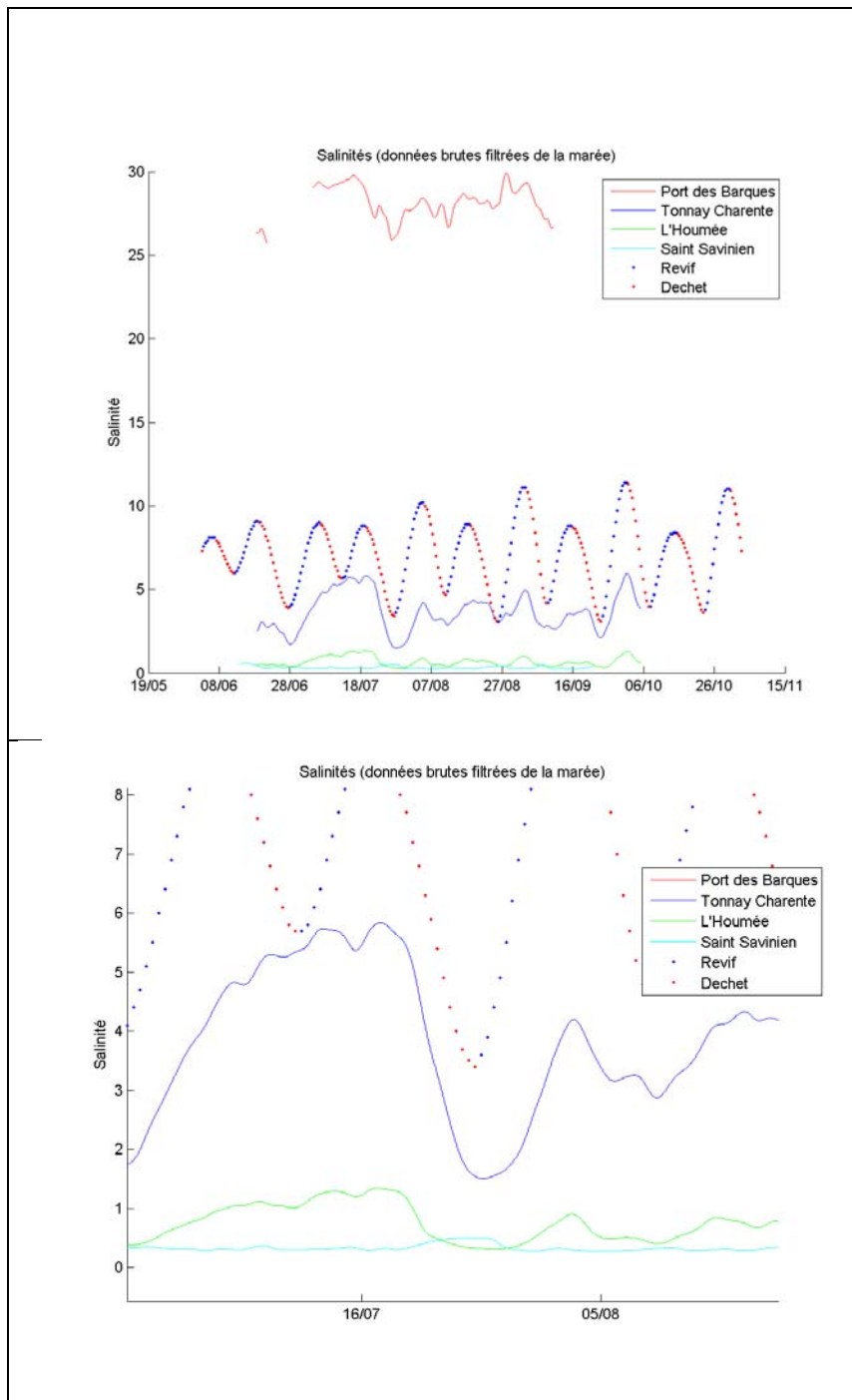


Figure 18 : Données désaisonnalisées de salinité sur les différents points suivis en 2011, ensemble de la période (haut), et détail (bas)

De ces observations, on peut conclure que ce que l'on mesure à Saint Savinien n'est pas une "salinité" marine, mais une activité ionique favorisant la montée de la conductimétrie, probablement davantage liée aux échanges avec la matière en suspension, très importante au moment des légères augmentations de la conductivité de l'eau. Cette influence de la turbidité présente au barrage sur la conductivité a d'ailleurs été vérifiée au laboratoire.

Afin de vérifier la représentativité des mesures faites proches des berges, trois profils verticaux ont été faits sur une même section du fleuve, en mesures de température et salinité:

Au niveau du pont de Saint Hippolyte aucune différence n'a été relevée, le fleuve était lors des mesures homogènes sur l'ensemble de la section mesurée.

A Saint Savinien, le même résultat a été obtenu sur 6 acquisitions.

A l'Houmée, des résultats différents ont été notés, mais imputés à des erreurs de mesure, la sonde ne pouvant aller au fond en raison du trop fort courant.

1.8.3. Conclusions sur l'intrusion saline

- Le point le plus amont impacté par les eaux marines semble se situer en amont de l'Houmée, mais en aval de saint Savinien (10 km les séparent)
- Les échanges eau-sédiment, ont probablement plus de poids à Saint Savinien que les apports marins sur les mesures de conductivité
- La norme pour les eaux potables est d'un maximum 1,055 mS (soit une salinité de 0,54 à 20°) et n'a jamais été atteinte, le maximum atteint en amont du barrage étant de 0,76 mS, et en aval : 1,01 mS, en pic et en mortes eaux à l'aval, sur l'ensemble de la période.
- Aucune intrusion saline en amont du barrage n'a été observée dans les conditions de débits et marées de l'été 2011. Celles ci sont suffisamment exceptionnelles en terme d'étiage pour conclure à l'absence de risque réel de contamination des eaux potables hors conditions très exceptionnelles (ouragan estival...). De plus, ces eaux sont prélevées encore plus en amont (3,5 et 5,3 km.) que le site suivi.

1.9. Intercalibration sur les mesures de salinité

1.9.1. Objectifs recherchés :

Le premier objectif est de comparer les données acquises par les partenaires (Saur et UNIMA) en terme de salinité, ou conductivité/température. Une harmonisation de la perception et du discours des différents acteurs sur la salinité est également recherchée.

