



Impact d'un barrage intra-estuarien sur la dynamique sédimentaire : la retenue de Saint-Savinien (Charente-Maritime)

Sabine SCHMIDT¹, Eric MANEUX², Aymeric DABRIN¹, Georges OGGIAN¹,
Hervé DERRIENNIC¹, Gérard BLANC¹

1. CNRS, UMR5805 EPOC, Avenue des Facultés, 33405 Talence Cedex, France.

s.schmidt@epoc.u-bordeaux1.fr

2. GEO Transfert – ADERA, Pessac, France.

e.maneux@epoc.u-bordeaux1.fr

Résumé :

La Charente présente dans sa section estuarienne un système de régulation constitué d'un bras naturel et d'un bief. Le canal naturel dispose d'un barrage en aval de la commune de Saint-Savinien (17) pour maintenir le plan d'eau à une cote donnée. Le canal de dérivation permet d'éviter le seuil naturel de Saint-Savinien et fonctionne avec un barrage mobile. Juste en amont de ce canal, la Charente présente une zone à forte accumulation sédimentaire, qui a pour conséquence une réduction de la capacité hydraulique et pourrait conduire à une gestion des sédiments par dragage.

L'objectif de ce travail était de caractériser la sédimentation dans cette section estuarienne de la Charente et d'évaluer les interactions entre la dynamique sédimentaire, la morphologie locale et la régulation hydraulique. Une approche indirecte pour quantifier le dépôt sédimentaire en zone côtière à l'échelle de la décennie consiste à combiner plusieurs radioéléments de périodes et de sources différentes : ⁷Be ($T_{1/2}=53$ jours), ²¹⁰Pb ($T_{1/2}=22,3$ ans) et ¹³⁷Cs ($T_{1/2}=30$ ans). Une étude sédimentologique (porosité, granulométrie, radioéléments) a ainsi été conduite sur deux carottes prélevées dans le bras naturel de la Charente et en amont du bief de Saint Savinien

Les taux d'accumulation, dérivés du ²¹⁰Pb_{xs}, sont élevés, de 12 à 28 cm an⁻¹, les plus importants étant observés en amont du bief de Saint-Savinien. L'absence de pics de ¹³⁷Cs valide par défaut ces vitesses. Cette forte sédimentation locale est associée à une épaisse couche de crème de vase, marquée en surface par ⁷Be, un traceur de dépôt récent. Ces résultats sont discutés en fonction des conditions particulières présentes dans cette section de la Charente estuarienne (morphologie locale, régulation hydrologique liée aux barrages fixe et mobile).

Mots-clés :

Estuaire – Barrage – Impact – Sédiments – Taux de Sédimentation – Charente – ²¹⁰Pb – ¹³⁷Cs – ⁷Be

1. Introduction

La Charente présente dans sa section estuarienne un système de régulation constitué d'un bras naturel et d'un bief (figure 1). Le canal naturel débouche sur un barrage fixe en aval de la commune de Saint-Savinien (Charente-Maritime) dont l'objectif est de maintenir le plan d'eau à une cote comprise entre +1,5 et +2,9 mètres. Le canal de dérivation, qui date de 1876, fonctionne avec un barrage mobile. Il permet d'éviter le seuil naturel de Saint-Savinien, et à la Charente de s'étendre dans son lit majeur.

Juste en amont du canal de dérivation, la Charente présente une zone à forte accumulation sédimentaire entre la commune de Saint Savinien et le pont de l'autoroute A10 situé à une dizaine de kilomètres plus en amont. Cette quantité importante de sédiments a pour effet de réduire la section d'écoulement, et ainsi de provoquer des débordements lors de coups d'eau ou crues, touchant les habitations voisines.

