



Réseau d'observation automatisée pour la surveillance de la qualité des eaux de l'estuaire de la Gironde

# **MAGEST**

# Rapport scientifique sur les données 2019

Version 1 du 28 Janvier 2020



Sabine SCHMIDT UMR5805 CNRS OASU EPOC Université de Bordeaux

MAGEST.Gironde@gmail.com

# **PREAMBULE**

L'objectif de ce rapport scientifique est de présenter l'évolution saisonnière de la qualité des eaux de l'estuaire de la Gironde, qualifiée par la température, la salinité, la charge en matière en suspension et l'oxygénation, pour l'année 2019. Il s'appuie donc sur les données acquises par le réseau MAGEST et les données de débits de la Garonne et de la Dordogne (Source : @Banque Hydro, www.hydro.eaufrance.fr).

Le choix depuis 2011 est de compléter ce rapport par la production de figures originales et variées dont le but est d'illustrer des résultats marquants ou des résultats récents issus de la communauté scientifique. Il est donc important que toute utilisation de ce rapport (texte, figures) respecte les règles suivantes :

- attribution : la citation de la source, à savoir :

Schmidt Sabine (2020). Rapport scientifique MAGEST sur les données 2019. p. 36.

- pas d'utilisation commerciale;
- pas de modification des figures.

Si vous souhaitez une des figures de ce rapport, merci d'en faire la demande à l'adresse MAGEST.Gironde@gmail.com

# REMERCIEMENTS

Merci à toutes celles et tous ceux qui ont apporté leur aide pour le fonctionnement du réseau en 2019, plus particulièrement :

Les collègues d'EPOC et de l'OASU qui viennent sur le terrain: Hervé Derriennic (EPOC), Franck Delalee (OASU), Jacques Giraudeau (OASU), Olivier Ther (EPOC), Stéphane Bujan (service terrain EPOC); Iris I. Diallo (Education Nationale)

Fabrice Mendes (OASU) et Benjamin Pavone (auto-entrepreneur) pour le développement de la base de données;

Messieurs Mau et Gorichon, du port de Pauillac;

La capitainerie du port industriel du Verdon;

Les Mairies de Libourne, Portets et de Branne;

La communauté de communes Convergence Garonne

Mr Philippe Vignac, Président de l'AAPPED de la Gironde, qui héberge une sonde sur son ponton depuis septembre 2018;

ERCIALE / PAS DE

Mmes Valérie Moreau et Karine David-Fossard de l'ADERA;

Mr Viaud, ostréiculteur à Chatressac, et Mr Cyril Giry d'Énergie de la Lune





# SOMMAIRE

RESUME	3
ABSTRACT	<i>3</i>
1. RAPPEL DU CONTEXTE ET DES OBJECTIFS DU RESEAU MAGEST	4
2. LES DONNEES ACQUISES EN 2019	5
2.1. Les stations fixes :	5
2.2. Données complémentaires :	6
3. LES CONDITIONS HYDROLOGIQUES ET METEOROLOGIQUES EN 2019	7
4. LES PARAMETRES SUIVIS PAR MAGEST EN 2019	10
4.1. La température en 2019	10
4.2. La salinité en 2019	
4.3. Le bouchon vaseux en 2019	
4.4. L'oxygène dissous en 2019	19
5. LONGITUDINALES: COMPARAISON GARONNE AVAL, SEUDRE ET CHARENTE	21
6. SUIVI DE LA DISPOSITION OXYGENE DU SAGE ESTUAIRE DE LA GIRONDE	23
6.1. Objectifs de concentration en oxygène à l'aval des fleuves Garonne et Dordogne	23
6.2. Evolution estivale de l'oxygène dissous en 2019 à l'aval des fleuves	23
6.3. Classification horaire de la qualité des eaux à l'aval des fleuves	
6.4. Suivi du respect des objectifs du SAGE de l'estuaire de la Gironde	26
7. COMPARAISON DE L'EFFICACITE D'OPTIONS DE GESTION POUR LIMITER LE RISQUE D'H	
LA GARONNE AVAL	28
8. RELEXION SUR LES ACQUISITIONS HAUTE-FREQUENCE EN ESTUARES HYPERTURBIDES .	29
ANNEXE 1 : COMPARAISON GRAPHIQUE DES DEBITS JOURNALIERS D'UNE ANNEE	AVEC CEUX
DU PASSE (SOURCE HYDRO.EAUFRANCE) ET VAGUES DE CHALEURS DEPUIS 1947	34
ANNEXE 2 : L'OXYGENE DISSOUS	35

# **RESUME**

Ce rapport scientifique sur les données acquises en 2019 par le réseau MAGEST comprend deux volets. Le 1<sup>er</sup> volet présente l'ensemble des données acquises, avec la production de nombreuses figures pour illustrer la variabilité spatio-temporelle des paramètres suivis (température, salinité, turbidité / charges en matières en suspension, oxygéne dissous). Le bilan de la disposition oxygène du SAGE Estuaire de la Gironde est aussi détaillé et comparé aux années antérieures. Le 2<sup>nd</sup> volet a pour but de favoriser le transfert de connaissances avec des résumés détaillés d'articles récents qui utilisent les données MAGEST ou qui traitent de sujets d'intérêts voisins.

En résumé, les conditions météorologiques 2019 ont déterminé les tendances annuelles de la qualité des eaux de l'estuaire de la Gironde, dont le suivi au moyen des stations MAGEST depuis l'embouchure de la Gironde à l'aval de l'Isle, de la Dordogne et de la Garonne montre que en 2019:

- les vagues de chaleur ont eu un impact clair sur la température de l'eau avec des valeurs jusqu'à 30.2°C;
- le déficit hydrologique a favorisé une intrusion saline remarquable, avec des salinités jusqu'à 5 à Bordeaux et 2 à Libourne, et la présence d'un bouchon vaseux concentré et persistant à l'aval des fleuves ;
- ce contexte hydrométéorologique (température élevée, étiage marqué) n'a pas permis d'atteindre les objectifs du SAGE à Bordeaux qui a enregistré un total de 95 jours sous le seuil objectif de 5 mg L<sup>-1</sup>, dont 2 jours (24/25 juillet) < 3 mg L<sup>-1</sup>.

# **ABSTRACT**

This scientific report on the data acquired in 2019 by the MAGEST monitoring network has two main sections. The first shows all the data acquired, through many different figures in order to illustrate the spatial and temporal variability of the measured parameters (temperature, salinity, turbidity / suspended particulate load, dissolved oxygen). The assessment of the oxygen disposition of the SAGE Estuary of Gironde is also detailed and compared to the previous years. The second section aims to promote knowledge transfer through extended abstracts of recent articles, that were based on MAGEST data or related to related topics of interest.

The 2019 weather conditions have determined the annual trends in water quality in the Gironde estuary. The time series of water quality using MAGEST stations from the mouth of the Gironde River to the tidal Isle, Dordogne and Garonne show that in 2019:

- the heat waves had a clear impact on the temperature with values up to 30.2°C;
- the hydrological deficit promoted an outstanding saline intrusion, with salinities up to 5 in Bordeaux and to 2 in Libourne, and the presence of a concentrated and persistent turbidity maximum in the tidal rivers;
- such a hydro-meteorological context (heat wave, drought) did not allow to reach the objectives of the SAGE in Bordeaux, where MAGEST has recorded a total of 95 days below the objective threshold of 5 mg  $L^{-1}$ , of which 2 days (24/25 July) < 3 mg  $L^{-1}$ .

# RESEAU D'OBSERVATION AUTOMATISEE POUR LA SURVEILLANCE DE LA QUALITE DES EAUX DE L'ESTUAIRE DE LA GIRONDE

# **RAPPORT SCIENTIFIQUE 2019**

# 1. RAPPEL DU CONTEXTE ET DES OBJECTIFS DU RESEAU MAGEST

Le premier objectif du réseau MAGEST est de documenter les bases de données qui permettent la description à haute résolution temporelle :

- des processus hydrodynamiques et sédimentaires (turbidité ; dynamique du bouchon vaseux) ;
- des conditions physico-chimiques (température, salinité, oxygène dissous) qui déterminent l'oxydation de la matière organique, le taux d'oxygénation des eaux, ou la solubilisation des métaux, dont le Cadmium (Cd);
- des conditions environnementales qui contrôlent la dynamique des chaînes primaires et des populations biologiques (survie, croissance et migrations) dans l'estuaire de la Gironde.

Ce réseau contribue également à surveiller des épisodes critiques (évènements climatiques exceptionnels, crues, orages ; vagues de chaleur ; pollution accidentelle ; accident hydraulique ; désoxygénation estivales), les pollutions chroniques (rejets urbains) ou encore l'impact régional du changement climatique¹ (intrusion marine, modifications des débits ; température).

Enfin, grâce à l'ensemble des informations acquises, le réseau MAGEST doit être pour les partenaires un outil d'aide à la définition et au contrôle des politiques de gestions de l'estuaire de la Gironde et des bassins versants de la Dordogne et de la Garonne. Le réseau MAGEST porte notamment le suivi et l'analyse du respect des objectifs du Plan d'Aménagement et de Gestion Durable (PAGD²) du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) de l'Estuaire de la Gironde et milieux associés sur la concentration en oxygène dissous de l'aval des fleuves.

