



Lien entre âge des particules de la zone de turbidité maximum de l'estuaire de la Gironde et hydrologie

Sabine SCHMIDT¹, Hanna-Kaisa SAARI¹,
Patrice CASTAING¹, Aldo SOTTOLICHIO¹

1. EPOC – UMR 5805 CNRS – Université Bordeaux 1, France.

s.schmidt@epoc.u-bordeaux1.fr

Résumé :

L'estuaire de la Gironde est caractérisé par une zone de turbidité maximum (ZTM) dont la position évolue au cours des saisons, avec un effet de chasse lors des grandes crues. Ces fortes concentrations particulières ont un effet direct localement (envasement, piégeage de polluants) et vers les régions côtières avec la dispersion d'un panache turbide.

L'objectif de ce travail était d'estimer les temps de résidence des particules dans la ZTM de la Gironde au moyen du rapport d'activité ${}^7\text{Be}/{}^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ (AR ${}^7\text{Be}/{}^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$). Un suivi mensuel a mis en évidence des variations spatio-temporelles marquées de ce rapport en fonction des conditions hydrodynamiques (débit, cycle de marée). L'âge des particules dans la ZTM a été étudié plus précisément au site PK30 (30 km en aval de Bordeaux). Ce site, où la ZTM est présente presque toute l'année, montre un lien évident avec les particules fluviales en période de crue, comme en mars-2007 où les AR ${}^7\text{Be}/{}^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ sont similaires dans l'estuaire amont (PK30) et la Garonne estuarienne (Portets) et fluviale (La Réole). Ce AR ${}^7\text{Be}/{}^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ a été utilisé comme référence pour calculer l'âge relatif des matières en suspension au PK30. Les âges relatifs augmentent graduellement jusqu'à 200 jours, avant d'être remis à zéro pendant les crues. A ce site amont, nous avons ainsi pu mettre en évidence un lien fort entre le vieillissement des particules dans la zone de turbidité maximum (ZTM) et l'hydrologie des tributaires

Mots-clés :

Estuaire – Zone de turbidité maximum – Particules en suspension – ${}^7\text{Be}$ – ${}^{210}\text{Pb}$ – Âge – Gironde

Abstract:

The Gironde Estuary is marked by a pronounced turbidity maximum zone (TMZ), that moves along the estuary during the year, with transport out of the Gironde during high fluvial discharges. This high turbidity plays a key role locally (silting, pollutant trapping) and on coastal waters with the spread of turbid plume.

The objective of this work was to estimate particle residence times in the TMZ of the Gironde using the ${}^7\text{Be}/{}^{210}\text{Pb}$ activity ratios (${}^7\text{Be}/{}^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ AR). A monthly survey had shown marked spatio-temporal changes in these ratios depending on hydro-dynamical context (flow discharge, ebb cycle). Age of TMZ particles was studied more in details

for site PK30 (30 km down Bordeaux). This site, where TMZ is present most of the year, shows a clear link with the riverine particles during flood, as observed in March 2007: particulate $^7\text{Be}/^{210}\text{Pb}$ AR were similar in the up estuary (PK30) and in the estuarine (Portets) and fluvial (La Réole) Garonne. This $^7\text{Be}/^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ AR was used as a reference to calculate ages of suspended particles at PK30. From 0 during floods, these ages increase gradually up to 200 days. Thus, at PK30, we have emphasized the link between particle aging in the TMZ and the fluvial discharge.

Keywords :

Estuary – Maximum turbidity zone – Suspended particles – ^7Be – ^{210}Pb – Age – Gironde

1. Introduction

L'estuaire de la Gironde est caractérisé par une zone de turbidité maximum (ZTM), avec des concentrations en matières en suspension (MES) $> 1 \text{ g L}^{-1}$, dont la position évolue au cours des saisons, avec un effet de chasse lors des grandes crues. Ces fortes concentrations particulières ont un effet direct localement (envasement, piégeage de polluants) et vers les régions côtières avec la dispersion de panaches turbides. Des résultats récents montrent par exemple que le Pertuis de Maumusson est en connexion environ 110 jours/an avec le panache turbide de la Gironde (DABRIN *et al.*, 2009). Une partie de ce matériel transite à travers le plateau continental vers la marge (CASTAING *et al.*, 1999). Toutefois le système fluvio-estuarien de la Gironde subit de profondes modifications en lien avec les changements climatiques et à l'intensification des implantations humaines. Les débits fluviaux ont diminué significativement de $1030 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ début 1980 à $740 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en fin des années 2000. Les conséquences sont une salinisation du système et une remontée progressive du bouchon vaseux vers les sections fluviales (SOTTOLICHIO *et al.*, 2011). Devant la quasi disparition des crues annuelles à quinquennales depuis 50 ans, avec des conséquences marquées sur les phénomènes d'expulsion en mer du bouchon vaseux et sur son positionnement dans l'estuaire, il importe de suivre l'impact de cette évolution sur les bilans de matières dans l'estuaire de la Gironde et les problèmes associés d'envasement.