1.9.2. Démarche retenue

La méthode retenue a été de doubler les sondes de mesure de l'UNIMA à Pont Rouge (fig 2) et à Port La Touche (fig. 19). Pont Rouge est le passage de l'alimentation en eau douce du marais de Rochefort Nord. Port la Touche en est la station de pompage, qui alimente également la station de traitement de Saint Hippolyte assurant la fourniture en eau potable de Rochefort. La station de la Saur est située sur Coulonges; elle traite et alimente la ville de La Rochelle en eau potable (fig 19). Les stations de Port La Touche et de Coulonges se trouvent respectivement à 3,5 et 5,3 km en amont du barrage de Saint Savinien.



Figure 19 : Localisation des points amont de mesures d'intercalibration

Les données de conductivité/température acquises par les partenaires ont été converties en salinités pour pouvoir les comparer entre elles, et à celles acquises par l'Ifremer.

1.9.3. Résultats

Les données acquises sur pont Rouge, et fournies par l'UNIMA sont cadencées toutes les 5 minutes, et comportent des températures et conductivité à 3 niveaux différents. L'Ifremer, a fait le choix de se caler au mieux sur la sonde intermédiaire, à 1m du radier. L'ajustement en hauteur des deux appareils a été rendu délicat par l'inaccessibilité du site. Les mesures de l'Unima, transformées en salinité, sont très cohérentes avec celles de l'Ifremer en terme de salinité (fig. 20, haut). La différence observée sur le zoom (fig. 20, bas) relève d'un petit écart en altitude. La sonde Ifremer sortant du banc de calibration fournit des données qualifiées d'un point de vue qualité métrologique. Les données de l'UNIMA sont donc également qualifiées par cette validation croisée.

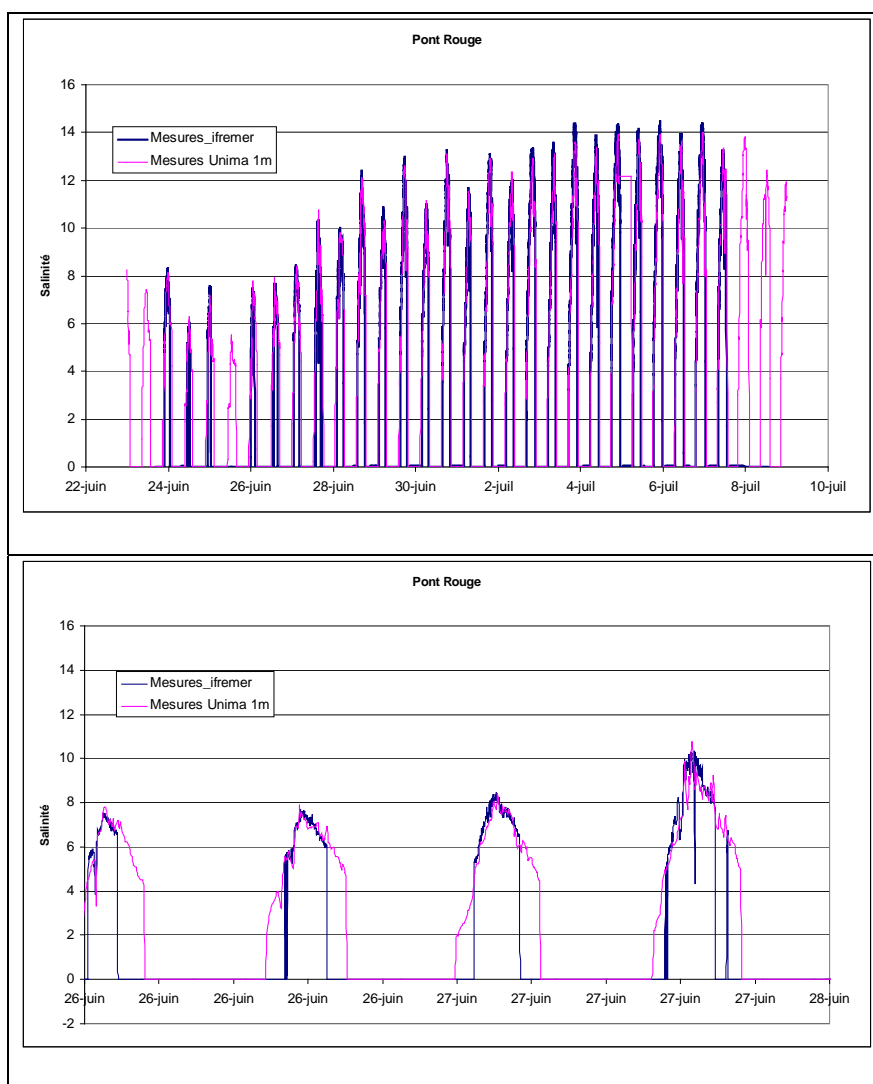


Figure 20 : Mesures de salinité à Pont Rouge : comparaison résultats UNIMA-Ifremer, (haut) intégralité de la période de recoupement , et (bas) détail.

Les données UNIMA de Port La Touche (PLT) sont comparées à celles de l'Ifremer et de la Saur à Coulonges, après transformation des différents jeux conductivité/température en salinité (Fig. 21). Les données de la Saur ne comportent

qu'un couple conductivité/température journalier, et sont pour cela représentées par un point.

L'ensemble des données se situe entre 0,2 et 0,35 de salinité. La précision des capteurs évaluée au banc métrologique de l'Ifremer est de 0,2. Ces capteurs sont plus adaptés à des salinités plus élevées, mais ont été vérifiés dans ces conditions (cf. annexe 2).

L'ensemble des mesures se situant dans la gamme d'incertitude de celles de l'Ifremer sont donc à priori valides. La précision et la sensibilité du capteur utilisé par l'UNIMA est à priori plus adaptée à cette gamme de mesure de conductivité que celles de l'Ifremer. On ne peut juger de la sensibilité de la mesure Saur avec un seul point journalier, mais de toutes manières, si un système d'alerte s'avérait nécessaire, Port La Touche étant 1,8 km en aval de Coulonges, et sa sensibilité avérée, il parait le plus indiqué comme déclencheur.