<sup>1</sup> https://www.smiddest.fr/indicateurs-des-changements-globaux.html

<sup>2</sup> Pour plus d'information : http://www.smiddest.fr/les-grands-enjeux-et-objectifs-du-sage.html

# 2. LES DONNEES ACQUISES EN 2019

# 2.1. LES STATIONS FIXES:

En 2019, le réseau MAGEST comprenait <u>huit (8) sites de mesures</u> automatisées de la qualité des eaux, équipés de sondes multi-paramètres (SAMBAT, NKE Instrumentation) qui mesurent toutes les 10 à 20 minutes la température, la salinité, la charge en matière en suspension<sup>3</sup> et l'oxygénation des eaux de surface (Figure 1):

- à l'embouchure de la Gironde, au **Verdon**;
  - o du 1 janvier au 31 décembre 2019
  - o la sonde est placée au niveau de l'ancien appontement pétrolier du terminal du Verdon ;
- dans l'estuaire central de la Gironde, à Pauillac ;
  - o du 1 janvier au 31 décembre 2019, avec une interruption du 21 mai au 18 juillet pour réparation ;
  - o la sonde est placée au niveau du ponton du port de plaisance de Pauillac.
- dans la Dordogne aval :
  - a **Libourne** 
    - du 1 janvier au 31 décembre 2019
    - la sonde est placée sur le ponton Roger de Leyburn, rive droite.
  - o à Branne
    - du 1 janvier au 31 décembre 2019
    - la sonde est placée sur le ponton du port de Branne
- dans l'Isle aval :
  - o à Saint-Denis-de-Pile
    - du 1 ianvier au 31 décembre 2019
    - la sonde est placée sur le ponton privé de Mr Philippe Vignac
- dans la Garonne aval :
  - à Bordeaux
    - du 1 janvier au 31 décembre 2019
    - sur la barge du Grand Port Maritime de Bordeaux.
  - o à Portets,
    - du 5 août au 10 octobre 2019
    - débutées au moyen de capteurs autonomes (salinité, température, oxygène), les mesures se sont poursuivies à partir du 19 août grâce à la sonde SAMBAT, acquise par le SMEAG;
    - sur le ponton géré par Convergence Garonne. L'effondrement de la passerelle d'accès au ponton en octobre a nécessité le retrait de la sonde.
  - o à Cadillac
    - du 4 juin au 31 décembre 2019
    - la sonde est placée sur le ponton Eiffel, géré par Convergence Garonne.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> la charge en matières en suspension est mesurée par la mesure optique de la turbidité de l'eau

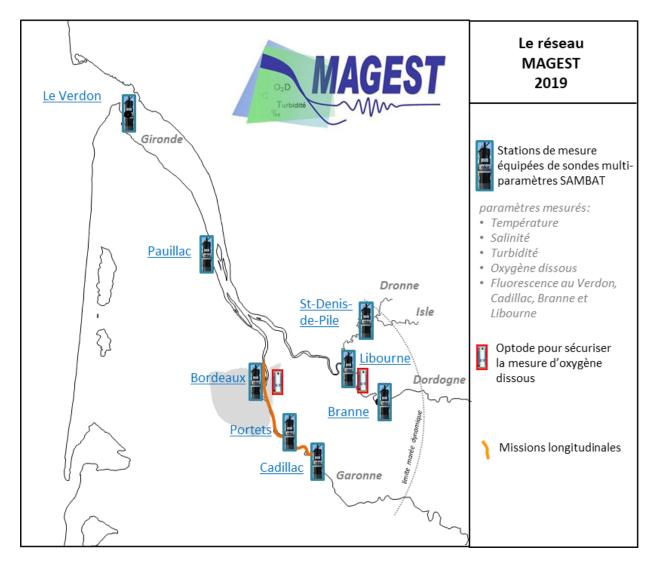


Figure 1: Carte de l'estuaire de la Gironde avec indication des sites instrumentés et des campagnes de terrain en 2019. Les coordonnées des sites sont détaillées sur la carte au lien : magest.oasu.u-bordeaux.fr

# 2.2. DONNEES COMPLEMENTAIRES:

Il y a eu une mission longitudinale:

- dans la Garonne aval, de Cadillac à Bordeaux, le 5 août 2019

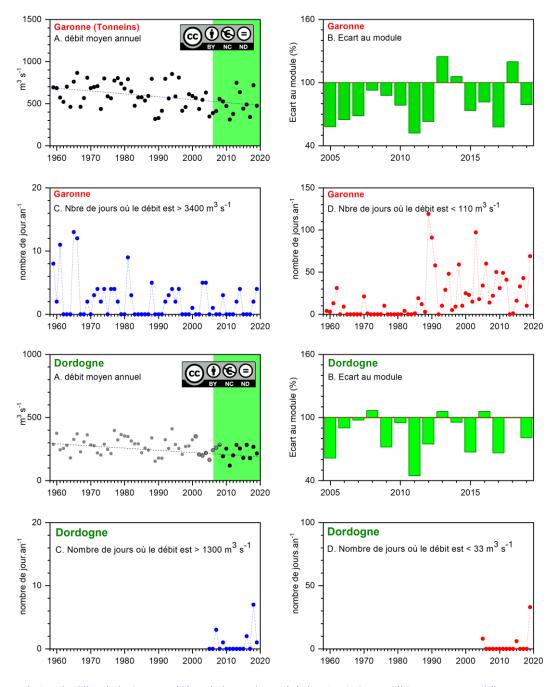
Des campagnes de mesures ont été conduites pendant l'été 2019 dans les estuaires de la Seudre et de la Charente en vue de leur possible instrumentation (projet EPOC / OASU / AEAG). Des capteurs autonomes (température, salinité, oxygène dissous) ont été placés en Charente (Tonnay-Charente et L'Houmée) du 29 juin au 7 septembre 2019.

Des prélèvements de matières en suspension ont été effectués lors de la plupart des opérations de terrain pour valider la relation de conversion des mesures de turbidité en charges en matière en suspension des sondes multi-paramètres SAMBAT.

# 3. LES CONDITIONS HYDROLOGIQUES ET METEOROLOGIQUES EN 2019

Les débits fluviaux sont un des facteurs déterminants de la variabilité spatio-temporelle de la salinité, du positionnement et de la concentration du bouchon vaseux et de l'oxygénation des eaux.

En 2019, les débits moyens annuels étaient de 215 m³.s⁻¹ pour la Dordogne et de 474 m³.s⁻¹ pour la Garonne, bien inférieurs aux modules (Figures 2 et 3; Tableau 1; Annexe 1). Cette moyenne annuelle dissimule de surcroit une forte disparité intra-annuelle, avec des débits très inférieurs à la médiane les ¾ de l'année, puis excédentaires à partir de mi-octobre jusqu'en décembre. Les débits de la Dordogne étaient inhabituellement bas de juillet à octobre (Annexe 1).



Figures 2: Evolution du débit de la Garonne (G) et de la Dordogne (D) depuis 1959 : A : débit moyen annuel (la zone verte souligne les années d'acquisition MAGEST); B : Ecart des années MAGEST aux modules; C : nombre de jours où le débit est supérieur au seuil de crue biennale ( $G > 3400 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ;  $D > 1300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) ou D : inférieur au débit d'Objectif d'Etiage ( $G < 110 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ).

	GARONNE (TONNEINS)			DORDOGNE (LAMONZIE ST MARTIN)			
DEBITS DE REFERENCE (m³ s-1) : MODULE DOE CRUE BIENNALE	607 110 3 400			268 33 1 300			
	2011	2013	2019 *	2011	2013	2019	
MOYENNE ANNUELLE	311.3	747.6	473.8 *	118.7	282.1	215.3	
MOYENNE 1 <sup>ER</sup> JUILLET- 15 SEPTEMBRE	154.8	262.5	117.8	43.3	69.8	35.9	
NB DE JOURS Q ≥ CRUE BIENNALE	0	2	4 *	0	0	1	
NB DE JOURS Q ≥ MODULE	26	182	78 *	28	169	89	
NB DE JOURS Q ≤ DOE	49	0	69	0	0	33	
DEBIT MOYEN JOURNALIER MAX (QMJ MAX)	2000	3950	4750 *	934	987	1400	
DEBIT MOYEN JOURNALIER MIN (QMJ MIN)	85.3	112	83.8	33.1	41.0	27.5	

Tableau 1: Résumé des données hydrologiques de la Garonne et de la Dordogne pour les années 2011, 2013 et 2019. 2011 et 2013 sont les années les plus sèches et humides de la période 2005-2019. \* : préliminaires : pas de valeurs de débits du 24 au 28 décembre 2019. Source des données de débits : Banque Hydro.

L'encart ci-dessous résume les conditions météorologiques de l'année 2019 (source : Météo France) :

# 2019 : au 3ème rang des années les plus chaudes en France

### Source Météo France

La température moyenne sur la France et sur l'année devrait atteindre environ 13,6 °C, dépassant la normale\* de 1,1 °C. Elle devrait se classer au 3ème rang des plus fortes valeurs mesurées depuis 1900 derrière 2018 et 2014, ex æquo avec 2011.

Cette année a été jalonnée par une succession de mois inhabituellement chauds à l'exception des mois de janvier et novembre proches de la normale, et du mois de mai plus frais (- 1,1 °C). L'été 2019 a été le 3ème plus chaud depuis le début du 20ème siècle et a été marqué par deux vagues de chaleur qui ont concerné l'ensemble du pays: du 25 au 30 juin et du 21 au 26 juillet. Elles ont été assez courtes à l'échelle de la France (6 jours) mais exceptionnelles par leur intensité. Avec une température moyenne sur le pays de 29,4 °C, le 25 juillet a été la journée la plus chaude enregistrée en France, ex æquo avec le 5 août 2003.

La pluviométrie a été déficitaire\* en moyenne sur la France durant les neufs premiers mois de l'année. Le pays a ensuite retrouvé une pluviométrie excédentaire en fin d'année avec des passages perturbés actifs et des épisodes violents de précipitations intenses sur les régions méditerranéennes et le sud de l'Aquitaine. En moyenne sur le pays, la pluviométrie annuelle est à ce jour proche de la normale.

