Tracking the Turbidity Maximum Zone in the Gironde estuary (SW France) based on continuous monitoring and radionuclides

Sabine Schmidt , A. Sottolichio, H. Derriennic, G. Chabaud, P. Lebleu, H.-K. Saari, P. Castaing

UMR 5805 EPOC, CNRS – Univ. Bordeaux









the largest estuary of the European Atlantic coast

170 km long 625 km² surface area mean discharge : 1000 m³ s⁻¹

two main tributaries : Garonne / Dordogne draining a watershed area of 71 000 km²

transitional waters important as nursery for juvenile and a pathway for migratory fishes (eel, salmon, sturgeon)



a macrotidal estuary

asymmetrical propagation of tidal wave + length of the estuary

long residence times of

water (20 – 86 days) fine particles (> 1 year) depending of river discharges

a highly concentrated turbidity maximum zone (TMZ)

particle concentration > 1 g L⁻¹ in surface waters





basic mechanisms of the TMZ formation and dynamics well known (Allen and Castaing 1973; Castaing and Allen, 1981)

the TMZ moves along the estuary axis according to the water discharge



basic mechanisms of the TMZ formation and dynamics well known (Allen and Castaing 1973; Castaing and Allen, 1981)

the TMZ moves along the estuary axis according to the water discharge



Estuarine particulate material is flushed in the Bay of Biscay under extreme hydrological conditions, including:

series of floods, high water discharges (> 3,000 m³ s⁻¹) and spring tides

basic mechanisms of the TMZ formation and dynamics well known (Allen and Castaing 1973; Castaing and Allen, 1981)

the TMZ moves along the estuary axis according to the water discharge



basic mechanisms of the TMZ formation and dynamics well known (Allen and Castaing 1973; Castaing and Allen, 1981)

the TMZ moves along the estuary axis according to the water discharge



but a lack of knowledge about:

- the TMZ occurrence in the fluvial section
- seasonal trends of TMZ in response to long-term changes on hydrology.

Over the last decades, there is a marked decrease of the annual mean discharge of the Gironde:



Over the last decades, there is a marked decrease of the annual mean discharge of the Gironde:



The Garonne is the main tributary of the Gironde. There are also evidences of recent changes in Garonne discharge:

an increase in the duration of low-water periods > a decrease in flood intensity. Number of days the Garonne discharge, during the period 1959-2012, is:





Over the last decades, there is a marked decrease of the annual mean discharge of the Gironde:



The Garonne is the main tributary of the Gironde. There are also evidences of recent changes in Garonne discharge:

an increase in the duration of low-water periods > a decrease in flood intensity. Number of days the Garonne discharge, during the period 1959-2012, is:





Are these changes likely to affect notably the presence of the turbidity maximum zone in the tidal river, at a distance > 100 km of the mouth of the Gironde estuary ?

highly impacted by human activities:

- > 60 hydropower dams in the upper watershed land use, agriculture
- heavy metal pollution (Cd, former mining and smelting activities upstream) prohibiting shellfish production
- ***** hypoxia events close to Bordeaux in summer during low water periods

increasing occurrence of TMZ in the fluvial section changes in dredging



highly impacted by human activities:

- > 60 hydropower dams in the upper watershed land use, agriculture
- heavy metal pollution (Cd, former mining and smelting activities upstream) prohibiting shellfish production
- ***** hypoxia events close to Bordeaux in summer during low water periods

increasing occurrence of TMZ in the fluvial section changes in dredging



Different strategies to investigate the Gironde estuary

to improve the knowledge of the estuary functioning, encompassing the aspects of hydrology, sediment dynamics and biogeochemistry.

- Long-term dataset: a automatic continuous monitoring network (MAGEST) has been implemented in the Gironde estuary in 2005;
- Use of radionuclides to estimate particle residence time



The MAGEST network:



4 automated stations that measure each 10 mn:

- temperature
- salinity
- turbidity
- dissolved oxygen

in surface waters





In the central estuary (1)

In the fluvial sections (3)



The MAGEST network:

data transferred each 6 hours to a website of the University of Bordeaux

http://www.magest.u-bordeaux1.fr.

C S Mtp://www.magest.u-bordeauxl.fr/Ayant_Droits/donnees/	P → R C Ponnées MAGEST - Accès ×
🙀 🔀 Connexion sur UMR CNRS 🕸 AO 2014 - Login 🔪 UMR EPOC - Accu	ueil 🧲 MAGEST MArel Gironde E 🥡 ENT-Université Bordeaux 1 🕺 BiblioPlanets - Portail d'in
	Consortium MAREI GIR réseau d'observation automatisé pour
Ftude d'une station	Salinite p/1000 Turbidite (N.T.U) Oxygene (mg/l)
 Station : Pauillac v Choix de la période (entre 06/05/2004 et le 06/11/2013) Intervalle entre : deux dates 	Temp. deg. C 11 Pauillac 15 9.4 8000 7.8 600 6.2
deux instants d'un jour précis les 15 derniers jours les 2 derniers jours	4000 4.6 2000 3 23/10/2013(100:05:36) 4000 3 0 23/10/2013(12:00:05) 4000 4000 4000 4000 4000 4000 4000 4
Epaisseur des points: 2 pixels	<< [-] [+] >>
Etude d'une station Température de l'eau Salinité Turbidité Oxygène Marée (marégraphes Bdx, Pauillac) Hauteur d'eau (Stations Bdx,Lib.,Portets) Tracer Donnees Relier les noints V	