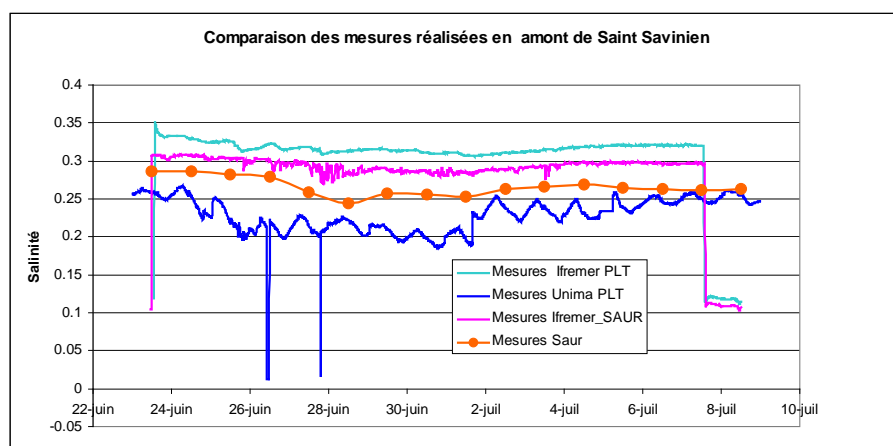


Figure 21 : Comparaison des mesures réalisées à Port La Touche (PLT : UNIMA-Ifremer) et Coulonges (SAUR-Ifremer)

1.9.4. Discussion - conclusion : la mesure de salinité

Aminot³, Copin-Montégut⁴ ont défini chimiquement ce que sont la conductivité et la salinité en apportant des éléments suivants sur la mesure de la conductivité et sa variabilité.

En conditions marines, la concentration en sels dissous est traditionnellement évaluée par la conductivité. Elle est l'inverse d'une résistance électrique. Le principe de la mesure est le suivant :

On sait que sous l'effet d'une charge électrique, les ions sont accélérés, et que cette mobilité (ce qui est mesuré par la conductimétrie) est caractéristique de l'ion, du solvant (eau dans notre cas), de la température et de la pression. En solution très diluée (eau

³ Aminot, A. et Kerouel, R. 2004 : Hydrologie des écosystèmes marins, paramètres et analyses

⁴ Copin_Montégut, G. : Chimie de l'eau de mer, Editions de l'Institut Océanographique

douce) les mobilités sont réduites donc la conductivité faible; l'augmentation de la pression (ou de la température) fait augmenter la conductivité.

Normalement, l'algorithme transformant le couple conductivité/température en salinité n'est utilisable au dessus d'une valeur de salinité de 2 (Aminot). Cependant, il ajoute que la mesure dépend des instruments, de leur précision et de leur étalonnage. Dans le cadre de ce travail, nous avons vérifié l'étalonnage des capteurs, et la validité de la conversion en salinité dans les gammes mesurées, afin de pouvoir comparer les données conductivité/température entre elles. D'autre part, la technologie des instruments de mesure a beaucoup évolué depuis la publication Aminot,2004.

D'un point de vue scientifique, dans ces gammes de valeurs, il serait donc plus correct de parler de conductivité à une température donnée que de salinité. En fleuve plus encore qu'en mer, la nature géochimique des fonds a une influence déterminante sur la composition chimique de l'eau, donc sur la conductivité. A chaque instant s'établit un équilibre entre la composition des sédiments et celle de l'eau.

- Les terrains sablonneux ou granitiques fournissent des eaux acides et peu minéralisées.

- Les terrains calcaires fournissent des eaux calcaires, minéralisées et incrustantes.

Les chlorures et le sodium, prédominants en mer sont remplacés par des bicarbonates et du calcium dans les fleuves (cf Annexe 4)

Il ressort de ce travail que

- les différentes mesures réalisées sont cohérentes, quasiment identiques sur Pont Rouge avec celles validées par la métrologie Ifremer
- le capteur et la sensibilité des mesures de l'Unima à Port La Touche peuvent à priori servir de référence d'alerte, bien que le risque estimé d'intrusion saline à ce niveau soit écarté.

1.10. Étude de faisabilité technique sur la dynamique hydrosédimentaire des fonds (amont du barrage)

1.10.1. Objectif des travaux

L'objectif de cette phase de faisabilité technique, préalable à toute étude sédimentologique en phase 2 était de tester la tenue des équipements (altimètres, notamment) sur les fonds très mobiles d'un fleuve comme la Charente. C'est pour cette raison qu'il a été réalisé un nouveau bâti sur les conseils du laboratoire Ifremer Dynéco/Physed à Brest qui a de plus aidé à la configuration des paramètres choisis pour cette étude. Le financement et la conception de ce bâti ont engendré un retard de mise en œuvre qui a conduit à revoir la stratégie d'échantillonnage prévue dans le cadre des 'Opérations programmées' (p.16-17), notamment en installant un seul altimètre en un simple point (centre du lit du fleuve) en amont du barrage de Saint-Savinien, ceci sans courantomètre ADV associé (fig.2, p.18). Une double carotte sédimentaire a été réalisée permettant la caractérisation sédimentologique des fonds à proximité de l'altimètre.

1.10.2. Déroulement des travaux

Placé le 13/10 en amont du barrage de Saint-Savinien au fond de la Charente dans sa partie médiane, cet altimètre avait été installé avec toutefois des incertitudes constatées lors de la pose par les plongeurs au sujet de sa tenue au fond, même avec un nouveau bâti sensé permettre une meilleure accroche dans cette vase très molle, voire fluide en surface : cet état de très faible cohésion a d'ailleurs été confirmé lors d'analyses rhéologiques effectuées sur des niveaux sédimentaires choisis à partir de carottes prélevées sur 30 cm ce jour-là.

Cet altimètre *in situ* a été relevé le 30/11, soit près de 7 semaines après sa pose ce qui correspond à un délai suffisant pour cet essai de faisabilité technique. Or, cet altimètre a été retrouvé par les plongeurs enfoncé dans la vase de telle façon que le transducteur soit juste à la surface du fond, ce qui rend inopérante la mesure du niveau sédimentaire (la distance minimale requise est de l'ordre de 20 cm). Ainsi, en termes de données, l'écho max et la hauteur d'eau (profondeur) ont uniquement été enregistrés, ce qui montre une configuration initiale correcte. Seul, un bon positionnement vertical a fait défaut contribuant à l'absence de données sur les 3-4 voies disponibles pour visualiser le niveau sédimentaire et son évolution temporelle.

1.10.3. Résultats

1.10.3.1. Paramètres hydrosédimentaires

L'altimètre Altus (NKE) permet de façon autonome et en continu l'enregistrement des grandeurs physiques suivantes : (i) le niveau maximum du signal reçu par le transducteur (écho max), sur une voie, et qui permet la vérification du bon fonctionnement acoustique et le calage des autres signaux ; (ii) la profondeur, sur une voie également ; (iii) l'altitude, sur 4 voies, ce qui peut permettre de distinguer différentes fines couches sédimentaires superficielles, à condition qu'elles soient de nature et de consolidation très différentes.

Dans le cas présent, comme on l'a vu précédemment, outre l'écho max qui ne conduit à aucune indication d'ordre hydrosédimentaire, seule la profondeur a été enregistrée (fig.22), l'absence totale d'enregistrement de l'ensemble des voies correspondant au niveau sédimentaire indique que l'appareil s'est sans aucun doute enfoncé dès le début des travaux dans cette crème de vase fluide.