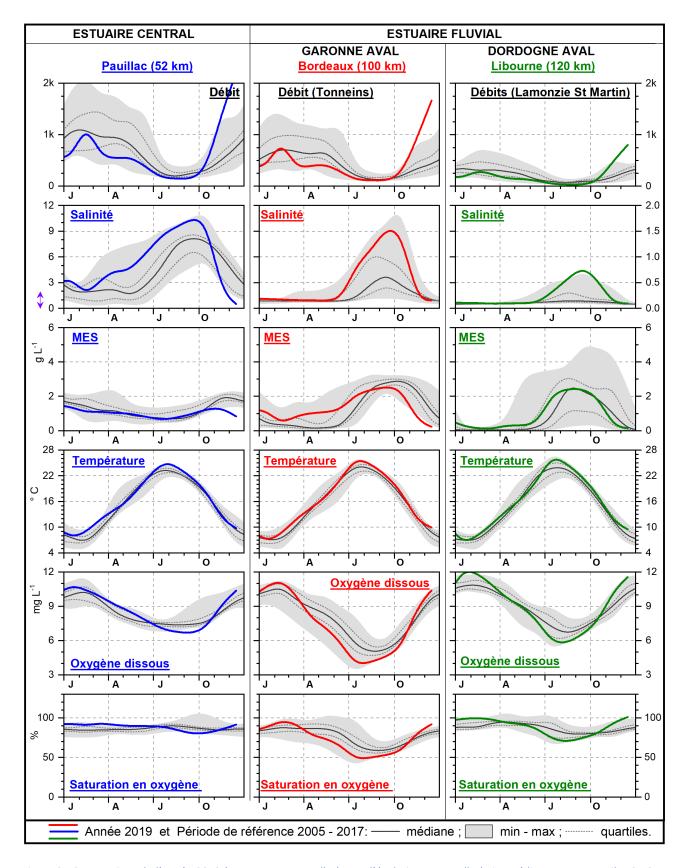


Figure 3 : Comparaison de l'année 2019 (moyennes mensuelles) avec l'évolution mensuelle (min, médiane, max, quartiles 25% et 75%) du débit (Garonne, Dordogne, Gironde), de la salinité, de la charge en matière en suspension (voir section 4.3), de la température et de l'oxygène dissous (concentrations et saturation) des eaux pour la période 2005-2017 à Pauillac, Bordeaux, et Libourne. Attention au changement d'échelle pour la gamme de salinité : 0-12 pour Pauillac, et 0-2 pour les deux autres stations.

# 4. LES PARAMETRES SUIVIS PAR MAGEST EN 2019

Pour un aperçu de l'année 2019, les différents paramètres suivis par les stations MAGEST sont présentés en moyennes mensuelles (Figure 3) et journalières (Figures 4; 7; 10; 14; 20). Les figures 5, 6, 8, 9, 11, 12 et 13 présentent les mesures continues de la température, de la salinité, de la turbidité et la présence du bouchon vaseux à l'aval des fleuves.

# 4.1. LA TEMPERATURE EN 2019

En 2019, les températures, en moyennes journalières, des eaux de l'estuaire fluvial sont comprises entre 4.5 et 29.5°C, avec un signal saisonnier bien marqué (Fig. 3 et 4). Les différences entre stations sont faibles. Alors qu'au Verdon, la valeur maximale de température journalière de l'eau mesurée au Verdon est de 22.1°C, grâce à l'influence océanique, des valeurs bien plus élevées ont été enregistrées à l'aval des fleuves: la température enregistre la météorologie régionale plutôt que des caractéristiques locales.

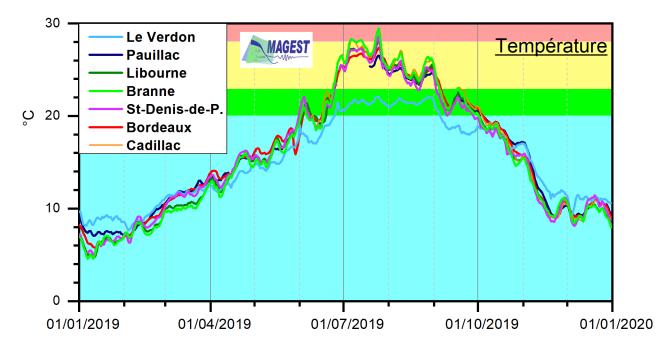


Figure 4 : Evolution de la température, en moyennes journalières, aux stations MAGEST au cours de l'année 2019. Les discontinuités des courbes traduisent des périodes d'arrêt des mesures (pannes d'un capteur, maintenance de la sonde, absence de ponton).

L'été 2019 a été le 3<sup>ème</sup> plus chaud depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle et a été marqué par deux vagues de chaleur: du 25 au 30 juin et du 21 au 26 juillet (Source : Météo France). Cela s'est traduit par des pics de températures à l'aval des fleuves (Fig. 5 et 6) avec des valeurs mesurées jusqu'à 30.2°C.

Ci-dessous, le détail de l'amplitude de variation de la température de l'eau mesurée en 2019 par site :

Isle	St-Denis de Pile	entre 4.7 et 29.4°C;
Dordogne	Branne	entre 4.3 et 30.2°C;
	Libourne	entre 4.3 et 29.1°C
Garonne	Bordeaux	entre 5.5 et 27.9°C.

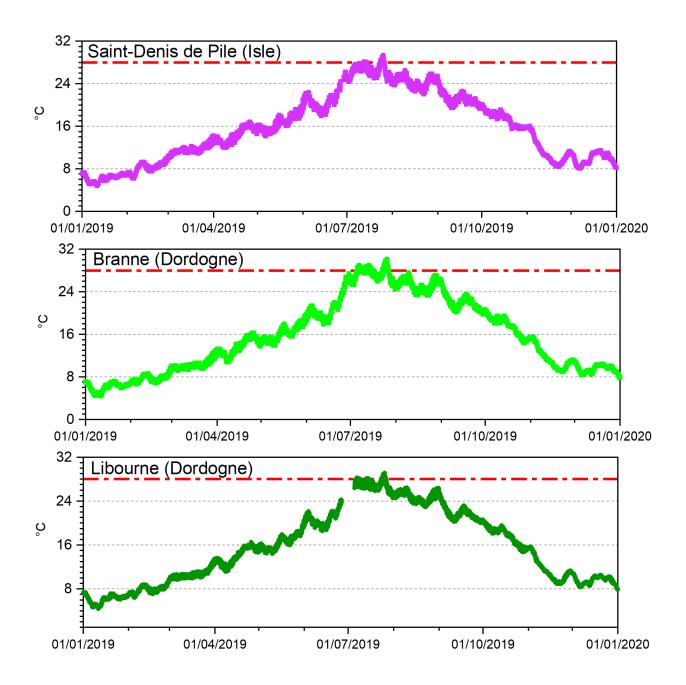


Figure 5 : Mesures continues de la température des eaux à Saint-Denis de Pile (Isle aval) et à Branne et Libourne (Dordogne aval). Le tireté rouge indique le seuil de température défavorable (> 28°C) pour les organismes aquatiques (annexe 2).

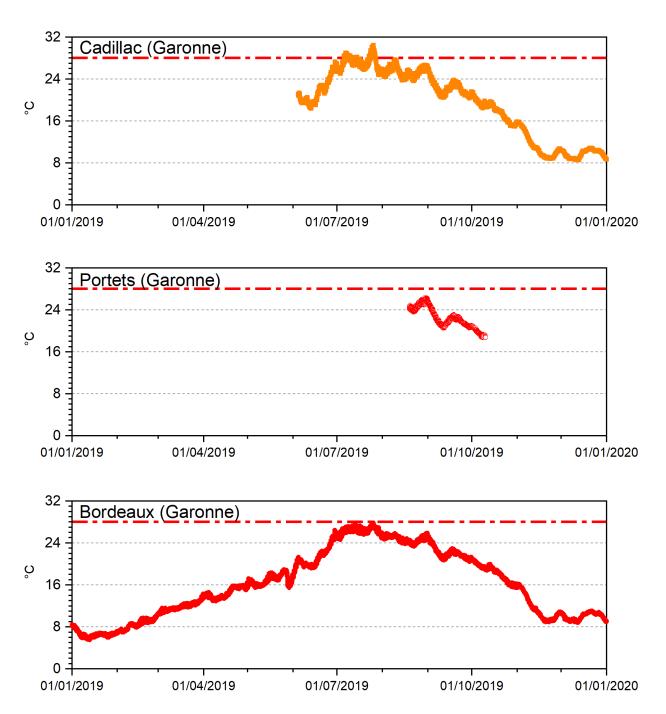


Figure 6 : Mesures continues de la température des eaux à Cadillac, Portets et Bordeaux (Garonne aval). Le tireté rouge indique le seuil de température défavorable (> 28°C) pour les organismes aquatiques (annexe 2).

# 4.2. LA SALINITE EN 2019

La salinité est la concentration en sels dissous (chlorure de sodium, chlorure de magnésium, etc.) dans l'eau. Bien qu'elle corresponde à la masse de sels contenue dans un litre d'eau (g/l), la salinité est sans unité. Alors qu'au Verdon, des valeurs jusqu'à 30 ont été mesurées, la salinité à l'aval des fleuves est bien plus faible (Figure 7).

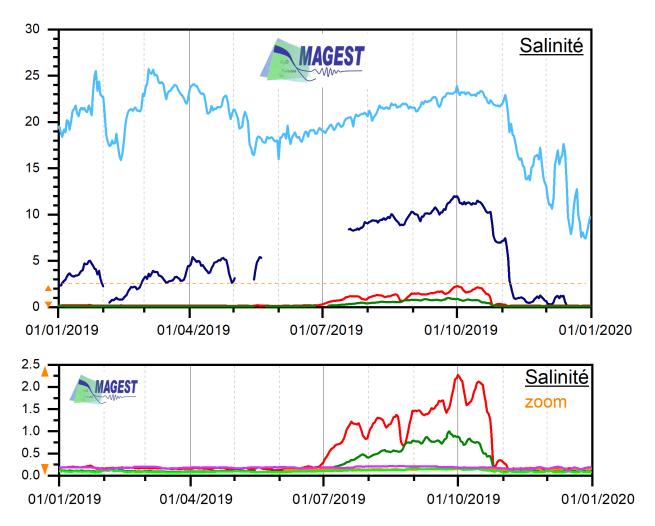


Figure 7 : Evolution de la salinité, en moyennes journalières, aux stations MAGEST au cours de l'année 2019. La figure du bas présente un zoom sur les salinités des stations de Bordeaux, Cadillac, Libourne, Branne et de Saint-Denis de Pile. Les discontinuités des courbes traduisent des périodes d'arrêt des mesures (pannes d'un capteur, maintenance de la sonde, absence de ponton).

Les fourchettes de salinité mesurées par MAGEST en 2019 sont (Figures 8 et 9):

Isle St-Denis de Pile entre 0.12 et 0.21;

Dordogne Branne entre 0.07 et 0.39;

Libourne entre 0.07 et <u>**2.00**</u>

c'est la valeur maximale mesurée à Libourne par MAGEST depuis 2005

Garonne Bordeaux entre 0.11 et 5.1

L'intrusion saline, définie par une salinité (moyenne journalière) supérieure à 0.5, a été présente à Bordeaux du 6 juillet au 24 août, soit 112 jours consécutifs (pour rappel : du 5 au 16 octobre en 2018) (Figure 8). Environ 20 km en amont, des valeurs jusqu'à 0.7 ont été mesurées à la même période, sans toutefois dépasser le seuil de 0.5 en moyenne journalière. A Cadillac, les salinités sont très faibles.