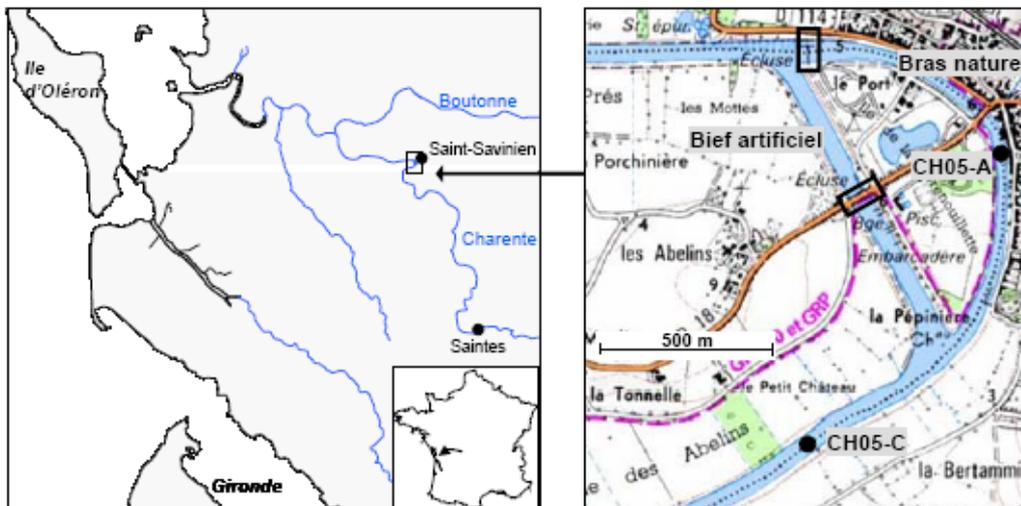


Figure 1. Situation de la zone d'étude et position des carottes. Les barrages sont soulignés par des cadres noirs.

Cette forte sédimentation nécessite une surveillance et une gestion appropriée. A ce titre, le projet de l'Institution Interdépartementale du Fleuve Charente consistait à évaluer la faisabilité d'un dragage des sédiments accumulés et de leur utilisation, pour l'épandage par exemple, s'ils répondaient à des normes de teneurs en métaux-trace et en contaminants organiques. Le dragage pose aussi le problème de la remise en suspension des particules et des contaminants associés, qui peut avoir un impact sur la faune et la flore. Ainsi, cette étude avait pour objectif la caractérisation des sédiments accumulés entre le pont de l'autoroute A10 et Saint Savinien. Un objectif spécifique de ce travail était de quantifier la sédimentation dans cette section estuarienne de la Charente afin de comprendre les interactions entre la dynamique sédimentaire, la morphologie locale et la régulation hydraulique.

2. Matériel et méthode

2.1 Les radioéléments : traceurs du dépôt sédimentaire

Une approche indirecte pour déterminer des vitesses de sédimentation consiste à utiliser plusieurs radioéléments de périodes et de sources différentes, dont l'intérêt majeur est d'avoir un terme source bien contraint et de donner accès au paramètre temps de part leur décroissance radioactive (APPLEBY & OLFIELD, 1992).

Outre un apport atmosphérique, le radio-isotope naturel ^{210}Pb ($t_{1/2}=22,3$ ans) est produit dans la colonne d'eau de façon continue par décroissance radioactive de son père radioactif, ^{226}Ra , et est rapidement entraîné sur les particules. Une fois déposé à l'interface eau-sédiment, ce ^{210}Pb , dit en excès ($^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$) puisqu'il ne résulte pas d'une production *in situ* dans le sédiment, décroît avec la colonne sédimentaire en fonction de sa période radioactive et de la vitesse de sédimentation. Les profils de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ permettent ainsi d'estimer les taux de sédimentation à l'échelle du siècle. Ces estimations peuvent être comparées avec celles dérivées du ^{137}Cs ($t_{1/2}=30$ ans), un radio-isotope artificiel qui a une fonction d'entrée pulsée liée aux essais nucléaires atmosphériques (début 1950, max 1963) et à l'accident de Tchernobyl (1986). Le cosmonucléide ^7Be ($t_{1/2}=53,3$ jours) permet en outre de tracer les dépôts récents de crues et l'intensité de mélange des sédiments à l'échelle du mois (SCHMIDT *et al.*, 2007). Comme ces différents radioéléments sont tous émetteurs gamma, il est ainsi possible de les mesurer dans les sédiments à partir d'un même comptage gamma.