Néanmoins, l'enregistrement partiel présenté ici montre les variations des niveaux d'eau dans la zone mesurée, liées à la gestion du plan d'eau par l'ouverture et la fermeture des pelles du barrage : ceci est particulièrement évident dans le cas des 'dents de scie' visibles dans le graphique ci-après, lors de l'ouverture journalière de ces dernières à des coefficients de marée supérieurs à 80, permettant ainsi la chasse de l'eau douce accumulée en amont du barrage.

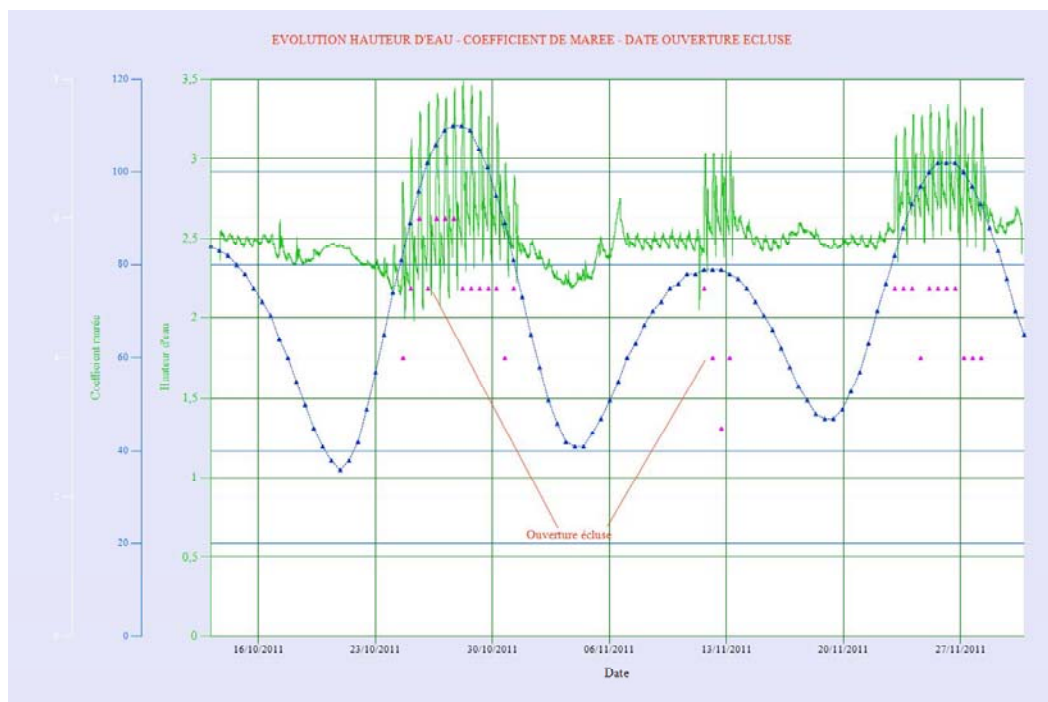


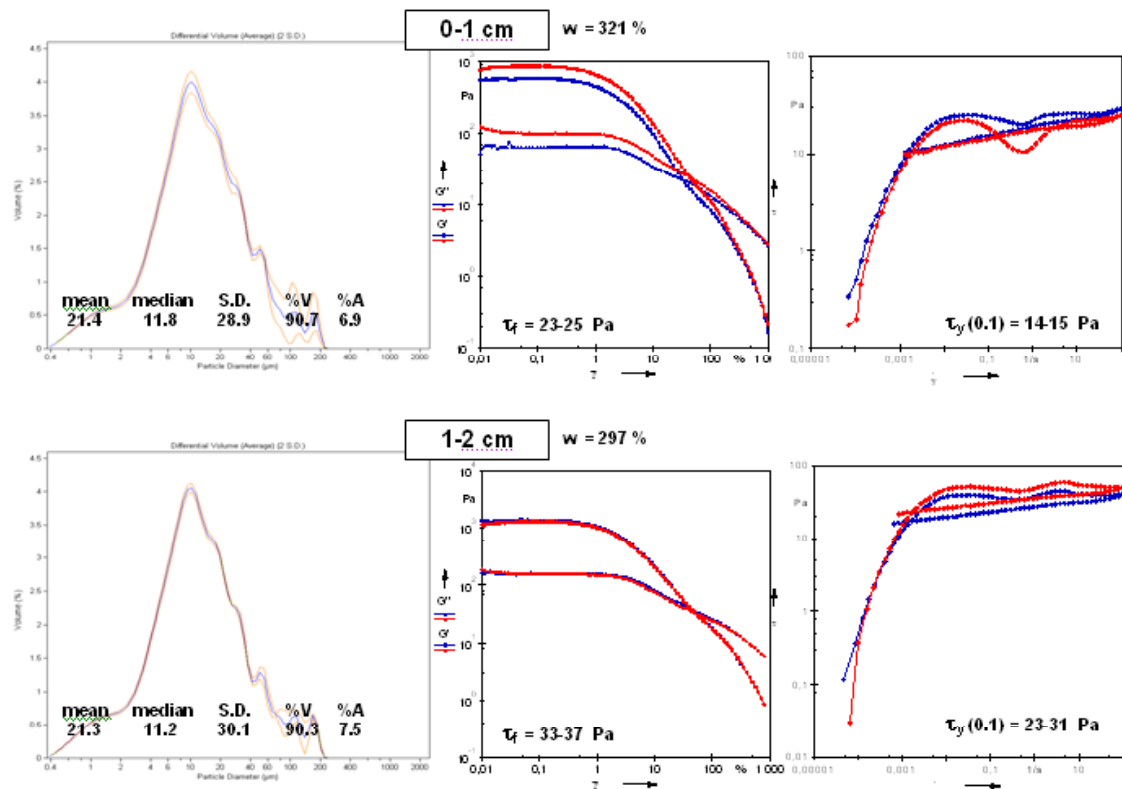
Figure 22 : Enregistrement des voies 'écho max' et profondeur de l'altimètre installé

1.10.3.2. Paramètres sédimentaires

À partir de la double carotte prélevée à proximité de l'altimètre lors de sa pose, il a été effectué des analyses microgranulométriques pour déterminer la taille des particules du fond sédimentaire correspondant, ainsi que des analyses rhéologiques afin de caractériser l'état comportemental (mécanique) des niveaux superficiels de ce dernier (jusqu'à 30 cm de profondeur sédimentaire) afin d'appréhender leur capacité d'érosion et de dépôt, en couplant ces résultats avec les données hydrosédimentaires.