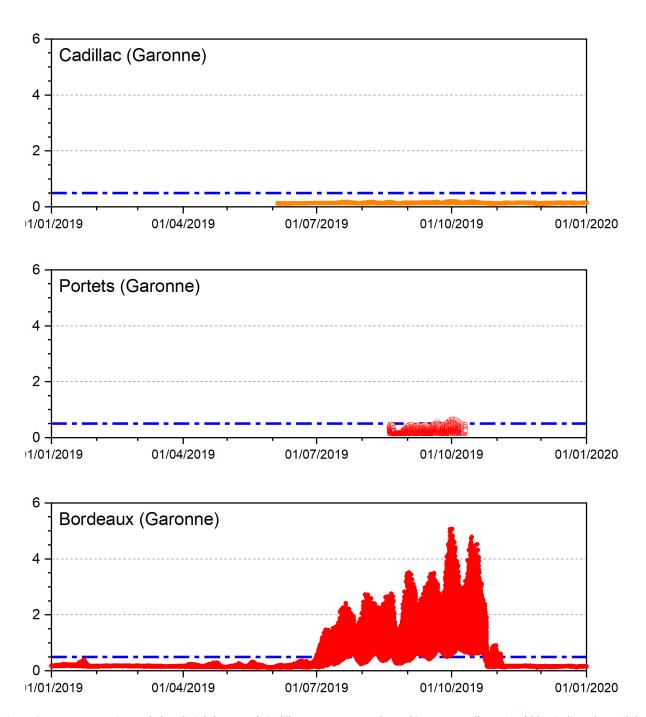


Figure 8 : Mesures continues de la salinité des eaux à Cadillac, Portets et Bordeaux (Garonne aval). Le tireté bleu indique le seuil de l'intrusion saline.

A Libourne, l'intrusion saline a été observée à Libourne, du 8 août au 18 octobre 2019, pendant 72 jours consécutifs (Figure 9). Il est à noter que ce sont les valeurs les plus élevées de salinité mesurée par le réseau MAGEST à Libourne depuis 2004.

Le seuil de 0.5 en moyenne journalière n'a été atteint ni à Branne, ni à St-Denis de Pile en 2019.

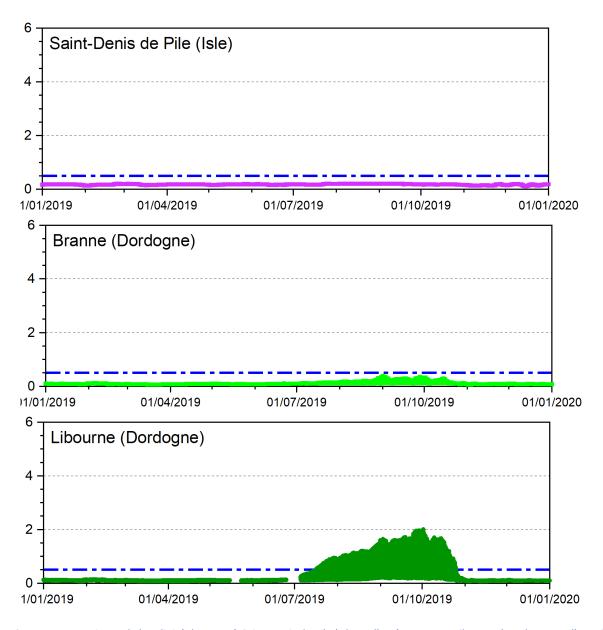


Figure 9 : Mesures continues de la salinité des eaux à Saint-Denis de Pile (Isle aval) et à Branne et Libourne (Dordogne aval). Le tireté rouge indique le seuil de température défavorable (> 28°C) aux espèces aquatiques.

# 4.3. LE BOUCHON VASEUX EN 2019

Dans la pratique, la charge en matière en suspension est suivie au moyen de capteurs optiques qui mesurent la turbidité. Les rapports antérieurs présentaient les valeurs de turbidités mesurées par les anciennes armoires de mesure (type MAREL). Or en 2017, ce sont les sondes multi-paramètres (SAMBAT, NKE) qui ont permis la jouvence des stations historiques et l'ajout de nouveaux sites. Ces sondes mesurent aussi la turbidité, mais la gamme est différente des anciens systèmes. Une relation préliminaire a été établie pour convertir ces deux types de mesures, exprimées en NTU, en charges en matières en suspension (MES), exprimées en gramme de sédiments secs par litre, avec une inexactitude maximale de 20% sur la valeur.

Les anciens capteurs saturaient à une concentration de particules d'environ 5-5.5 g L<sup>-1</sup>, ce qui tendait à minorer les concentrations les plus fortes lorsque le bouchon vaseux était présent dans la Garonne et la Dordogne tidales. Les nouvelles sondes permettent d'atteindre maintenant des

niveaux bien plus importants (au moins jusqu'à 10-25 g L<sup>-1</sup>). Il conviendra de garder à l'esprit cet artefact analytique lors de la comparaison des données 2019 avec celles acquises depuis 2004-05.

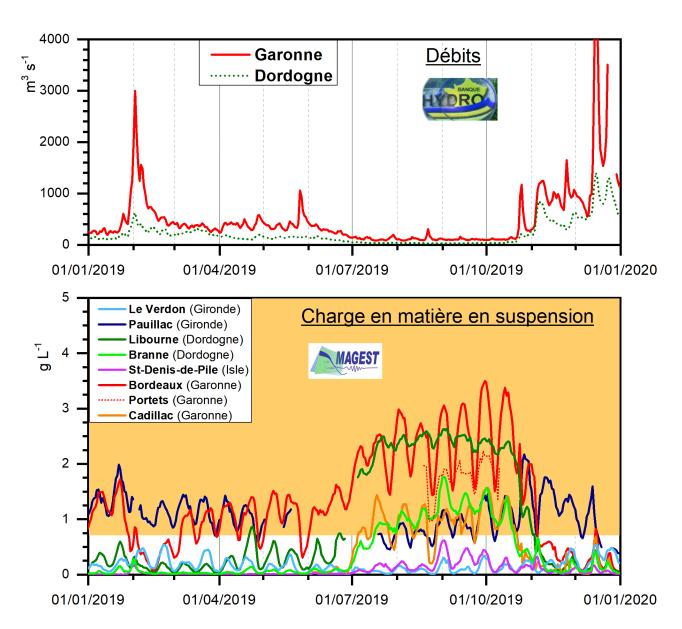


Figure 10: Evolution des débits fluviaux et de la charge en matières en suspension, en moyennes journalières, aux stations MAGEST au cours de l'année 2019. La zone colorée indique les concentrations pour lequel le bouchon vaseux est présent, soit l'équivalent de 1 g L-1 ou plus. Les mesures de turbidité ont été converties en charge en matière en suspension au moyen de relations préliminaires, ce qui peut entraîner une inexactitude maximale de 20% sur la valeur.

A Bordeaux, sur la base du seuil de 1 g L<sup>-1</sup>, le bouchon vaseux était resté bien présent jusqu'à la fin de l'année 2018. Il a fallu la crue de début février 2019 pour observer une diminution marquée de la charge en sédiment des eaux (Figures 10 et 11). Toutefois, le volume d'eau associé à cette unique crue n'a pas été suffisant pour chasser les eaux turbides vers l'aval et il y a un retour rapide de fortes concentrations. De même une faible crue fin mai a eu un effet sur la charge en sédiment des eaux encore plus fugace. Comme pour la salinité, c'est en novembre qu'enfin les fortes crues permettent un effet de chasse durable.

Plus amont, à Cadillac, le bouchon vaseux reproduit une évolution saisonnière analogue mais, avec une durée de présence réduite et des concentrations bien moindres (Fig. 10 et 11). Des incursions turbides sont visibles dès juin puis le bouchon vaseux s'est installé en juillet pour 3.5 mois.

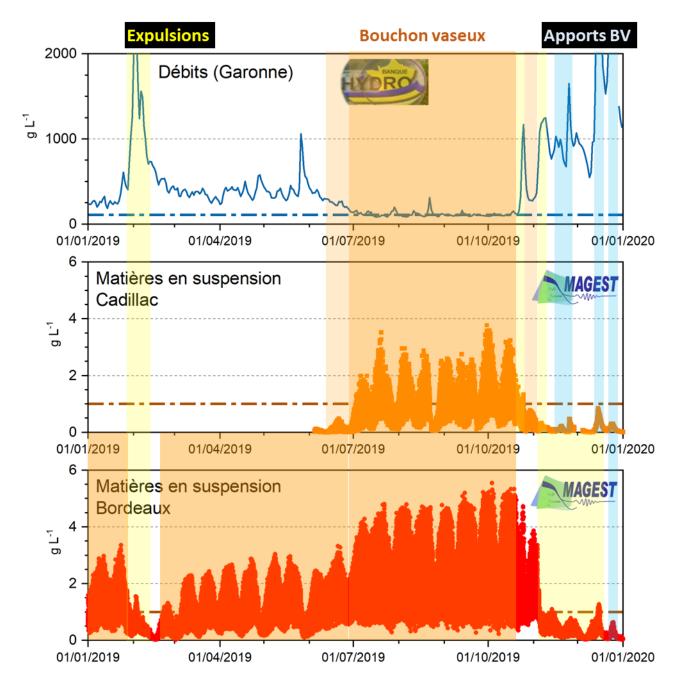


Figure 11 : Mesures continues de la charge en matière en suspension des eaux à Libourne et Branne en Dordogne aval, et à Saint-Denis de Pile en Isle aval. Le tireté orange indique le seuil correspond à la définition girondine du bouchon vaseux. Les zones en couleur soulignent les rythmes du bouchon vaseux (installation, expulsion, présence) et les périodes de crues.

Les figures 10 et 11 montrent que les charges en matière en suspension associées aux crues sont bien inférieures aux valeurs atteintes lors de la présence du bouchon vaseux.

A Libourne, le bouchon vaseux s'est installé à partir de début juillet (Figures 10 et 12). Il faut attendre le 1 novembre pour observer des charges en matières en suspension inférieures à 1 g L<sup>-1</sup>. Il est à noter qu'à la différence de l'axe Garonne, le bouchon vaseux n'était pas présent en début

d'année 2019. Toutefois, il y a des bouffées turbides à partir de mi-avril avec des valeurs supérieures à 0.5 g L<sup>-1</sup> lors des périodes de grands coefficients de marée.