Dans ce contexte, l'objectif de ce travail est d'affiner les mécanismes de transferts particuliers dans l'estuaire de la Gironde, et en particulier d'estimer les temps de résidence des particules au moyen du rapport d'activité $^7\text{Be}/^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$. Après une brève introduction au principe d'application de ces radioéléments, nous présenterons les résultats d'un suivi des rapports particuliers $^7\text{Be}/^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$, à partir duquel une estimation des âges relatifs des particules dans la ZTM a pu être proposée.

2. Matériel et méthode

2.1 ^7Be et ^{210}Pb comme traceurs des transferts sédimentaires

MATISOFF *et al.* (2005) ont proposé d'utiliser le rapport d'activité $^7\text{Be}/^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ pour quantifier les temps de transfert de sédiments dans des bassins versants. Le principe repose sur le marquage naturel, par retombées atmosphériques, des particules en ^{210}Pb ($T_{1/2} = 22,3$ ans) et ^7Be ($T_{1/2} = 53,3$ jours) (figure 1), dont le rapport d'activité $^7\text{Be}/^{210}\text{Pb}$ décroît ensuite le long d'un cours d'eau depuis une référence amont. Selon les hypothèses du modèle, les variations du rapport sont principalement dues à la décroissance plus rapide du ^7Be par rapport au ^{210}Pb , et reflètent ainsi l'âge du sédiment, c'est-à-dire le temps à partir duquel les particules ont été marquées, ou le mélange avec des particules anciennes (dépourvues de ^7Be).

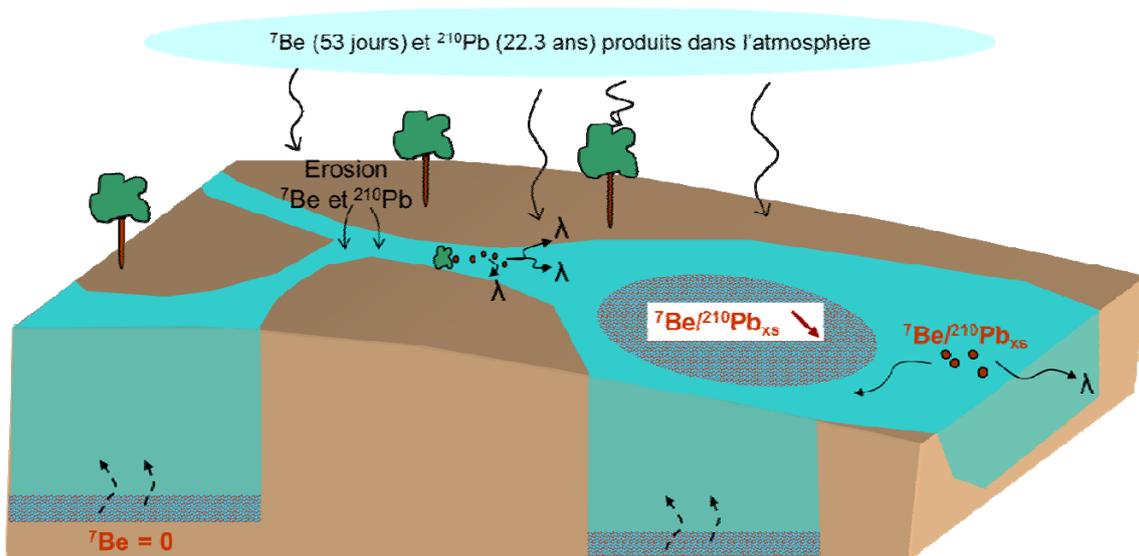


Figure 1. Origine du ^7Be et du ^{210}Pb en milieu continental (SAARI, 2008).