– Pour avoir plus d'informations sur ces analyses, se reporter à : <http://www.ifremer.fr/lerpc/Moyens/Unite-Sedimentologie>

Les résultats sont présentés ci-dessous (fig. 23) : pour chacun des 6 niveaux prélevés (0-1 cm / 1-2 cm / 2-5 cm / 5-10 cm / 10-20 cm / 20-30 cm), d'une part la distribution de la taille des particules, ainsi que les principaux paramètres texturaux (moyenne, médiane, écart-type, teneur en vase, teneur en argiles), est placée à gauche de la représentation graphique, d'autre part les paramètres comportementaux, déduits d'essais rhéophysiques, le sont à droite. Ces derniers sont composés de la teneur en eau (w), du point d'écoulement (τ_f) lié aux propriétés visco-élastiques du sédiment et du seuil d'écoulement significatif (τ_y au taux de 10^{-1}) lié aux propriétés visco-plastiques, ces différents paramètres caractérisant l'état comportemental du sédiment, comme sa fluidité (*versus* compacité), sa cohésion, son état de consolidation Et permet d'estimer notamment sa capacité à la remise en suspension (donc à l'érosion) et à son transport sous l'effet de courants ou de clapots.



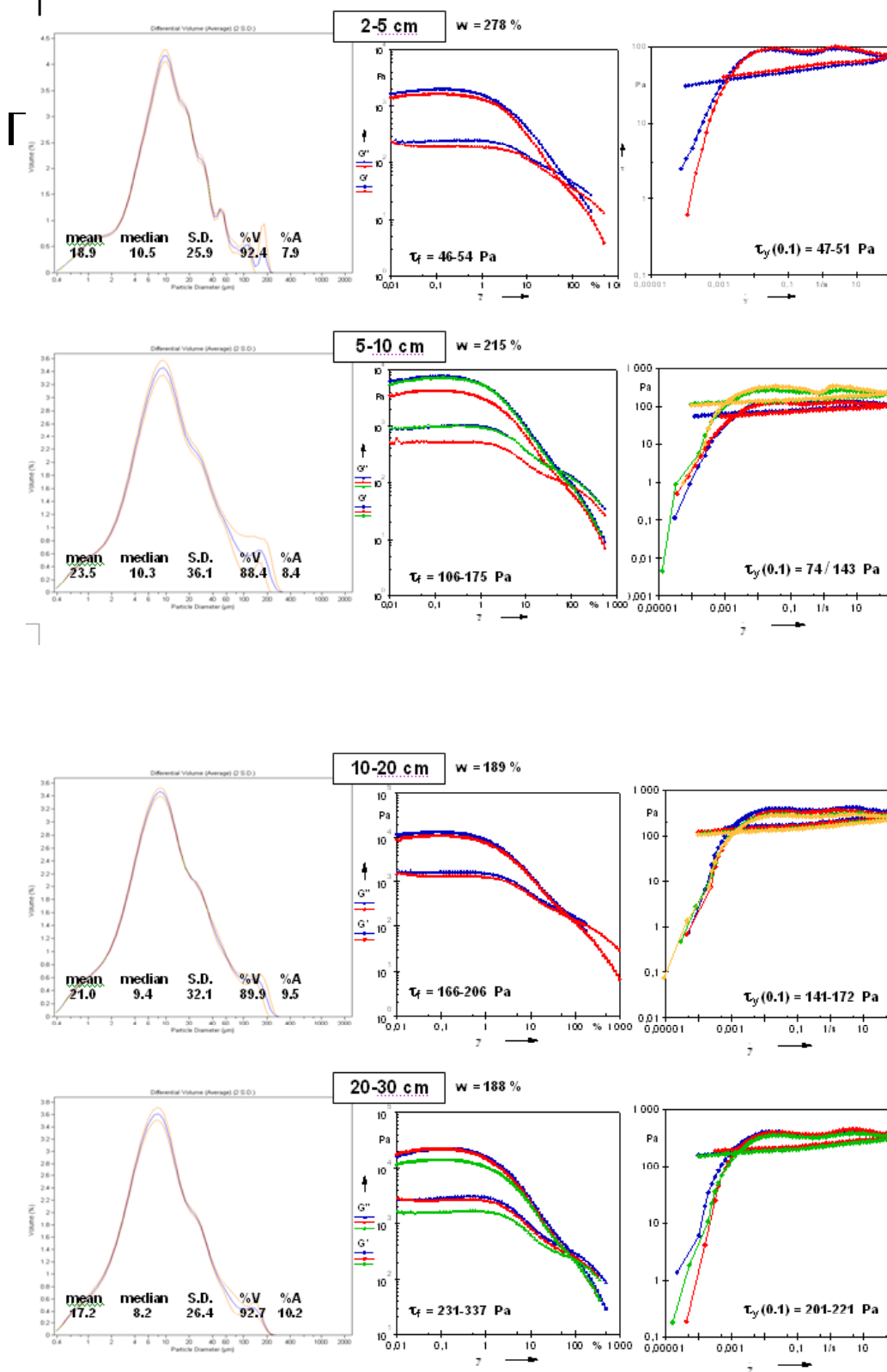


Figure 23 : Fiche synthétique des paramètres sédimentologiques étudiés :

- à gauche, les paramètres texturaux (taille de particules) ;
- au milieu et à droite, les paramètres comportementaux
(à droite, la viscoplasticité <> cohésion ; au milieu, la viscoélasticité <> transition solide-liquide)

Succinctement, les résultats montrent que le sédiment étudié est : (i) de type vaseux (%V de 88 à 92%), homogène et sans remaniement tout le long des trente centimètres de sédiment prélevé, ce qui implique une sédimentation en un bloc de cette 'crème de vase' (de l'ordre de 200 % de teneur en eau sur l'ensemble, avec 300% sur les 5 premiers centimètres) ; (ii) caractérisé par un comportement mécanique de type rhéofluidifiant à seuil, mais faiblement

thixotrope (voir fig. 23), ce qui signifie que sa cohésion, faible dans les premiers centimètres et augmentant sensiblement dans les niveaux inférieurs, conduira à un matériau érodable en surface, mais susceptible de ne plus l'être en profondeur, cette constatation étant confirmée par l'examen de l'augmentation également progressive du 'point d'écoulement' selon la profondeur sédimentaire. Il est donc nécessaire en ce point en amont du barrage de procéder à des curages périodiques et d'ampleur suffisante pour éviter une compaction progressive des sédiments en profondeur.

1.11. Résumé des acquis

Flux au niveau du barrage de Saint Savinien :

Les vitesses de courant, sur la période où les résultats sont disponibles, dépassent juste le mètre par seconde en jusant, et 0,70 en flot, pour des coefficients de marée de 80 à 90.