Comme sur l'axe Garonne, le site de Branne reproduit une évolution saisonnière des matières en suspension analogue mais, avec une durée de présence réduite et des concentrations plus faibles.

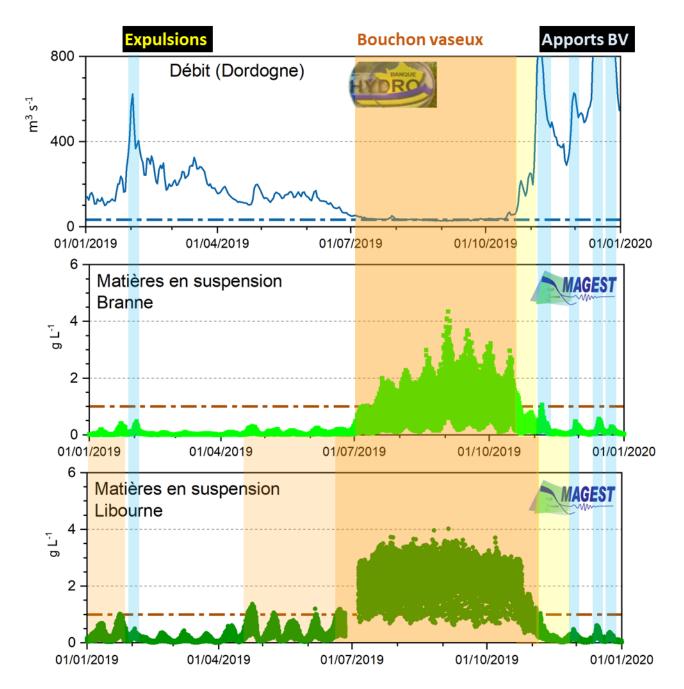


Figure 12 : Mesures continues de la charge en matière en suspension des eaux à Libourne et Branne en Dordogne aval, et à Saint-Denis de Pile en Isle aval. Le tireté orange indique le seuil correspond à la définition girondine du bouchon vaseux. Les zones en couleur soulignent les rythmes du bouchon vaseux (installation, expulsion, présence) et les périodes de crues

Sur l'Isle, à Saint-Denis de Pile, la concentration (moyenne journalière) en matière en suspension a atteint jusqu'à 0.6 g L<sup>-1</sup>. L'oscillation des valeurs en fonction de la marée est similaire à celle observée aux autres stations et indique la présence du bouchon vaseux, bien que moins concentré, à l'aval de l'Isle (Fig. 10).

Il est admis que les très fortes charges en matières en suspension associées au bouchon vaseux limitent la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau, et ainsi la production primaire photosynthétique. Plusieurs sondes du réseau MAGEST mesurent la fluorescence, une estimation indirecte de la chlorophylle issue de la production primaire algale. La figure 13 compare l'évolution de la fluorescence et de la turbidité d'avril à septembre à Branne et à Libourne. Au printemps, alors que les eaux sont peu turbides, la fluorescence présente des valeurs supérieures à 10 μg L<sup>-1</sup>. Par contre, dès le début de l'été, avec l'étiage, le bouchon vaseux s'installe à l'aval de la Dordogne. En parallèle, il y a une très forte diminution de la florescence, qui reste ensuite à des valeurs faibles. Ces données illustrent l'impact négatif des fortes turbidités sur la productivité des eaux.

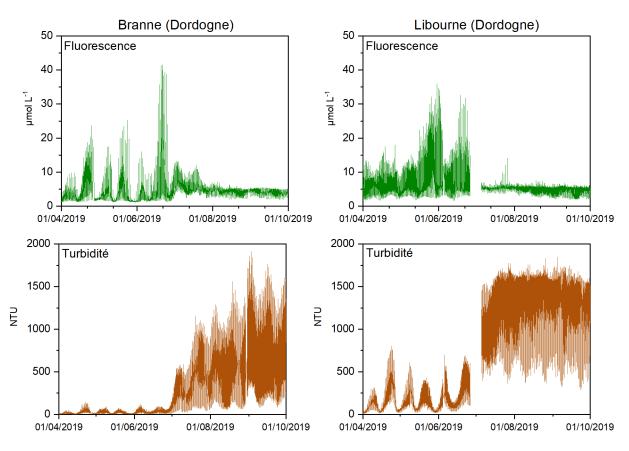


Figure 13 : Mesures continues de la fluorescence et de la turbidité des eaux de surface à Branne (à gauche) et à Libourne (à droite) d'avril à septembre 2019.

### 4.4. L'OXYGENE DISSOUS EN 2019

En 2019, les concentrations en oxygène dissous, en moyennes journalières, ont été comprises entre 2.9 (3.8 en 2018 ; 3.7 en 2016 et 2017 ; 3.5 en 2015) et 12.8 (11.7 en 2015 ; 12.5 en 2017 ; 12.8 en 2018) mg.L<sup>-1</sup> (Figure 3 ; 14). Les valeurs les plus élevées sont mesurées au mois de janvier et février alors que la température des eaux est la plus basse<sup>4</sup>.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Pour rappel, la solubilité maximale de l'oxygène dans l'eau est fonction de la température, et dans une moindre mesure de la salinité: elle est supérieure dans les eaux douces et froides (Annexe 2).

De janvier à mars, avec une température des eaux entre 6 et 10°C, la concentration en oxygène dissous était supérieure à 10 g L<sup>-1</sup>, indiquant une très bonne oxygénation des eaux estuariennes au 1<sup>er</sup> trimestre 2019.

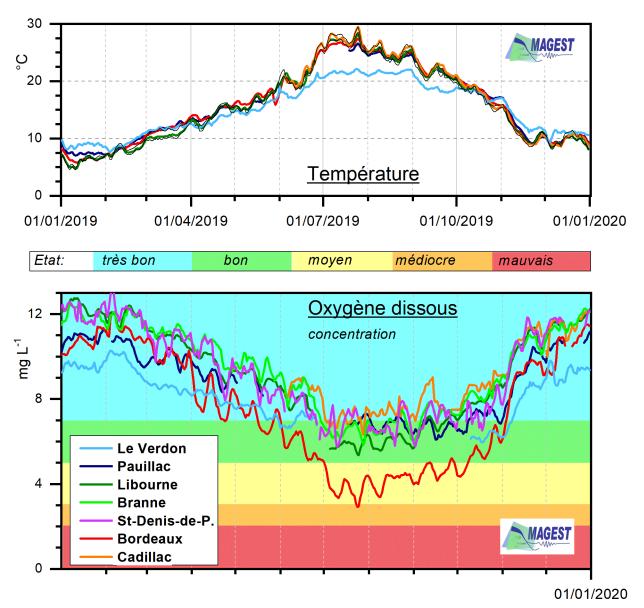


Figure 14 : Evolution de l'oxygène dissous, en moyennes journalières, aux stations MAGEST au cours de l'année 2019. Les couleurs indiquent la qualité des eaux selon la grille de critère détaillée annexe 3.

Ensuite, les faibles débits du 1<sup>er</sup> semestre ont favorisé une présence précoce du bouchon vaseux dans l'estuaire aval. Associé à l'augmentation printanière des températures, cela a induit une diminution de l'oxygénation des eaux, notamment à Bordeaux où le bouchon vaseux était déjà bien présent au printemps En été, les poussées de température liées aux deux vagues de chaleur ont amplifié temporairement la sous-oxygénation des eaux. C'est toujours à Bordeaux que les valeurs les plus basses sont enregistrées

A partir d'octobre, avec le refroidissement automnal des eaux, la concentration en oxygène dissous a augmenté rapidement, ce qui a permis la restauration d'une oxygénation bonne à très bonne dans l'ensemble de l'estuaire. Cet état s'est maintenu jusqu'à la fin de l'année.

# 5. LONGITUDINALES: COMPARAISON GARONNE AVAL, SEUDRE ET CHARENTE

Trois trajets ont été réalisés (Figure 15):

- le 5 août, dans l'estuaire de Gironde, entre Bordeaux et Langoiran dans la Garonne aval, zone d'oxygène minimum (mesures sur les trajets aller et retour)
- le 7 août dans l'estuaire de la Seudre, le transect a été fait de façon discontinue, pour être à pleine mer à l'amont : 1/ depuis le port de Chatressac vers l'amont jusqu'à Saujon, puis 2/ depuis l'embouchure vers le port de Chatressac
- le 8 août dans l'estuaire de la Charente, entre Soubise et Tonnay-Charente.



Figure 15 : Les estuaires nord-aquitains et détail des zones visitées par estuaire.

La figure 16 compare les enregistrements acquis dans chaque estuaire. L'estuaire de la Seudre est essentiellement rempli d'eau de mer, c'est seulement dans les derniers kms du trajet que la salinité diminue sensiblement. La salinité de la Charente présente une courbe de dilution classique de mélange des eaux marines et fluviales, entre 18.9 à Soubise et 5.6 à Tonnay-Charente. A l'opposé, la Garonne aval est très peu salée (< 1.7), ce qui s'explique par la distance à l'embouchure (> 100 km). La forte influence maritime se reflète aussi dans la température des eaux de la Seudre, les plus fraiches des trois systèmes étudiés (22.2 – 24.2 °C). Ensuite la Charente présente des valeurs intermédiaires, entre 23 et 24.5°C, et croissantes vers l'amont. C'est en Garonne aval que les valeurs sont les plus élevées (25-27°C).

La charge en matière en suspension est modérée en Seudre et Charente, à mettre en lien avec la période de marée d'intensité modérée à faible (coefficients de marée = 65-72) des campagnes de mesures. En Garonne aval, par contre, le bouchon vaseux est très présent, avec des concentrations qui augmentent à mi marée, lorsque les courants sont les plus forts et remettent en suspension les sédiments. Il est à noter que la quasi absence de forts débits et de crue de la Garonne l'hiver pendant 2018/2019 n'avait pas permis d'évacuer les eaux turbides de ce secteur.