2.2 Prélèvement

Deux carottes ont été échantillonnées en 2005 dans le bras naturel de la Charente (CH05-A) et en amont du bief de Saint Savinien (CH05-C) (tableau 1 ; figure 1). Ces carottes ont été extrudées sur place, tous les 5 à 10 cm, pour récupérer les échantillons en vue de l'étude sédimentologique (porosité, granulométrie, radioéléments).

Tableau 1. Détail des carottes étudiées. L'épaisseur de sédiment avait été déterminée au préalable par des mesures géophysiques sur le terrain.

Label	Longueur (m)	Bathymétrie (m)	Epaisseur (m)
CHA-05-A	2,25	1,4	2 – 3
CHA-05-C	4,85	5,0	4 – 5

2.3 Analyses

- Porosité et granulométrie

Une aliquote de chaque échantillon a été pesée humide et sèche après passage à l'étuve à 60°C pendant 24h afin de calculer la porosité (%) et le poids sec de sédiment (DBD,

Thème 2 – Dynamique sédimentaire et transports des particules

g.cm^{-3}), en supposant une densité du sédiment de $2,65 \text{ g.cm}^{-3}$. Un granulomètre laser Malvern (Mastersizer) a permis la mesure de la granulométrie.

- Radioéléments

La détermination des activités des radioéléments d'intérêt reposait sur la mesure non-destructive par spectrométrie γ directe d'environ 10 g de sédiments secs. Le détecteur utilisé est un spectromètre gamma à bas bruit de fond de type co-axial, calibré au moyen de sédiments certifiés (IAEA : RGU, RGTh, IAEA-314). ^{210}Pb , ^7Be et ^{137}Cs sont directement déterminés à partir de leur émission γ à 46,5, 477,6 et 661,7 keV respectivement ; ^{226}Ra par la combinaison de trois raies sélectionnées de descendants radioactifs (^{214}Pb : 295,2 et 351,9 keV ; ^{214}Bi : 609,3 keV). Les activités sont exprimées en mBq.g^{-1} ; $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ (^{210}Pb en excès) est calculé comme la différence des activités mesurées de ^{210}Pb et de ^{226}Ra .

3. Résultats

3.1 Porosité et densité des sédiments

La porosité de la carotte CH05-A, située dans le bras naturel de Saint-Savinien, décroît fortement avec la profondeur dans le sédiment (figure 2). Les très fortes valeurs en surface (89%) correspondent à la crème de vase. Avec la compaction et la consolidation du sédiment en profondeur, la porosité se stabilise autour de 55% à 2 mètres. La densité présente une image inverse, de 0,3 à $1,2 \text{ g.cm}^{-3}$, toujours en lien avec la compaction. Le sédiment est fin ($7,4 \mu\text{m}$) composé d'argiles et de silts (97% < $63 \mu\text{m}$).

La carotte CH05-C présente une évolution semblable de la porosité (78 \rightarrow 52%) et de la densité de sédiment (0,6 \rightarrow $1,3 \text{ g.cm}^{-3}$) avec la profondeur (figure 2) et des sédiments fins ($7,7 \mu\text{m}$; 98% < $63 \mu\text{m}$). Ceci indique que les deux sites accumulent le même matériel sédimentaire. Une différence notable est à souligner : la présence d'une couche homogène peu dense de la surface jusqu'à environ 120 cm, au lieu de 60 cm pour CH05-A, qui correspond à la couche de crème de vase, observée lors de la découpe.

3.2 Distribution du $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ dans les carottes sédimentaires

Les profils de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ sont classiques, avec les activités les plus importantes en surface (90-100 mBq.g^{-1}) suivies d'une diminution en profondeur. Ils présentent une épaisse couche de mélange : 60 cm et 120 cm pour les carottes CH05-A et -C, qui coïncide avec l'observation de crème de vase, signalée par des porosités importantes.

Le $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ est encore présent à des activités significatives ($\sim 60 \text{ mBq.g}^{-1}$) à la base des carottes, supérieures à la moitié de celles de surface. Compte-tenu de la période radioactive de ce radio-isotope (22,3 ans), ceci indique des sédiments relativement récents. L'observation de niveaux détectables de ^7Be (5-10 mBq.g^{-1}) dans les 15 cm supérieurs trace des dépôts frais.