L'âge et la fraction de particules anciennes (dont le ^7Be a décru) peuvent être calculés selon les équations (1) et (2):

$$\text{Age} = \left(\frac{1}{\lambda_{\text{Be}} - \lambda_{\text{Pb}}} \right) \ln \left(\frac{AR_0}{AR} \right) \quad (1)$$

$$\% \text{ ancienne} = 100 \left(\frac{AR}{AR_0} \right) \quad (2)$$

où :

λ_{Be} et λ_{Pb} = constantes radioactives de ^7Be et de ^{210}Pb

AR et AR_0 = rapports d'activité $^7\text{Be}/^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ des particules et de la référence (retombées atmosphériques [$AR_0 = 14$ pour Bordeaux, SAARI *et al.*, 2010] ou particules amont).

2.2 Echantillonnage et mesures

Cette étude a profité de l'existence du suivi d'observation à basse fréquence de la Gironde (missions SOGIR) pour réaliser des prélèvements mensuels à des sites récurrents (PK30 à PK110) sur deux années consécutives (2006-2007) (figure 2). Des échantillonnages simultanés étaient effectués dans la Garonne estuarienne (Portets) et fluviale (La Réole) et la Dordogne (Libourne). Une fois récupérées, par filtration ou décantation selon la charge en MES, les particules étaient placées dans des tubes scellés en vue des mesures au moyen d'un spectromètre gamma Ge de type puits (SCHMIDT *et al.*, 2010). ^{210}Pb et ^7Be sont directement déterminés à partir de leur émission γ à 46,5 et 477,6 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 des radioéléments d'intérêt sont exprimées en mBq.g^{-1} . Les erreurs moyennes (1σ) de détermination des activités sont de 13%, 5% et 29% pour ^{210}Pb , ^{226}Ra et ^7Be respectivement. L'excès de ^{210}Pb ($^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$), à savoir la fraction de ^{210}Pb liée aux retombées atmosphériques, est calculé comme la différence du ^{210}Pb et du ^{226}Ra mesurés.

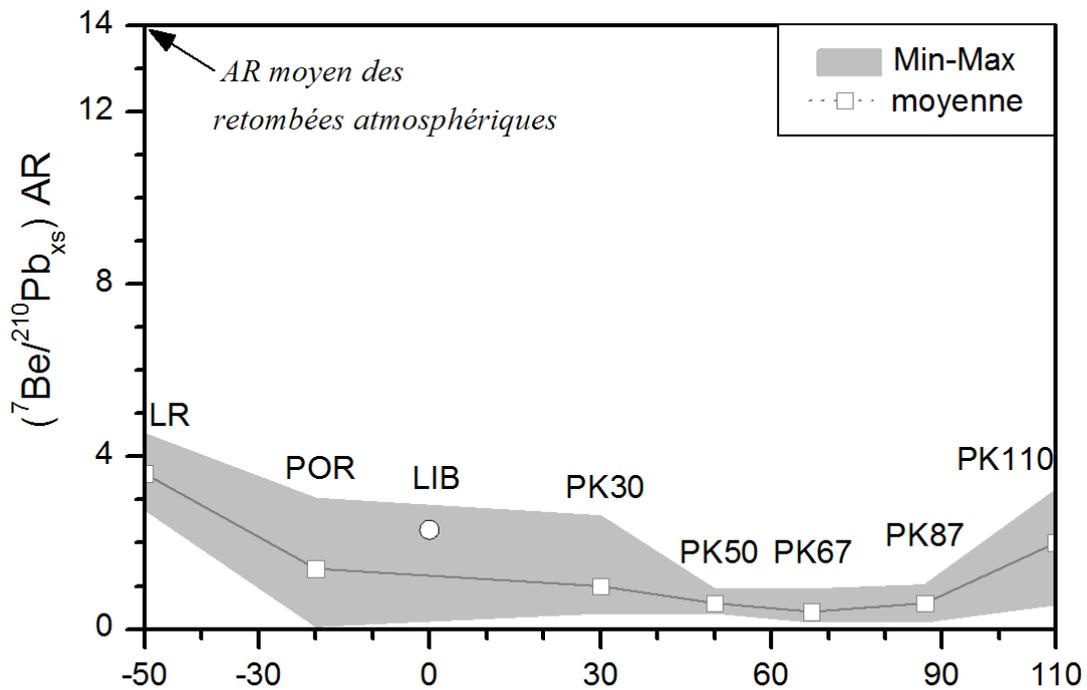


Figure 3. Evolution du rapport d'activité $^7\text{Be}/^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ particulaire (moyenne, min, max) le long du continuum fluvio-estuarien de la Gironde.