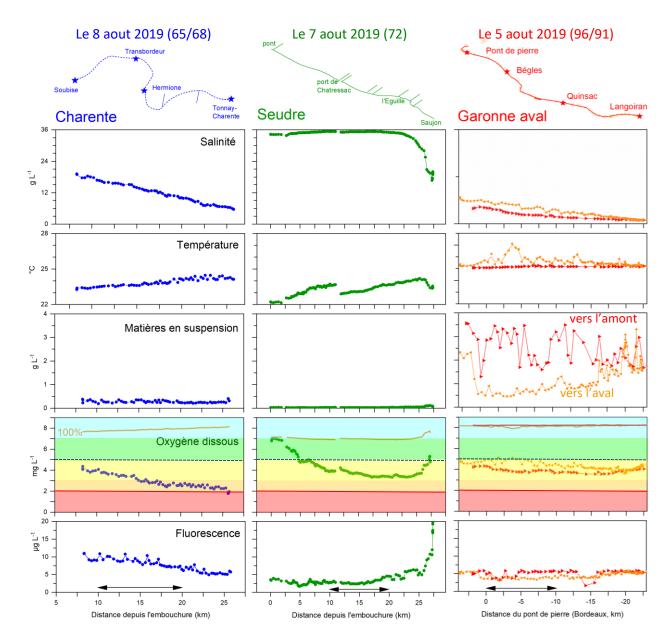


Figure 16: Evolution longitudinale de la salinité, de la température, des matières en suspension, de l'oxygène dissous et de la fluorescence dans les estuaires de la Charente (8 août 2018), de la Seudre (7 août 2018), et dans la Garonne aval (5 août 2018) selon le trajet indiqué. Les mesures sont tracées en fonction de la distance à l'embouchure pour la Charente et la Seudre, et au pont de Pierre dans le cas de la Garonne aval (environ 100 km en aval de l'embouchure). Les données de matières en suspension sont obtenues à partir de la mesure de la turbidité. Attention au changement d'échelle de la salinité pour Bordeaux (0-2). La ligne orange (figure oxygène dissous) indique la valeur théorique d'oxygène dissous à 100% de saturation, compte tenu de la température et de la salinité des eaux.

Quant à l'oxygène dissous, les trois systèmes présentent des évolutions longitudinales très différentes. C'est dans la Seudre que les valeurs les plus élevées sont mesurées : à l'embouchure, les eaux sont très bien oxygénées, à saturation (Fig. 16). Ensuite il y a une diminution graduelle des concentrations vers l'amont, la zone à oxygène minimal (environ 3.3 – 3.5 mg L<sup>-1</sup>) se situe entre 17 et 24 km de l'embouchure. Il y a ensuite une forte augmentation vers la fin de trajet, associée à des valeurs élevées de fluorescence, les plus fortes mesurées dans ce comparatif.

C'est en Charente que les valeurs les plus faibles sont mesurées, avec une diminution progressive vers l'amont, pour atteindre le seuil hypoxique (< 2 mg L<sup>-1</sup>) à Tonnay-Charente. Cette évolution est

contraire à celle de la valeur théorique à saturation, qui augmente vers l'amont en raison de la diminution de la salinité de l'eau, et donc de l'augmentation de la solubilité de l'oxygène. Cela révèle que le déficit d'oxygène dissous s'amplifie vers l'amont, de 3.6 mg L<sup>-1</sup> à Soubise à 5.8 mg L<sup>-1</sup> à Tonnay-Charente.

Dans la Garonne aval, les mesures ont été réalisées sur les trajets aller et retour, et donc à des moments de marée différents. L'impact du moment de marée est bien visible sur la charge en matière en suspension, avec des valeurs comprises entre 1.5 et 3.5 g L<sup>-1</sup> lors du trajet amont (mimarée), et entre 0.5 et 2.3 g L<sup>-1</sup> lors du trajet aval (plus proche de l'étale de marée). La variabilité de l'oxygène dissous est moindre, avec une différence qui n'excède pas 1.3 mg L<sup>-1</sup> entre les deux trajets.

Le résultat inattendu de cette comparaison est que ce n'est pas en Garonne tidale que les concentrations les plus basses sont mesurées alors que les turbidités et la température y sont les plus élevées et que ce secteur reçoit les effluents des stations d'épurations de Bordeaux Métropole (796 273 habitants en 2016). Il est aussi intéressant d'observer que les valeurs théoriques à saturations sont voisines dans les trois secteurs, car d'un côté la température des eaux garonnaises limite la solubilité de l'oxygène ; mais de l'autre la salinité de la Seudre et de la Charente compense les températures moindres.

# 6. SUIVI DE LA DISPOSITION OXYGENE DU SAGE ESTUAIRE DE LA GIRONDE

# 6.1. OBJECTIFS DE CONCENTRATION EN OXYGENE A L'AVAL DES FLEUVES GARONNE ET DORDOGNE

Adopté en 2013, le Plan d'Aménagement et de Gestion Durable (PAGD) décrit les objectifs du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) de l'Estuaire de la Gironde et milieux associés et les conditions de leur réalisation. Le SAGE vise à atteindre le bon état de l'aval des fleuves sur le paramètre concentration en oxygène pour favoriser les migrations piscicoles. L'analyse des marges de manœuvres sur les différents paramètres influant sur la concentration en oxygène avait conduit le SAGE à retenir un seuil de 5 mg.L<sup>-1</sup> d'oxygène dissous dans les eaux pour apporter une amélioration significative des conditions pour l'écosystème de l'aval des fleuves Garonne et Dordogne et pour les migrations amphihalines (SMIDDEST, 2013). Les objectifs de concentration en oxygène dissous dans l'eau à l'aval des fleuves à respecter sont définis comme suit:

- 9 et 4 jours maximum consécutifs par an à Bordeaux et à Libourne, respectivement, durant lesquels la teneur en oxygène dissous dans l'eau est inférieure, en moyenne journalière, à 5 mg L<sup>-1</sup>;
- disparition des situations où la concentration en oxygène dissous dans l'eau est inférieure à 3 mg L<sup>-1</sup> en moyenne journalière.

# 6.2. EVOLUTION ESTIVALE DE L'OXYGENE DISSOUS EN 2019 A L'AVAL DES FLEUVES

La figure 17 détaille l'évolution des différents paramètres pour la période de juin à septembre 2019. Les données 2019 sont comparées à celles de deux années très distinctes : 2006 (plutôt sèche et vague de chaleur de 21 jours) et 2013 (humide et plutôt fraiche). L'oxygénation des eaux à Bordeaux se situe dans la fourchette inférieure des valeurs enregistrées à ce site par le réseau MAGEST (2005-2018), sans toutefois atteindre les minimums relevés en 2006. Cela pourrait s'expliquer par des débits plus faibles et la durée de la vague de

chaleur en 2006 (21 jours). A Libourne, c'est aussi en 2006 que les valeurs les plus basses ont été observées, associées à des températures élevées. Bien que le débit et le bouchon vaseux agissent défavorablement sur l'oxygénation des eaux, la température a un effet déterminant.

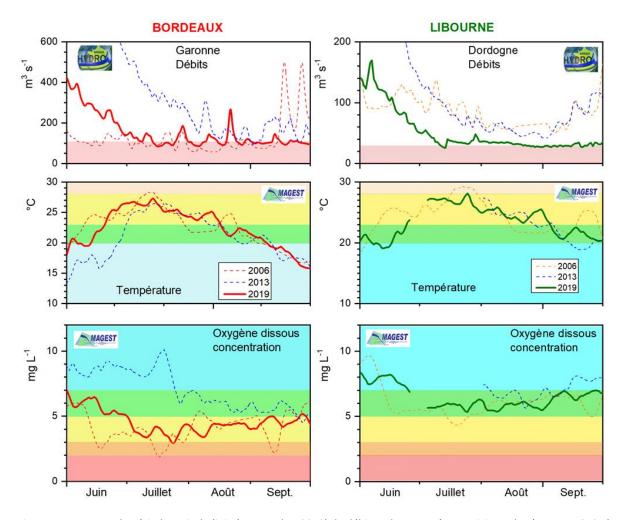


Figure 17 : Zoom sur la période estivale (juin à septembre 2019) du débit et des paramètres suivis par le réseau MAGEST (moyennes journalières) à Bordeaux et à Libourne, et comparaison avec 2006 (année chaude et sèche) et 2013 (année humide).

# 6.3. CLASSIFICATION HORAIRE DE LA QUALITE DES EAUX A L'AVAL DES FLEUVES

Les moyennes journalières masquent les variations de la concentration en oxygène dissous au cours de la journée (Fig. 3, 14 et 17). Pour mieux visualiser ces variations quotidiennes, les figures 18 et 19 détaillent, pour chaque jour, le nombre d'heures par gamme de concentration en oxygène dissous (2-3; 3-4-5; 5-7; >7 mg.L<sup>-1</sup>). Pour la période du 1 juin au 31 octobre 2019, il ressort que (Fig. 17):

# sur l'axe Dordogne :

 à Branne et à Libourne, les eaux étaient le plus souvent bien à très bien oxygénées, avec toutefois deux périodes en août durant lesquelles la concentration d'oxygène dissous était inférieure à 5 mg L<sup>-1</sup> plusieurs heures par jour dans la station la plus aval;

# sur l'axe Garonne : les tendances sont très différentes

- à Cadillac, l'oxygénation des eaux est toujours supérieure à 5 mg.L<sup>-1</sup> à tout moment de la journée, comme en 2018;
- par contre, à Portets et à Bordeaux, les périodes d'oxygénation < 5 mg.L<sup>-1</sup> sont fréquentes, voire peuvent durer la journée entière ; la concentration en oxygène dissous a été inférieure à 3 mg.L<sup>-1</sup> au cœur de l'été à Bordeaux (mais toujours > 2 mg L<sup>-1</sup>), jusqu'à 14h30 par jour (le 24 juillet 2019).

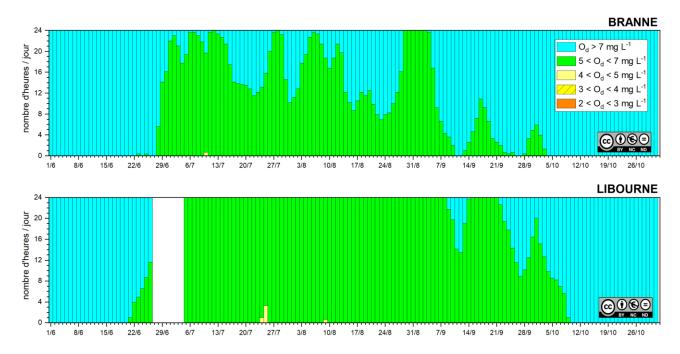


Figure 18 : Nombre d'heures par jour pendant lesquelles l'oxygénation des eaux est comprise dans les gammes de valeurs définies par la légende. De haut en bas : Branne et Libourne. La période représentée est : 1 juin – 31 octobre 2019.