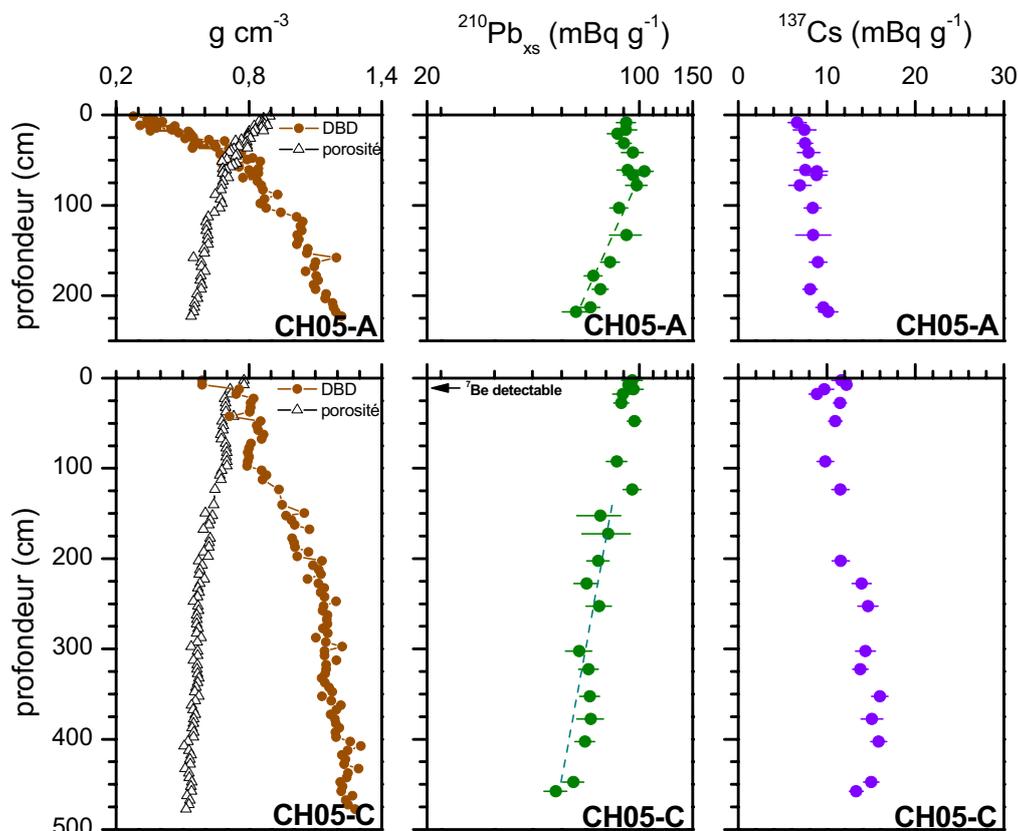


Figure 2. Profils de porosité, de densité sèche du sédiment (DBD), du $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ et du ^{137}Cs avec la profondeur, pour les carottes CH05-A et -C. Les régressions ont servi à la détermination de la vitesse de sédimentation au moyen du modèle CF:CS.

3.3 Profils sédimentaires du ^{137}Cs

Les profils de ^{137}Cs présentent des activités assez constantes sur la totalité des deux carottes. Une telle homogénéité pourrait indiquer une importante couche de mélange. Toutefois les profils de densité et de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ s'accordent sur une couche superficielle non consolidée de 60 à 120 cm selon la carotte. L'absence de pics en profondeur peut être attribuée à l'absence d'enregistrement des apports pulsés de ^{137}Cs , le plus récent correspondant à l'accident de Tchernobyl, en avril 1986. Ceci donne donc un repère chronologique pour la base de ces deux carottes.