3. Résultats

Les résultats, obtenus sur 300 échantillons, montrent que le ^7Be (0 - 300 mBq g^{-1}) augmente avec la salinité alors que le $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ (43-56 mBq g^{-1}) reste assez constant

(SAARI *et al.*, 2010). Comme la variation de la taille et du type des particules peut affecter les activités spécifiques, les rapports d'activité ${}^7\text{Be}/{}^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ ont été utilisés de préférence pour étudier le transport des particules (figure 3). Le long du continuum fluvio-estuarien de la Gironde, le rapport d'activité ${}^7\text{Be}/{}^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ particulaire est toujours inférieur à 6, alors que les retombées atmosphériques présentent une valeur moyenne de 14 (6 – 26). Les rapports d'activité ${}^7\text{Be}/{}^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ particulaires diminuent de l'amont vers l'aval. En effet, lors des pluies, les particules érodées du bassin versant apportent du matériel nouvellement marqué par ${}^7\text{Be}$, par rapport aux particules "anciennes" déjà présentes (dont le ${}^7\text{Be}$ a décréu). Cet effet est notable à Portets dans la Garonne estuarienne où le rapport ${}^7\text{Be}/{}^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ particulaires fluctue sur une large gamme selon la remontée du bouchon vaseux. Il est à noter une augmentation inattendue à l'embouchure, liée à des apports océaniques.

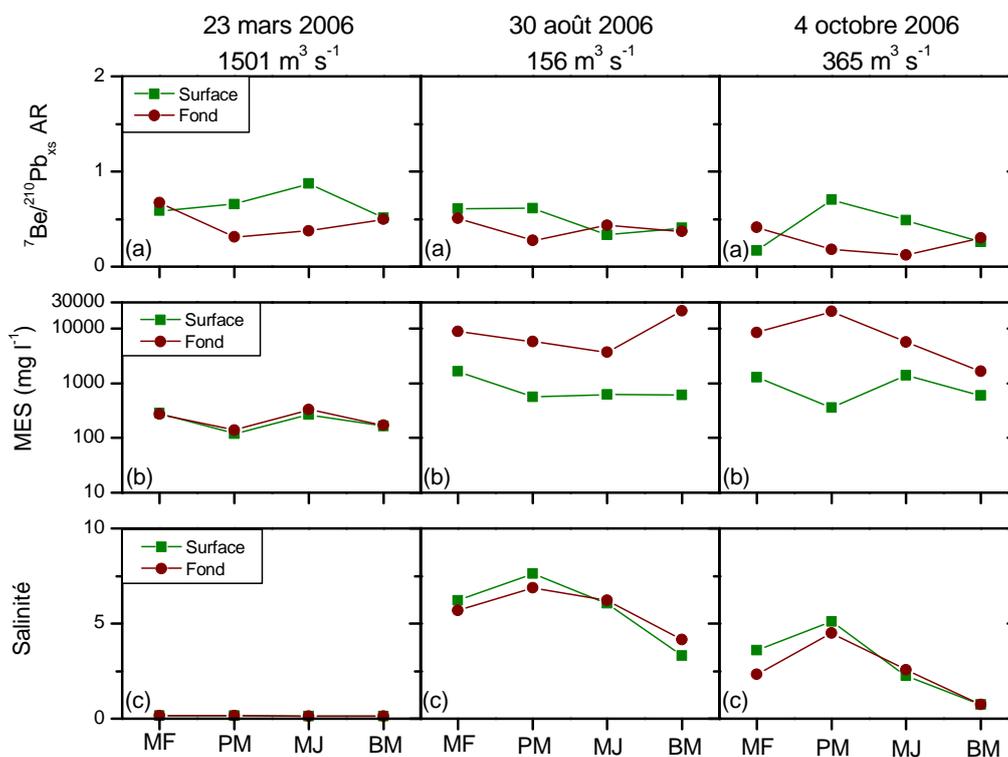


Figure 4. Evolution pendant un cycle de marée (a) du ${}^7\text{Be}/{}^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ particulaire, (b) des MES et (c) de la salinité, en surface et au fond au PK30, en mars, août et octobre 2006.