Les bilans hydriques estimés sont de l'ordre de 0,5 à 0,6 millions de m³ par marée, pour atteindre 0,9 en début de déchet.

La crème de vase, présente en aval du barrage en début de saison, puis le stock présent semble passer de l'aval à l'amont au cours de la période, dans les conditions propices à ce phénomène :

- coefficients supérieurs à 80
- débit faible, inférieurs à 14 m³ par seconde en QMJ reconstitué à St Savinien, et 10 m³ par seconde à Chaniers-Beillant. Au cours de la campagne, la vase en amont du barrage est montée de 0,9 à 1 m (ce qui a fait croire à la disparition du courantomètre).

Intrusions salines

- Le point le plus amont impacté par les eaux marines paraît se situer en amont de l'Houmée, mais en aval de saint Savinien (10 km les séparent)

- La norme pour les eaux potables, d'un maximum 1,055 n'a jamais été atteinte, le maximum en amont du barrage étant de 0,76 mS, et en aval : 1,01 mS, en pic et en mortes eaux à l'aval.

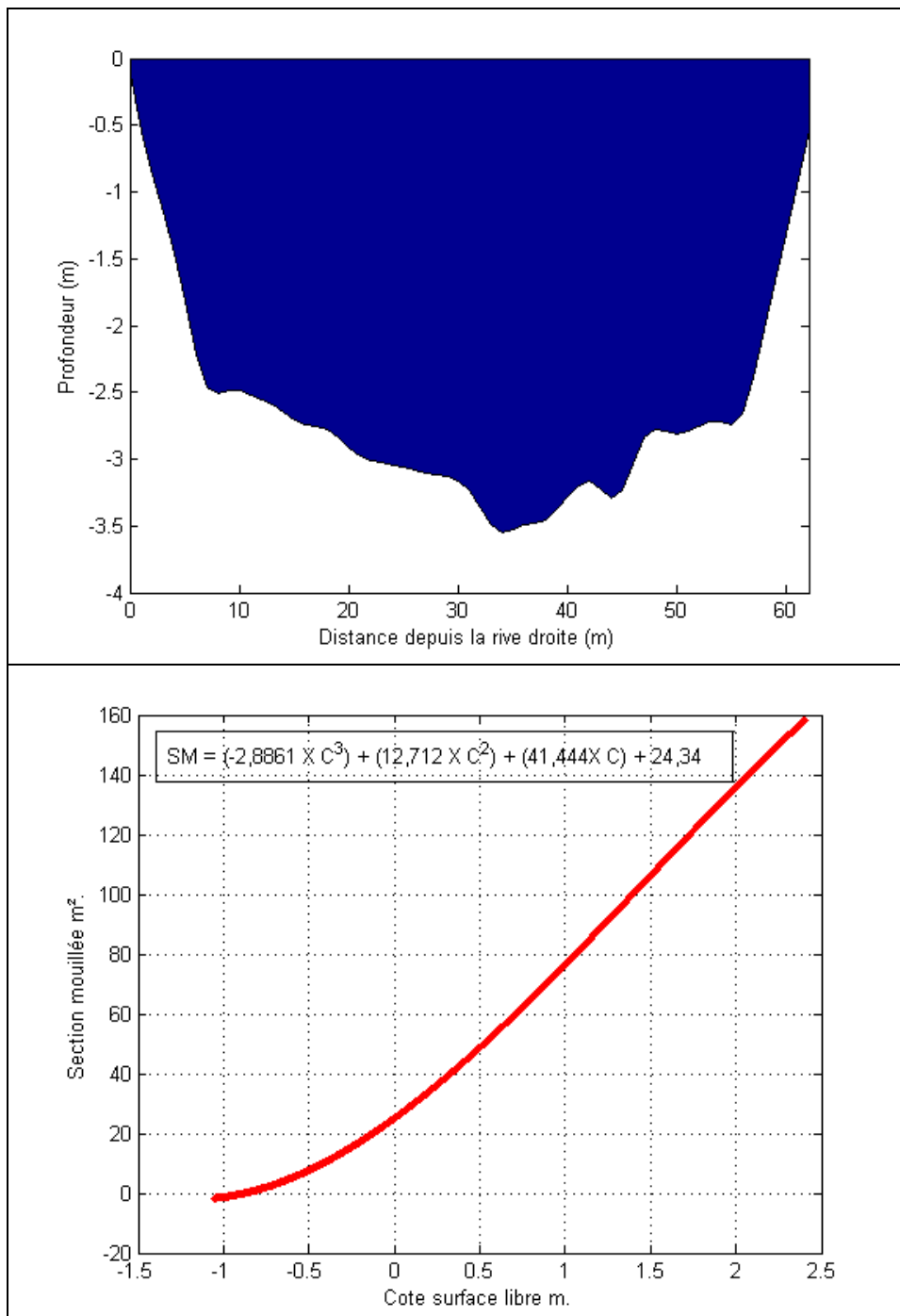
- Aucune intrusion saline en amont du barrage n'a été observée dans les conditions de débits et marées de l'été 2011. Celles ci sont suffisamment exceptionnelles en terme d'étiage pour conclure à l'absence de risque réel de contamination des eaux potables hors conditions très exceptionnelles (ouragan estival...). De plus, ces eaux sont prélevées encore plus en amont (3,5 et 5,3 Km.) que le site suivi, minimisant encore ce risque.

Intercalibration UNIMA SAUR IFREMER

- les différentes mesures réalisées sont cohérentes, voire très cohérentes sur Pont Rouge (Unima) avec celles validées par la métrologie Ifremer
- le capteur et la sensibilité des mesures de l'Unima à Port La Touche peuvent à priori servir de référence d'alerte, bien que le risque estimé d'intrusion saline à ce niveau soit écarté.

1.12. Annexes

1.12.1. Annexe 1 : Section mouillée en amont du barrage



1.12.2. Annexe 2 : Calibration - vérification des sondes

Rédacteur : JM Chabirand le 16/09/2011

-Les sondes multiparamètres

1 Sondes Ysi

Ces sondes sont équipées par défaut de capteurs de salinité/température, auxquels vient s'ajouter selon le besoin un capteur optique (en l'occurrence pour notre expérimentation un capteur de turbidité à 4000 NTU).

Pour la mesure de salinité et de turbidité ces sondes ont été déployées sur le site amont/aval du barrage de St-Savinien. Elles ont été calibrées dans de l'eau de mer à une salinité de 30 avant leur déploiement terrain. Le constructeur annonce des spécifications dans une gamme de mesure en salinité de 0 à 70 avec une précision de 0,1 et une résolution de 0,01.