4. Discussion

4.1 Détermination des taux d'accumulation et chronologie des dépôts sédimentaires

La datation des sédiments au moyen du ^{210}Pb a été initialement proposée par GOLDBERG (1963). L'activité du $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ dans la colonne sédimentaire décroît avec le temps selon la loi de désintégration radioactive (1) (APPLEBY & OLFIELD, 1992) :

$$A^t = A^0 e^{-\lambda t} \quad (1)$$

Thème 2 – Dynamique sédimentaire et transports des particules

où :

A^0 et A^t = activités du $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ ($\text{mBq}\cdot\text{g}^{-1}$) aux temps 0 et t

t = âge de la couche sédimentaire

λ = constante de décroissance radioactive (0.031 an^{-1})

A partir de cette relation, il existe trois principaux modèles, sans remaniement sédimentaire, pour déterminer la vitesse ou le taux d'accumulation et l'âge des sédiments :

- le modèle *CF:CS* (*Constant Flux and Constant Sedimentation* ; ROBBINS et al., 1977), le plus simple, considère constants les facteurs régissant l'accumulation sédimentaire ;

- le modèle *CRS* (*Constant Rate of Supply*) (APPLEBY & OLDFIELD, 1978) suppose un flux de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ constant mais un taux de sédimentation variable ;

- le modèle *CIC* (*Constant Initial Concentration*) postule l'activité initiale de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ constante (ROBBINS & EGLINGTON, 1975).

Le choix du modèle de datation repose sur la connaissance des facteurs environnementaux qui contrôlent l'accumulation et sur une bonne évaluation des profils de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ du site étudié. Dans le cas présent, le choix est délicat. La présence d'une couche de mélange importante en surface associée à une densité en sédiment très variable dans le premier mètre n'est pas favorable à l'application du modèle *CF:CS*. De même, la persistance de niveaux significatifs de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ à la base des carottes rend difficile l'évaluation précise des inventaires sédimentaires de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$, requis pour la méthode *CSR*. L'hypothèse du modèle *CIC* d'une activité initiale est critique : elle est peu plausible pour un tel environnement côtier et ce dernier modèle est rejeté.

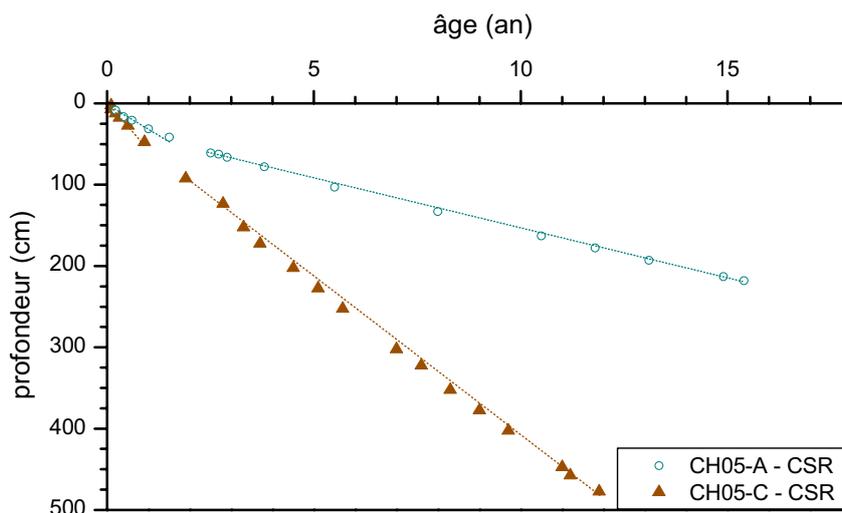


Figure 3. Âges des couches sédimentaires, estimés au moyen du modèle CRS, en fonction de la profondeur dans les carottes CH05-A et -C.

Nous avons donc appliqué les deux modèles, CF:CS et CSR, aux données des carottes CH05-A et -C (figures 2 et 3 ; tableau 1). En dépit des réserves ci-dessus quant à leur application, il est à noter que les estimations de vitesse et de taux d'accumulation sont voisines, en particulier dans le sédiment consolidé. Par contre le modèle CF:CS n'est pas apte à estimer des vitesses dans la couche de mélange.

La datation des carottes est assez semblable entre les deux méthodes, avec des sédiments à la base des carottes mis en place fin 80 – début 90. Cette chronologie est cohérente avec l'absence de pic de ¹³⁷Cs dans les carottes, l'accident de Tchernobyl ayant eu lieu en 1986.

Tableau 2. Synthèse de la datation des carottes CH05-A et -C selon les modèles CF:CS (flux et sédimentation constants) et CRS (apports constants). CM : couche de mélange.