Data at different timescales: semi-diurnal tidal cycles





Fig. 3. Example of variations of water level (m), salinity, temperature (°C), turbidity (NTU) and dissolved oxygen (% of saturation) during consecutive semi-diurnal tidal cycles at stations Bordeaux (left) and Libourne (right) from 20 to 22 July 2006 (data every 10 min). Corresponding water level curves (in light grey) are reported on each graph to highlight the relationship between the measured parameters and tidal cycle.

Etcheber et al (2011). Monitoring water quality in estuarine environments. Hydrol. Earth Syst. Sci.

Data at different timescales: neap-spring cycles





Fig. 2 High-frequency record (every 10 min) of water temperature, salinity, dissolved oxygen and turbidity at Bordeaux, from July 17 to August 13, 2005. The dashed lines in the lower panel underline the Neap Tide (NT) and Spring Tide (ST).

SEDN

Lanoux et al, (2013). Factors contributing to hypoxia in a highly turbid, macrotidal estuary (the Gironde, France). Environ. Sci.: Processes Impacts, 2013, 15, 585–595

n Portugal

Data at different timescales: neap-spring cycles





Fig. 2 High-frequency record (every 10 min) of water temperature, salinity, dissolved oxygen and turbidity at Bordeaux, from July 17 to August 13, 2005. The dashed lines in the lower panel underline the Neap Tide (NT) and Spring Tide (ST).

SEDN

Lanoux et al, (2013). Factors contributing to hypoxia in a highly turbid, macrotidal estuary (the Gironde, France). Environ. Sci.: Processes Impacts, 2013, 15, 585–595

Data at different timescales: seasonal changes (daily-mean)



Schmidt (2013). MAGEST newsletter.



Radionuclides as tracers of particle dynamics in aquatic system

Simplified cycle of ⁷Be and ²¹⁰Pb



short half-life strongly bound to particulate matter

appropriate tracers to study shortterm particle transport

Particulate ⁷Be and ²¹⁰Pb_{xs} against salinity

All data (surface, bottom waters)



Monthly survey in 2006-2007



	PK30
0	PK50
\bigtriangledown	PK67
0	PK87

SEDNET 2013 – 6-9 November 2013, Lisbon Portugal

Particule transfer along the fluvio-estuarine system of the Gironde



Model to derive age or residence time of particles from ⁷Be / ²¹⁰Pb_{xs} Activity Ratio (AR)

(Matisoff et al, 2005)



SEDNET 2013 – 6-9 November 2013, Lisbon Portugal

Particule transfer along the fluvio-estuarine system of the Gironde



Distance from Bordeaux (km)



Occurrence of TMZ upstream and river discharge:

River discharge (daily-mean) and turbidity (dayly mean) at Bordeaux for two contrasted hydrological situtations





Occurrence of TMZ upstream and river discharge:

River discharge (daily-mean) and turbidity (daily mean) at Bordeaux for two contrasted hydrological situations



Record of a large flood in June 2, 2013



Turbidity trend in the Gironde estuary and seasonal

10k

NTU

Libourne

Monthly average turbidity (quartiles) at the four stations of the MAGEST network for the period from January 2005 to October 2013

change in TMZ position





the Dordogne Tidal River

100%

10000

NTU

Occurrence of TMZ upstream and river discharge:

Turbidity against discharge for the period from

January 2005 to October 2013

Central estuary









distance from the mouth of the Gironde estuary

NTU

Occurrence of TMZ upstream and river discharge:



Turbidity against discharge for the period from January 2005 to October 2013

Central estuary

The threshold to move TMZ downstream ranges between 100 and 200 m³ s⁻¹

the Dordogne Tidal River





In conclusion:

In the Gironde estuary, continuous monitoring and radionuclides confirm that TMZ and particle residence times are controlled by river discharge.

The continuous monitoring had allowed to precise the fluvial discharge levels that control the position of the TMZ.

This results demonstrates that in a context of fluvial discharge decrease, the TMZ will stay longer in the fluvial section.

In conclusion:

These results are explained and discussed with local public and private agencies to assist the strategic choices for the management of the estuary (newsletter, annual report. meeting, data transmission ..)



CAULLAC MA

нанарницая (учата 2006-5 📷

2 2 1 1 2 10

THE ALC: NUMBER OF

LODUCHO

Hallin der

Consortium MArel Gironde ESTuaire

Réseau d'observation automatisé pour la surveillance de la qualité des eaux

Le réseau MAGEST surveille la qualité des eaux de l'estuaire de la Gironde, le plus grand estuaire d'Europe occidentale, commun à la Garonne et à la Dordogne, un milieu vuinérable et soumis à des pressions climatiques et anthropiques croissantes.