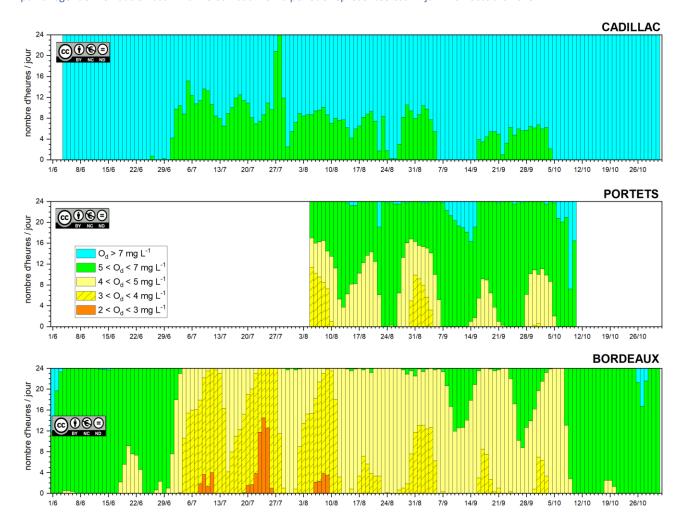


Figure 19 : Nombre d'heures par jour pendant lesquelles l'oxygénation des eaux est comprise dans les gammes de valeurs définies par la légende. De haut en bas : Cadillac, Portets et Bordeaux La période représentée est : 1 juin – 31 octobre 2019.

# 6.4. SUIVI DU RESPECT DES OBJECTIFS DU SAGE DE L'ESTUAIRE DE LA GIRONDE

Le respect des objectifs du SAGE est mesuré au niveau des stations du réseau MAGEST de Bordeaux et de Libourne (Fig. 20). Le tableau 2 et la figure 21 comparent le nombre de jours où la concentration (moyenne journalière) en O<sub>2</sub> dissous à l'aval des fleuves a été inférieure aux seuils de 5 et de 3 mg.L<sup>-1</sup> de 2013 à 2019.

En 2019,

- à Libourne (Dordogne aval), la concentration en oxygène dissous (moyenne journalière) a toujours été supérieure à 5 mg L<sup>-1</sup>.
- à Bordeaux (Garonne aval), la concentration en oxygène dissous (moyenne journalière) a été inférieure à 5 mg L<sup>-1</sup> pendant 95 jours au total.

Détails des périodes pendant lesquelles la concentration moyenne journalières était inférieure à 5 mg L<sup>-1</sup> à Bordeaux en 2019:

85 jours consécutifs du 2 juillet au 23 août 2019 dont 2 jours (24/25 juillet) < 3 mg L<sup>-1</sup>;

10 jours consécutifs du 29 septembre au 8 octobre 2019.

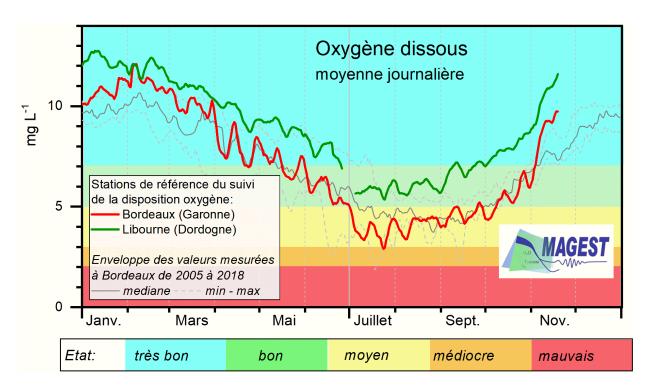


Figure 20 : Evolution de la concentration en oxygène dissous (moyenne journalière ; mg L-1) des eaux de surface à Libourne et à Bordeaux du 1 janvier au 31 décembre 2019.

Oxygène dissous à l'aval des fleuves	Site	Objectifs SAGE:	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Nombre de jours consécutifs par an	Site	nombre de jours max.	2013	2014	2013	2010	2017	2016	2013
à teneur en O <sub>2</sub> dissous < 5 mg L <sup>-1</sup>	Bordeaux	9	7*	13*	26*	45*	38 *	47*	95*
	Libourne	4	0	0	1	0	nd	0	0
à teneur en O <sub>2</sub> dissous < 3 mg L <sup>-1</sup>	Bordeaux	0	0	0	0	0	0	0	0
	Libourne	0	0	0	0	0	nd	0	0

Tableau 2 : Oxygène dissous et suivi des objectifs du SAGE : bilan des années 2013, 2014, 2015 et 2016, 2017 et 2018. \* Ce nombre de jours total correspond au cumul de plusieurs périodes de jours consécutifs inférieurs au seuil.

L'application de ce critère à 2006, année exceptionnellement chaude avec une vague de chaleur de 21 jours, conduit à un bilan bien plus mauvais que celui obtenu en 2019 (Fig. 21) : ceci s'explique par un étiage prononcé et un long épisode caniculaire en juillet 2006. La température des eaux à Libourne avait monté jusqu'à 29.3°C, valeur la plus élevée enregistrée à Libourne par le réseau. Or la solubilité de l'oxygène dissous diminue avec la température. A Bordeaux, il y a eu 22 jours sous le seuil de 3 mg.L-1 (dont 2 jours < 2 mg.L-1). L'année 2006 préfigure les conditions estivales attendues dans un futur proche.

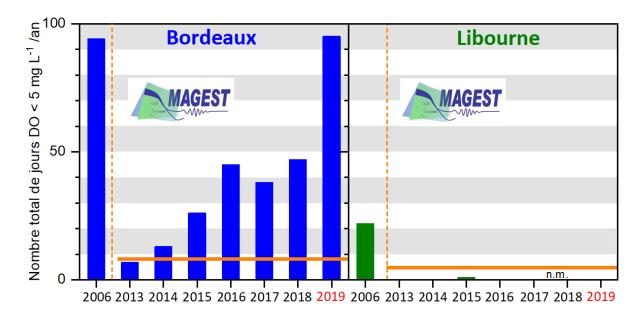


Figure 21 : Nombre de jours cumulés pendant lesquels l'oxygénation des eaux était < 5 mg L-1 à Bordeaux et à Libourne (pas de mesures en 2017) de 2013 à 2019 (2006 à titre de comparaison). Le trait orange indique l'objectif de nombre de jours max. par an sous ce seuil. n.m : pas de mesures.

# 7. COMPARAISON DE L'EFFICACITE D'OPTIONS DE GESTION POUR LIMITER LE RISQUE D'HYPOXIE DANS LA GARONNE AVAL

Adapté de Lajaunie-Salla K., Sottolichio A., Schmidt S., Litrico X., Binet G. & Abril G. (2019) Comparing the efficiency of hypoxia mitigation strategies in an urban, turbid tidal river via a coupled hydro-sedimentary-biogeochemical model, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 19, 2551–2564, 2019.

Pour rappel, un outil de modélisation numérique capable de simuler l'oxygénation des eaux de la Gironde a été développé dans le cadre d'un doctorat de l'Université de Bordeaux (Katixa Lajaunie-Salla, novembre 2013 – décembre 2016) en collaboration entre le laboratoire EPOC (UMR5805, Université de Bordeaux – CNRS) et le laboratoire R&D Suez LyRE (campus Univ. Bordeaux) dans le cadre du projet Région DIAGIR. Il repose sur un modèle couplant l'hydrodynamique, le transport sédimentaire et la dynamique de l'oxygène dissous; le calage du modèle étant réalisé grâce aux données du réseau MAGEST. Le rapport MAGEST 2017 présentait brièvement deux volets de ce travail, le lecteur peut se référer à la thèse (Lajaunie-Salla K, 2016), à ce rapport et aux articles :

Lajaunie-Salla K., Wild-Allen K., Sottolichio A., Thouvenin B., Litrico X. et Abril G. (2017) Impact of urban effluents on summer hypoxia in the highly turbid Gironde Estuary, applying a 3D model coupling hydrodynamics, sediment transport and biogeochemical processes, par publié dans la revue Journal of Marine Systems 174, 89-105

Lajaunie-Salla K., Sottolichio A., Schmidt S., Litrico X., Binet G., Abril G. (2018) Future intensification of summer hypoxia in the Tidal Garonne River (SW France) simulated by a coupled hydrosedimentological-biogeochemical model. Environmental Science and Pollution Research.

Le dernier volet de ce travail visait à comparer la capacité de différentes stratégies de gestion à limiter le développement de l'hypoxie dans la Garonne aval (Lajaunie-Salla et al, 2019) dans les prochaines décennies. Les mesures envisagées sont : une optimisation de la gestion des rejets urbains et/ou une adaptation du soutien d'étiage de la Garonne pendant la période estivale. Les options de gestion des rejets urbains testées sont : la réduction, voire la suppression, des déversoirs d'orages, avec stockage et traitement des eaux pluviales, ou la relocalisation des rejets urbains en aval de Bordeaux, comme cela a pu être fait à Londres ou Paris. Cette étude a testé différentes solutions de gestion pouvant être mises en œuvre par les gestionnaires Icoaux, mais elle reste théorique, car la faisabilité technique et financière n'a pas été considérée. Le modèle montre que chaque option atténue l'hypoxie, mais avec une efficacité variable dans le temps et dans l'espace (Tableau 3). Alors qu'une réduction des apports des déversoirs d'orage améliore l'oxygénation localement et temporairement, le déplacement en aval des émissaires des STEP atténue totalement l'hypoxie dans la Garonne aval et semblerait être une solution de gestion efficace. Un soutien d'étiage continu de faible intensité l'été peut contribuer à empêcher l'hypoxie dans le secteur amont de la Garonne aval (Portets). En revanche, un soutien d'étiage intense pendant 3 jours améliore rapidement et considérablement le niveau d'oxygène dans la Garonne aval, mais seulement pendant quelques semaines. L'amélioration du réseau d'effluents urbains et le soutien d'étiage sont complémentaires : ils contribuent à réoxygéner les eaux du fleuve à proximité de la ville de Bordeaux et en amont de la Garonne tidale.