<i>Carotte</i>			<i>CF:CS</i>	<i>CSR</i>	
<i>CH05-A</i>	<i>vitesse de sédimentation</i>	<i>cm an⁻¹</i>	<i>0-60 cm</i>	<i>CM</i>	<i>26</i>
			<i>> 60 cm</i>	<i>12</i>	<i>12</i>
	<i>taux d'accumulation</i>	<i>g m⁻² an⁻¹</i>	<i>0-60 cm</i>	<i>CM</i>	<i>14</i>
			<i>> 60 cm</i>	<i>13</i>	<i>12</i>
	<i>datation base</i>	<i>an</i>	<i>1987</i>	<i>1989</i>	
<i>CH05-C</i>	<i>vitesse de sédimentation</i>	<i>cm an⁻¹</i>	<i>0-120 cm</i>	<i>CM</i>	<i>49</i>
			<i>> 120 cm</i>	<i>31</i>	<i>39</i>
	<i>taux d'accumulation</i>	<i>g m⁻² an⁻¹</i>	<i>0-120 cm</i>	<i>CM</i>	<i>40</i>
			<i>> 120 cm</i>	<i>37</i>	<i>43</i>
	<i>datation base</i>	<i>an</i>	<i>1990</i>	<i>1993</i>	

4.2 Implication pour la dynamique sédimentaire dans ce barrage intra-estuarien

La différence de taux de sédimentation entre les deux sites peut s'expliquer par leur localisation. La carotte CH05-A a été échantillonnée au niveau du bief naturel de St Savinien présentant un seuil rocheux, où la couche sédimentaire présente une épaisseur de 2-3 mètres. A l'opposé, la carotte CH05-C est située au niveau d'une cuvette en amont du bief de St Savinien où l'épaisseur de sédiment est de 4 à 5 mètres. Les séquences sédimentaires y sont récentes, avec des dépôts à la base remontant à début 90, et des taux de sédimentation et d'accumulation élevés (tableau 2). La présence d'une couche de surface non consolidée, jusqu' à 1,2 m (CH05-C), et de ⁷Be en surface valide ces taux et indique que ce secteur est une zone de sédimentation active et dynamique.

Bien qu'aucune mesure de teneur en matière en suspension n'ait été réalisée lors des carottages en été 2005, la masse d'eau qui remonte en amont de l'écluse était bien caractéristique de la présence d'un bouchon vaseux à l'aval de l'écluse avec des concentrations probables de 100 mg.L⁻¹ à 1000 mg.L⁻¹, voire plus (LAFON & FROIDEFOND, 2008). Il y a donc du matériel sédimentaire disponible pour alimenter le dépôt. Les teneurs en métaux particulièrement homogènes sur l'ensemble de la

Thème 2 – Dynamique sédimentaire et transports des particules

colonne sédimentaire sont cohérentes avec les analyses sédimentologiques et confirment l'origine estuarienne du sédiment (DABRIN, 2009).

Eu égard à la dynamique classique des bouchons vaseux (CASTAING & ALLEN, 1981) et à la présence de barrages, nous proposons le schéma de sédimentation suivant, résumé dans la figure 4, pour le bras naturel et le bief du secteur estuarien de la Charente, à proximité de la commune de Saint-Savinien.