1.1 Confirmation Métrologique des sondes Ysi

A l'aide du banc d'étalonnage du laboratoire une vérification de la sonde Ysi N° 483 a été réalisé le 30/06/2011 après un déploiement de 15 jours sur le site amont avec de l'eau douce du robinet à 20°C, les écarts sont présentés dans le tableau 1.

Les tableaux 2-3 montrent les résultats des étalonnages sur le même type de sonde N° 236 l'un réalisé avec de l'eau distillée et l'autre à une salinité de 2,99 le 08/09/11.

Tableau 1 Résultats eau du robinet à 20°C:

Sonde	Référence (mS/cm)	Référence (salinité)	Sonde (mS/cm)	Sonde (salinité)	Ecart (mS/cm)	Ecart (Salinité)
YSI-N°483	0,806	0,44	0,81	0,44	-0,005	-0,011

Tableau 2 Résultats eau distillée à 20°C:

Sonde	Référence (mS/cm)	Référence (salinité)	Sonde (mS/cm)	Sonde (salinité)	Ecart (mS/cm)	Ecart (Salinité)
YSI-N°236	0,169	0,091	0,16	0,09	-0,005	-0,011

Tableau 3 Résultats salinité à 2,99 à 20°C

Sonde	Référence (mS/cm)	Référence (salinité)	Sonde (mS/cm)	Sonde (salinité)	Ecart (mS/cm)	Ecart (Salinité)
YSI-N°236	4,98	2,99	4,98	2,99	0	0

Pour les trois bains les écarts de salinités relevés sont très faibles.

2. Sonde nke STPS

Le constructeur annonce des spécifications dans une gamme en salinité de 2 à 42 avec une précision de $\pm 0,1$ g/l. La gamme en conductivité annoncée est quand à elle plus large car elle se situe entre de 0 à 70 mS/cm, ce qui prouve que ces sondes sont capables de mesurer dans de faibles salinités.

2.1 Confirmation métrologique des sondes nke

Les étalonnages ont été réalisés sur les 2 sondes TPS déployées et 1 sonde STPS dans trois bains de salinité à 20°C le 08/09/2011. Les écarts en conductivité/salinité sont présentés dans les tableaux 3, 4 et 5.

Tableau 3: Résultats eau distillée à 20°C

Sondes	Etalon (mS/cm)	Etalon (salinité)	Sonde (mS/cm)	Sonde (salinité)	Ecart (mS/cm)	Ecart (Salinité)
N°406	0,17	0,09	0,16	0,09	-0,01	0
N°182	0,17	0,09	0,27	0,14	0,1	0,05
N°183	0,17	0,09	0,23	0,12	0,06	0,03

Tableau 4 : Résultats salinité à 2,99 à 20°C

Sondes	Etalon (mS/cm)	Etalon (salinité)	Sonde (mS/cm)	Sonde (salinité)	Ecart (mS/cm)	Ecart (Salinité)
N°406	4,98	2,99	4,96	2,98	-0,02	-0,01
N°182	4,98	2,99	4,99	3,00	0,01	0,01
N°183	4,98	2,99	4,96	2,98	-0,02	0,01

Tableau 5 : Résultats salinité à 6,04 à 20°C

Sondes	Etalon (mS/cm)	Etalon (salinité)	Sonde (mS/cm)	Sonde (salinité)	Ecart (mS/cm)	Ecart (Salinité)
N°406	9,60	6,04	9,59	6,03	-0,01	0,01
N°182	9,60	6,04	9,57	6,02	-0,03	0,02
N°183	9,60	6,04	9,56	6,01	-0,02	0,02

Les résultats de ces étalonnages ont été discutés avec l'ingénieur Monsieur Pitros. Celui ci a confirmé qu'ils sont conformes aux spécifications en salinité pour ce type de sonde. Il a indiqué qu'il est possible de les calibrer dans des salinités proches de zéro a condition de faire un réglage de l'électronique puis un calibrage approprié.

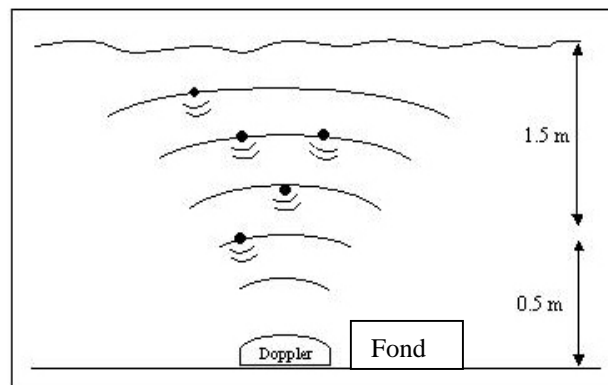
1.12.3. Annexe 3 : Fiches techniques des matériels utilisés

COURANTOMETRE A EFFET DOPPLER

Principe de la mesure

Cette technique utilise l'écho des particules en suspension (propagation de l'onde) pour mesurer la vitesse du courant (on suppose que les particules se déplacent avec le courant). L'ADCP ne fonctionne pas dans les eaux très claires (peu de particules en suspension).

Deux transducteurs d'ultrasons se trouvent dans la tête du capteur d'OTT ADC. Lors de la mesure de la vitesse d'écoulement, ils émettent des signaux ultrasons qui réfléchissent sur les particules se trouvant dans le cours d'eau et sont renvoyés sous forme de signaux d'écho. Les signaux d'échos sont reçus par les transducteurs et numérisés via un processeur numérique (DSP) en tant que modèle d'écho. Après une courte pause, la procédure est répétée, un deuxième modèle d'écho est générée. Le Dsp vérifie à l'aide d'une méthode mathématique si les deux modèles d'écho se ressemblent et calcule leur décalage temporel. Le décalage est ensuite utilisé pour le calcul de la vitesse d'écoulement.



Mise à l'eau du courantomètre (Photo Ifremer)



Tête du capteur

SONDES MULTIPARAMETRES

La sonde multiparamètre (Ysi 600OMS) est équipée d'un capteur optique permettant la mesure de la turbidité (transparence du milieu) en équivalent Formazine, elle est équipée de capteurs de température et de salinité qui est déterminée par la mesure de conductivité. Le capteur optique est protégé par un patin venant racler la surface afin d'éviter des dérives dues au développement du biofouling.