Aux stations situées au milieu de l'estuaire (PK50 et PK67), les rapports d'activité ${}^7\text{Be}/{}^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$, et donc les âges et/ou fraction de matériel ancien, sont peu variables en surface et au fond (figure 3). Ceci semble indiquer l'oscillation de la même masse d'eau qui homogénéise les particules. Aux stations estuariennes les plus extrêmes (PK30, PK87), les rapports ${}^7\text{Be}/{}^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ sont beaucoup plus variables car les échanges avec l'océan et les rivières sont les plus importants. Le site PK30, le plus amont de l'estuaire

et où la ZTM (zone de turbidité maximum) est positionnée quasi toute l'année, présente la plus large gamme de variation. Au PK30, les valeurs les plus élevées du rapport ${}^7\text{Be}/{}^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ sont observées en surface lors des crues (figure 4). Des fluctuations sont aussi observables en surface et au fond aux différents moments de la marée et selon les débits. A pleine mer, les rapports ${}^7\text{Be}/{}^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ ont des valeurs plus élevées en surface qu'au fond.

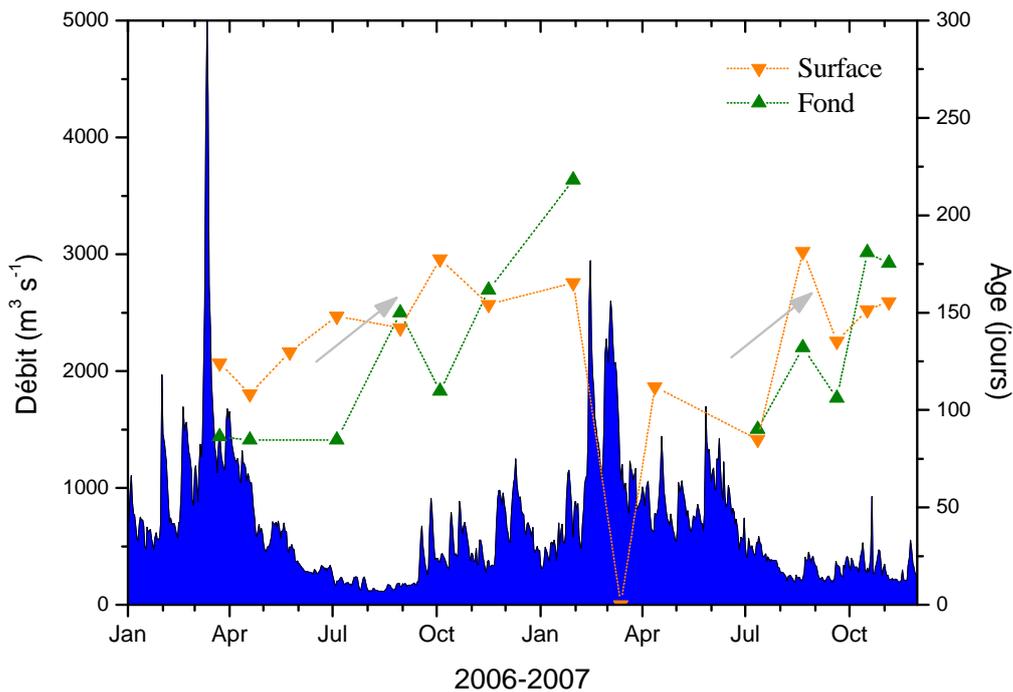


Figure 5. Lien entre débit ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) et vieillissement des particules (jours), calculé à partir des AR ${}^7\text{Be}/{}^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$, au site PK30 (basse mer, surface, fond).