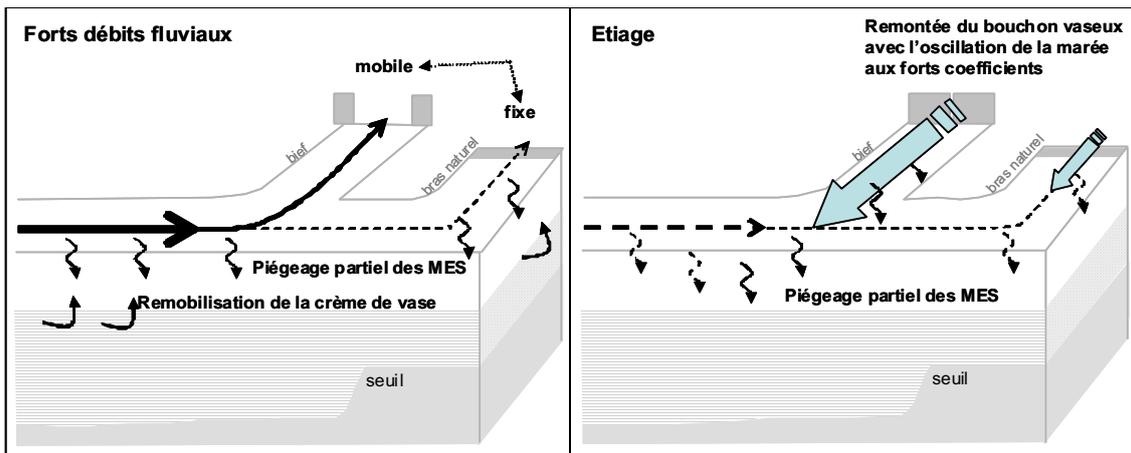


Figure 4. Représentation schématique de la dynamique sédimentaire à proximité de la commune de Saint-Savinien en lien avec l'hydrologie propre aux estuaires (importance relative des apports fluviaux et océaniques en fonction des débits), et la présence de barrages, dans le bras naturel et le bief, et d'un seuil naturel.

En période de forts débits fluviaux, les apports fluviaux sont exportés vers l'océan. La crème de vase, non consolidée, est probablement remobilisée et entraînée. La forte crue en 1991 a ainsi pu favoriser une crise érosive, qui expliquerait la présence de sédiments postérieurs à début 90. La présence de barrages doit néanmoins affecter l'hydrodynamique et favoriser une sédimentation partielle des sédiments érodés. Ce processus doit être plus marqué dans le bief artificiel, la présence du seuil naturel limite l'écoulement d'origine fluviale dans le bras naturel. KIM *et al.* (2006) reportent un piégeage similaire de sédiments fins accru suite à la construction d'un barrage en 1994 dans le secteur amont de l'estuaire de la rivière Keum (Corée).

En étiage, les débits fluviaux réduits favorisent la remontée de la marée et la constitution intra-estuarienne d'un bouchon vaseux. L'oscillation de cette masse turbide avec la marée facilite le piégeage de matériel fin lorsqu'elle passe en amont du barrage aux forts coefficients. Comme le barrage du bras naturel est fixe et la hauteur d'eau plus faible, ce processus y est moins marqué.

L'objectif de cette étude était d'évaluer la faisabilité d'un dragage des sédiments accumulés, mais aucun choix de gestion n'a encore été mis en œuvre. Un tel système intra-estuarien est un piège à sédiments des apports fluviaux et marins. D'après le

schéma de fonctionnement de ce système, la solution semble être dans une meilleure gestion des ouvrages hydrauliques (1) pour favoriser un phénomène de chasse de la crème de vase lors des forts débits ou des forts coefficients de marée, et (2) pour limiter la remontée des eaux turbides en période d'étiage.

5. Conclusions

Les sédiments fins issus de l'érosion des bassins versants sont transportés via le réseau fluvial vers l'océan et constituent ainsi un lien entre les environnements fluviaux, estuariens et marins. Le flux global annuel de ce matériel vers l'océan est estimé à 15-20 10^9 t an⁻¹ (WALLING, 2006). Il est maintenant bien établi que ce transfert peut être affecté par la construction de barrage dans les bassins versants avec une forte réduction des apports sédimentaires (SYVITSCKI *et al.*, 2005), l'exemple le plus spectaculaire est celui du barrage des Trois Gorges (HU *et al.*, 2009). Les barrages intra-estuariens sont plus rares et peu évoqués dans ces bilans de matière et de contaminants (FUNAKOSHI & KASUYA, 2009). L'exemple de la Charente montre que de tels aménagements peuvent aussi faciliter la rétention de matériel sédimentaire fin et de potentiels contaminants associés. Dans des estuaires où un bouchon vaseux se forme, tels celui de la Charente, ce piégeage résulte des apports fluviaux et marins.