Etalonnage de la sonde Ysi sur le Banc d'étalonnage



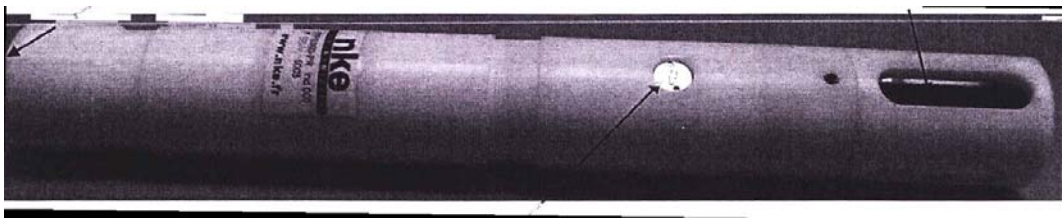
Capteur optique de turbidité à 4000 FNU avec patin

Caractéristiques Sonde Ysi

- Gamme de salinité : 0 à 70 g/l Incertitude de mesure 0,2g/l
- Gamme de température : -5° à + 45°C Incertitude de mesure 0,2°C
- Gamme de turbidité : 0 à 4000 FNU, précision $\pm 0,5\%$ de la lecture

Sonde STPS NKE Instrumentation :

Cette sonde (STPS nke Instrumentation) est équipée de capteurs de conductivité, température et pression. Capable d'enregistrer sur plusieurs années elle sera utilisée tout au long de l'étude et gérée selon un calendrier précis de relevage des données sur les sites suivis, puis au final sera étalonnée sur le banc d'étalonnage du LER/PC.



- Gamme salinité : 0 à 70 mS/cm
- Gamme de température : -5° à + 35°C Incertitude de mesure : 0,3 °C

LABORATOIRE DE METROLOGIE

Au cours de ces dernières années le LER/PC s'est équipé d'un banc d'étalonnage capable grâce à deux bains thermostatés de réaliser des étalonnages sur une gamme de température étendue (5°C à 25°C). Ces bains de grande capacité (30 litres) ont une homogénéité de 0,05°C. Remplis d'eau de mer de différentes dilutions, ils servent particulièrement à faire des vérifications combinés sur plusieurs paramètres en même temps (conductivité, salinité, oxygène dissous, turbidité). Ce sont surtout les sondes multiparamètres déployées en mer et dans les estuaires qui sont vérifiées. Les vérifications de la conformité des données sont réalisées grâce à différents instruments étalons qui sont décrits dans l'illustration ci dessous.



- Salinomètre étalon (Précision 0,14 de salinité)
- Thermomètre étalon « Dostmann » (Précision 0.03°C)
- Conductimètre étalon « Knick » (Précision 0,13°C, -0,05 mS/cm)
- Oxygène étalon
- Réserves d'eau de mer
- Bain thermostaté
- Sondes multiparamètres

SYSTEME ALTIMETRIQUE « ALTUS »

Principe de la mesure :

L'Altus est un altimètre immergeable à ultrasons permettant d'enregistrer avec précision (± 2 mm, entre 20 et 70 cm de distance du fond) à haute fréquence et en continu sur des mesures courtes ou sur plusieurs mois. Il permet de mesurer les variations du niveau sédimentaire afin de qualifier un dépôt ou une érosion et de mesurer la hauteur d'eau grâce à un capteur de pression dont la gamme est de 0 à 20 m et la précision de ± 6 cm.

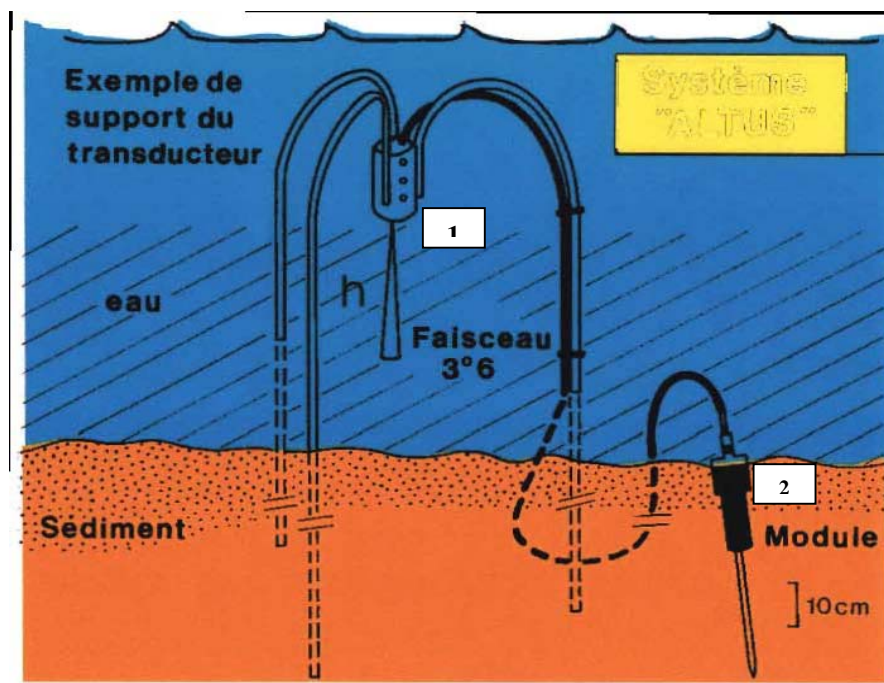
Il est composé d'un échosondeur ou transducteur et d'un module d'enregistrement contenant la mémoire de l'appareil, les batteries et un capteur de pression à membrane servant à la fois d'interrupteur et permettant la détermination de la hauteur et de la période des vagues.

Basé sur le principe d'un échosondeur classique mais avec une fréquence d'émission d'ondes acoustiques de 2 MHz il est constitué de deux parties.

Le transducteur acoustique (1) est positionné à une trentaine de centimètre au dessus du sédiment et orienté vers le bas.

Le module enregistreur déporté (2) du transducteur est relié par un câble et sert de base d'enregistrement des données et d'énergie.

Le principe de détermination de l'altitude du sédiment s'effectue par le calcul du temps de trajet aller-retour d'une onde acoustique émise par l'appareil entre l'appareil et le fond. Ce temps de trajet depuis l'émission de l'onde acoustique et sa réception par le transducteur est converti en distance. L'enregistrement se fait sur plusieurs niveaux d'échos (niveau d'énergie acoustique) ainsi que les variations de la hauteur d'eau.



L'Altus requiert 1 à 4 seuils de détections d'énergie acoustique reçue, correspondant à la hauteur transducteur-sédiment et ceci à la cadence désirée. Ces seuils permettent de préciser l'interface eau-sédiment et sont les indicateurs de l'état de sédimentation/consolidation des dépôts.



Schéma de principe

1.12.4. Annexe 4 : Composition de l'eau : mer et minérale