4. Lien entre le vieillissement des particules dans la zone de turbidité maximum (ZTM) et l'hydrologie des rivières

Le site PK30, montre le lien le plus marqué avec les particules fluviales. Rappelons que c'est le site le plus en amont, et que dans cette partie de l'estuaire, la ZTM est présente presque toute l'année. Ces raisons ont conduit à choisir ce site PK30 pour étudier plus précisément le lien entre les âges des particules dans la ZTM et l'hydrologie des rivières. La valeur maximale du rapport ${}^7\text{Be}/{}^{210}\text{Pb}$ mesurée au PK30, est de 2,6 lors d'une crue ($2600 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) en mars-2007. Des valeurs similaires étaient mesurées simultanément dans la Garonne estuarienne (Portets) et fluviale (La Réole), ce qui révélait un transfert rapide des particules depuis l'amont. Nous avons donc utilisé cette valeur comme référence pour calculer l'âge relatif des matières en suspension au PK30 (figure 5). Pendant la forte crue de mars 2007, ces âges sont remis à zéro: les particules anciennes de la ZTM sont évacuées vers l'embouchure, voire la région côtière, et les

particules au site PK30 sont renouvelées par des particules récemment marquées en ^7Be . Juste après cet évènement, il y a une restauration d'un stock de particules qui s'accumule et vieillit de nouveau dans ce secteur de l'estuaire. Les âges relatifs augmentent graduellement pendant les périodes de débits faibles en surface (max. 181 jours) et au fond (max. 218 jours). A ce site amont, nous avons ainsi pu mettre en évidence un lien fort entre le vieillissement des particules dans la zone de turbidité maximum (ZTM) et l'hydrologie.

5. Conclusions

Comme le rapport d'activité $^7\text{Be}/^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ des MES diminue au cours du temps à cause du vieillissement propre des particules ou par dilution par des sédiments anciens, appauvris en ^7Be , ce travail est une première tentative d'application de ces traceurs à l'étude du transport des particules dans l'estuaire de la Gironde. Les premiers résultats montrent que cette approche est pertinente. La poursuite de ce travail vise à apporter des contraintes temporelles sur les âges de MES en vue d'améliorer la modélisation de la dynamique hydrosédimentaire de l'estuaire de la Gironde, et à terme de pouvoir éventuellement prédire les modifications engendrées par des perturbations du système (élévation du niveau de la mer, changements d'hydrologie et de pluviométrie...).

6. Références bibliographiques

- CASTAING P., FROIDEFOND J.M., LAZURE P., WEBER O., PRUD'HOMME R., JOUANNEAU J. M. (1999). *Relationship between hydrology and seasonal distribution of suspended sediments on the continental shelf of the Bay of Biscay*. Deep Sea Research II, n° 46, pp 1979-2001.
- DABRIN A., SCHAFER J., BLANC G., STRADY E., MASSON M., BOSSY C., CASTELLE S., GIRARDOT N., COYNEL A. (2009). *Improving estuarine net flux estimates for dissolved cadmium export at the annual timescale: application to the Gironde Estuary*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, n° 84, pp 429-439. doi:10.1016/j.ecss.2009.07.006
- MATISOFF G., WILSON C.G., WHITING P.J. (2005). *The $^7\text{Be}/^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ ratio as an indicator of suspended sediment age or fraction new sediment in suspension*. Earth Surface Processes and Landforms, n° 30, pp 1191–1201. doi:10.1002/esp.1270
- SAARI H.-K. (2008). *Dynamique saisonnière des transferts particulaires dans les systèmes fluviaux-estuariens : application des radioisotopes à courtes périodes: ^{234}Th , ^7Be et ^{210}Pb* . Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, 153 p.
- SAARI H.-K., SCHMIDT S., CASTAING P., BLANC G., SAUTOUR B., MASSON O., COCHRAN J.K. (2010). *The particulate $^7\text{Be}/^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ and $^{234}\text{Th}/^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ activity ratios as tracers for tidal-to-seasonal particle dynamics in the Gironde estuary (France): implications for the budget of particle-associated contaminants*. The Science of the Total Environment, n° 408, pp 4784–4794. doi:10.1016/j.scitotenv.2010.07.017

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

SCHMIDT S., MANEUX E., DABRIN A., OGGIAN G., DERRIENNIC H., BLANC G. (2010). *Impact d'un barrage intra-estuarien sur la dynamique sédimentaire: la retenue de Saint-Savinien*. XIèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Les Sables d'Olonne, pp 405–414. doi:10.5150/jngcgc.2010.048-S

SOTTOLICHIO A., CASTAING P., ETCHEBER H., MANEUX E., SCHMELTZ M., SCHMIDT S. (2011). *Observations of suspended sediment dynamics in a highly turbid macrotidal estuary, derived from continuous monitoring*. Journal of Coastal Research, SI 64, pp 1579-1583.