Cette étude sédimentaire dans l'estuaire de la Charente montre aussi que l'estimation de la sédimentation dans de tels environnements n'est pas triviale. Le choix du modèle exige une bonne compréhension des processus de sédimentation et de remaniement. Lors de la formation de la colonne sédimentaire, la compaction des sédiments influence la quantité de particules solides accumulées sur chaque couche : la relation entre vitesse de sédimentation (cm an⁻¹) et taux d'accumulation (g cm⁻² an⁻¹) n'est donc pas directe. Il est ainsi important de privilégier des études multi-paramètres (porosité, granulométrie) et multi-traceurs (²³⁴Th, ⁷Be, ²¹⁰Pb, ¹³⁷Cs) dont la combinaison permet de valider les taux de sédimentation et d'accumulation, et la chronologie.

Remerciements :

Cette étude a été financée par l'EPTB "Institution Charente". Nous remercions les deux relecteurs pour la qualité de leurs suggestions.

6. Références bibliographiques

- APPLEBY P.G., OLFIELD F. (1978). *The calculation of lead-210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported ²¹⁰Pb to the sediment*. Catena 5, pp 1-8. doi:10.1016/S0341-8162(78)80002-2
- APPLEBY P.G., OLFIELD F. (1992). *Application of lead-210 to sedimentation studies*. In Uranium-series Disequilibrium: Applications to Earth, Marine, and Environmental Sciences, IVANOVICH R.S. (Editor), Clarendon Press, Oxford, pp 731-778.

Thème 2 – Dynamique sédimentaire et transports des particules

- CASTAING P., ALLEN G.P. (1981). *Mechanisms controlling seaward escape of suspended sediment from the Gironde: A macrotidal estuary in France*. *Marine Geology* 40, pp 101-118. doi:10.1016/0025-3227(81)90045-1
- DABRIN A. (2009). *Mécanismes de transfert des éléments traces métalliques et réactivité estuarienne - Cas des systèmes Gironde, Charente, Seudre et Baie de Marennes Oléron*. Thèse, Université Bordeaux 1.
- HU B., Z. YANG, WANG H., SUN X., BI N., LI G. (2009). *Sedimentation in the Three Gorges Dam and the future trend of Changjiang (Yangtze River) sediment flux to the sea*. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 13, pp 2253–2264.
- FUNAKOSHI G., KASUYA S. (2009). *Influence of an estuary dam on the dynamics of bisphenol A and alkylphenols*. *Chemosphere* 75, pp 491-497. doi:10.1016/j.chemosphere.2008.12.050
- KIM T.I., CHOI B.H., LEE S.W. (2006). *Hydrodynamics and sedimentation induced by large-scale coastal developments in the Keum River Estuary, Korea*. *Estuar Coast Shelf Sci* 68, pp 515-528. doi:10.1016/j.ecss.2006.03.003
- LAFON V., FROIDEFOND J.-M. (2008). *Cartographie de la turbidité des eaux de la Gironde, de la Charente et de leur panache par télédétection spatiale*. Rapport interne G.E.O.Transfert, 34 p.
- ROBBINS J.A., EGLINGTON D.N. (1975). *Determination of recent sedimentation rates in Lake Michigan using Pb-210 and Cs-137*. *Geochim. Cosmochim. Acta* 39, pp 285-304. doi:10.1016/0016-7037(75)90198-2
- ROBBINS J.A., KREZOSKI J.R., MOZLEY S.C. (1977). *Radioactivity in sediments of the Great Lakes: Post-deposition redistribution by deposit-feeding organisms*. *Earth Planet. Sci. Lett.* 36, pp 325-333. doi:10.1016/0012-821X(77)90217-5
- SCHMIDT S., JOUANNEAU J.-M., WEBER O., LECROART P., RADAKOVITCH O., GILBERT F., JEZEQUEL D. (2007). *Sedimentary processes in the Thau Lagoon (South France): from seasonal to century time scales*. *Estuarine Coastal Shelf Science* 72, pp 534–542. doi:10.1016/j.ecss.2006.11.019
- SYVITSCKI J.P.M., VÖRÖSMARTY, C.J., KETTNER A.J., GREEN P. (2005). *Impacts of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean*. *Science* 308, pp 376–380. doi:10.1126/science.1109454
- WALLING D.E. (2006). *Human impact on land–ocean sediment transfer by the world's rivers*. *Geomorphology* 79, pp 192–216. doi:10.1016/j.geomorph.2006.06.019