Pour cela, ce réseau documente depuis 2004 les bases de données qui permettent la description à haute résolution temporelle :

des processus hydrodynamiques et sédimentaires (dynamique du bouchon vaseux);

- des conditions physico-chimiques qui déterminent notamment le taux d'oxygénation des eaux et la dynamique des populations biologiques

Le réseau MAGEST enregistre les épisodes critiques (événements climatiques exceptionneis, désoxygénation des eaux estivaies), les effets des pollutions arbroniques (rejets unbans) ou encore (rimpact régional du changement climatique (Intrusion marine, effets des modifications des débits) et des usages.

Le réseau MAGEST est composé de stations automatisées qui mesurent en continu:

la température, la conductivité (salinité), la turbidité et la concentration en oxygène dissous des eaux de l'estuaire de la Gironde à Libourne, Bordeaux, Portets et Paulilac ces données sont transférées inutes les fit et consultables à Padresse : http://www.magest.u-bordeaux1.ft/).

parent. y Des campagnes de terrain ponctuelles permettent d'étudier la distribution longitudinale de ces paramètres dans la Dordogne et de la Garonne estuariennes. Localisation des stations et trajets des campagnes de terrain.

Bulletin du 17 octobre 2013 (n°2013-6)

Point sur l'évolution de la qualité des eaux de l'estuaire de la Gironde:

A l'issue d'un mois de juillet très ensolellé et sec, les températures des eaux avaient cuiminé à des valeurs maximales (moyennes journalières) comprises entre 26,4 à Paulliac, 26,5 à Bordeaux et 27,4° à Libourne. Avec la baisse progressive des températures et le raccourcissement de la durée du lour, le flèchissement de la température des eaux, amorcé en août, se poursuit. Actuellement les températures des eaux (moyennes lournalières) sont comprises entre 15°C à Libourne et 18°C à Paullac (Figure 1).

Depuis fin juliet le bouchon vaseux était bien Installé dans l'estuaire amont, avec des turbidités, moyennes journalières, bien supérieures à 850 NTU (soit environ 1 g L⁻¹). Fin août, c'est à Libourne que les plus fortes turbidités sont mesurées Depuis mi-août. Cadillac enregistre aussi des remontées du bouchon vaseux lors des périodes de vive eau

Le bouchon vaseux est toujours présent à Bordeaux, dans la section garonnaise. Par contre, dans la Dordogne avai, à Libourne, la turbidité des eaux a fortement diminuée depuis fin septembre. Cette évolution est liée à l'augmentation récente des débits de Dordogne, gui sont maintenant supérieurs au seull de 100 m³ à partir duquel la turbidité décroit à Libourne (Figures 1 et 2).

Avec des turbidités et des températures modérées, l'oxygénation des eaux affichent un état très bon à Libourne et à Cadillac. A Paulliac, la concentration en oxygér dissous est comprise entre 6.6 et 7.6 mg L' témolonant d'un état bon à très bon. Seuler les eaux bordelaises ont enregistré brièvement des concentrations (movennes journalières) inférieures à 5 mg L⁴¹(7 jours

Figure 1 : Evolution des débits () de la Garonne (La Réole) Figure 2 : Détails sur l'évolution en conti et de la Dordogne (Pessac/ Dordogne), et des moyennes journalières des peramètres mesurés par les stations MAGEST du 1^e janvier au 16 octobre 2013. et de l'oxygène dissous des eaux è Paullec, Bordeaux, Cedillec et Libourne du 1 juillet au 16 octobre 2013. Les turbidités sont prése reisons de lisibilité.

Les fèches orange soulignent les forts coefficients de marée. Ces mesures, acquises toutes les 10 mn, servent à res referus pour les estuaires. siculer les moyennes jour

Débits fluviau Turbidite



ince de la turbidi

150 29.34 26 Aut 23 Sept non consécutifs entre le 25 septembre et le 6

octobre; Figure 1). Depuis, l'oxygénation des eaux bordelaises est bonne, avec actuellement des concentrations supérieures à 6.5 mg L⁻¹.

Pour rappel, le SAGE a défini des objectifs à respectra à lavai des fleuves (Bordeaux, Llourne);
 9 jours maximum consécutits par an durant lesquels la teneur en oxygène dissous est Inférieure à 6 mg L¹ en noyenne journalère;
 dispartion des situations où Poxygènation est ure & 3 mg L⁻¹ en moyenne jou

Sabine SCHMIDT et Aldo SOTTOLICHIO (EPOC, Université de Bordeaux 1)





bouchon vaseux est présent (> 850 NTU, soit l'équivalent de 1 g L⁴). Les couleurs indiquent le qualité des eaux selon

Tursidab MAGEST











Evolution de l'âge des particules dans la ZTM (PK30)





En résumé sur le transfert particulaire le long du continuum fluvio-estuarien de la Gironde, basé sur le bilan des radioéléments



En résumé sur le transfert particulaire le long du continuum fluvio-estuarien de la Gironde, basé sur le bilan des radioéléments