Scenarios		Bordeaux				
		<i>T</i> (°C)	DO <sub>min</sub> (%)	$DO_{min}$ $(mg L^{-1})$	Days of hypoxia	
	Reference	27.4	13.5	1.0	13	
Management of	WW of 2014	27.3	16.4	1.3	17	
wastewater	-10%	27.3	16.5	1.3	16	
discharges	-20%	27.3	16.5	1.3	16	
	-30 %	27.3	16.5	1.3	16	
	-40%	27.3	16.6	1.3	14	
	-50%	27.3	16.6	1.3	13	
	Outlet relocated to KP15	26.9	23.5	1.8	4	
	Outlet relocated to KP25	26.9	26.9	2.1	0	
Support of low	$+10\mathrm{m}^3\mathrm{s}^{-1}$	26.9	13.8	1.1	13	
river flow	$+20\mathrm{m}^3\mathrm{s}^{-1}$	26.8	15.3	1.2	11	
	$+30\mathrm{m}^3\mathrm{s}^{-1}$	26.8	17	1.3	11	
	$+100 \mathrm{m}^3 \mathrm{s}^{-1}$	26.9	12.3	1.0	12	
	$+200 \mathrm{m}^3 \mathrm{s}^{-1}$	27.4	14.5	1.1	10	
	$+400\mathrm{m}^3\mathrm{s}^{-1}$	27.7	16.7	1.3	5	
Combined	$-50\% + 10 \mathrm{m}^3\mathrm{s}^{-1}$	26.9	14.5	2	14	
options	$-50\% + \text{KP15} + 10 \text{m}^3 \text{s}^{-1}$	26.9	24.9	2	2	

Tableau 3. Oxygène minimum, en saturation (%) et en concentration (mg L-1), température correspondante et nombre de jours d'hypoxie à Bordeaux pour chaque scénario testé. (WW: eaux usées). Les trois principaux scénarios sont: une diminution des rejets urbains (de 10 à 50%) ou leur re-localisation de 15 et 25 km en aval de Bordeaux; une modulation du support d'étiage; la combinaison de deux options. Modifié de Lajaunie-Salla et al (2019).

# 8. RELEXION SUR LES ACQUISITIONS HAUTE-FREQUENCE EN ESTUARES HYPERTURBIDES

Extrait de l'article : Schmidt S., Diallo I.I., Derriennic H., Fallou H., & Lepage M. (2019) Exploring the susceptibility of turbid estuaries to hypoxia as a prerequisite to designing a pertinent monitoring strategy of dissolved oxygen. Frontiers in Marine Science, doi: 10.3389/fmars.2019.00352.

En résumé: À l'échelle globale, il y a une diminution de l'oxygène dissous dans les océans, plus prononcée dans les eaux côtières, ce qui entraîne une exposition plus fréquente à l'hypoxie pour de nombreux organismes marins. La gestion du risque d'hypoxie exige une compréhension de la dynamique de l'oxygène dissous (OD) là où elle se produit. La côte française qui fait face au Golfe de Gascogne (Atlantique N-E) abrite au moins une douzaine d'estuaires macrotidaux et turbides (Fig. 22), mais seuls les grands estuaires de la Gironde et de la Loire font l'objet d'un suivi continu de l'oxygénation des eaux. L'objet de l'article est de comparer la dynamique de l'OD dans ces deux systèmes, afin d'évaluer dans quelle mesure il est possible de prédire la sensibilité à l'hypoxie d'un estuaire soumis à la marée en fonction de ses caractéristiques les plus communes et les plus facilement accessibles (surface et longueur de l'estuaire, rejets liquides et solides, charge particulaire en suspension, temps de renouvellement des eaux, présence de villes). Alors que l'estuaire hyperturbide de la Gironde est le plus étendu (170 km), ce qui implique des temps de résidence de l'eau et des particules plus longs, et qu'il est bordé par une grande métropole (>750 000 habitants), seuls des épisodes d'hypoxie estivale (OD < 2 mg L<sup>-1</sup>) ont été enregistrés dans la Garonne aval. En revanche, l'estuaire de la Loire, plus petit en surface et en longueur, connaît une hypoxie estivale permanente. Ceci démontre l'incapacité à évaluer la sensibilité d'un estuaire tidal et turbide à l'hypoxie uniquement en considérant ses caractéristiques générales. Il est donc nécessaire de mettre en place une stratégie basée sur une évaluation initiale de la dynamique de l'oxygène dissous d'un estuaire spécifique à partir notamment de mesures longitudinales, en particulier pendant la saison chaude (lorsque les températures de l'eau plus élevées diminuent la solubilité de l'OD), pour détecter les zones potentielles d'oxygène minimum.

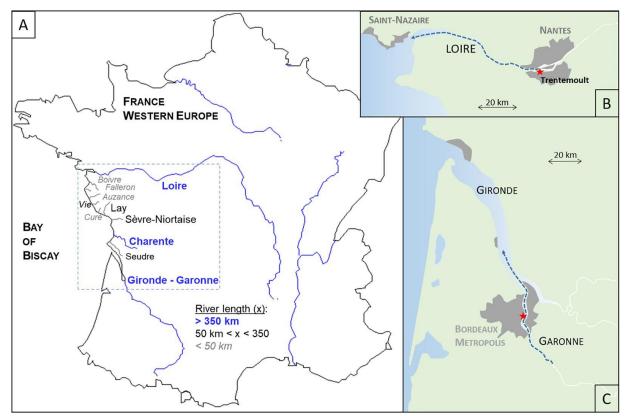


Figure 22 : Figure 1. (A) Estuaires faisant face au golfe de Gascogne entre la Loire et la Gironde. (B) L'estuaire de la Loire. (C) L'estuaire de la Gironde. Les zones grises indiquent les principales villes. Repris de Schmidt et al (2019).

La comparaison des caractéristiques tend à décrire l'estuaire de la Gironde comme un site plus exposés au risque d'hypoxie. Le temps de séjour de l'eau et des particules sont plus longs en Gironde. Bordeaux est également une métropole plus peuplée que Nantes (se référer au Tableau 1; https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2019.00352/ful). En revanche, l'estuaire de la Loire est le réceptacle d'un bassin versant plus important.

Cette prédiction fondée sur les caractéristiques propres à chaque estuaire n'a pas été confirmée par l'ensemble de données d'oxygène dissous, qu'elle soit évaluée sur la base de la surveillance continu (réseau SYVEL) ou des relevés longitudinaux réalisées en 2017/2018. Au cours des 15 dernières années, les sections urbaines de ces deux estuaires ont enregistré des épisodes d'hypoxie, bien que moins fréquents dans le Gironde fluvial (Fig. 23 et 24). De plus, les relevés longitudinaux montrent clairement la présence d'une désoxygénation estivale permanente en aval de Nantes (Fig. 25). Le long de l'estuaire de la Gironde, la position de la zone de minimum d'oxygène est plus variable, et peut être en amont ou en aval de Bordeaux selon le débit fluvial et les conditions climatiques des mois précédents. La localisation d'une grande ville ne semble pas être un des principaux critères pour localiser le minimum d'oxygène dans l'axe estuarien.

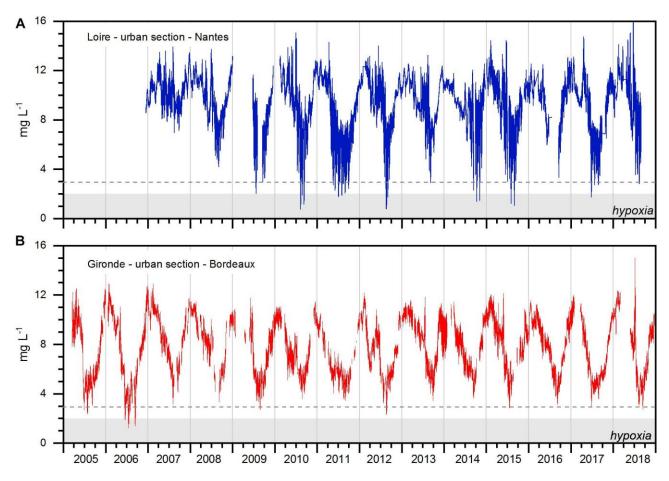


Figure 23. Comparaison des enregistrements haute fréquence de l'oxygène dissous dans la section urbaine de l'estuaire de la Loire (A; 452 433 mesures) et de la Gironde (B; 506 167 mesures). Les zones grises soulignent les concentrations correspondant à l'hypoxie stricto sensus.

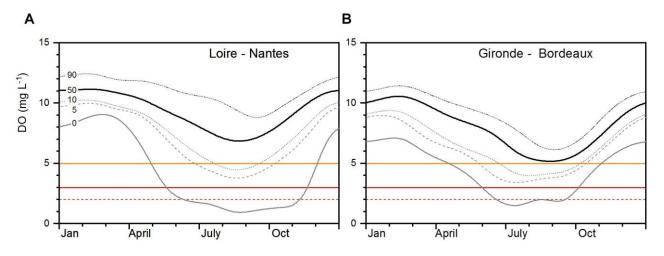


Figure 24. Distribution mensuelle de l'oxygène dissous (0, 5, 10, 50 et 90 centiles) dans la section urbaine de l'estuaire de (A) la Loire (Nantes) et de (B) la Gironde (Bordeaux). Les lignes correspondent aux valeurs de 2, 3 et 5 mg L<sup>-1</sup>. Les valeurs entre 3 et 5 induisent un stress pour la plupart des organismes.

Bien que les deux estuaires soient proches spatialement, il existe des différences dans la dynamique d'oxygène dissous. Sur une base annuelle, la température est le principal facteur de contrôle de la variabilité de l'oxygène dissous dans les eaux bordelaises, bien au-delà de la turbidité et du débit. Dans le cas de la Loire, à Nantes, la turbidité est équivalente à la température. Les différences sont encore plus importantes si l'on

considère uniquement les périodes pendant lesquelles des OD faibles ont été mesurés ; en effet, dans le cas des estuaires atlantiques, le seul facteur commun est l'absence d'un OD faible pendant l'hiver et le début du printemps.

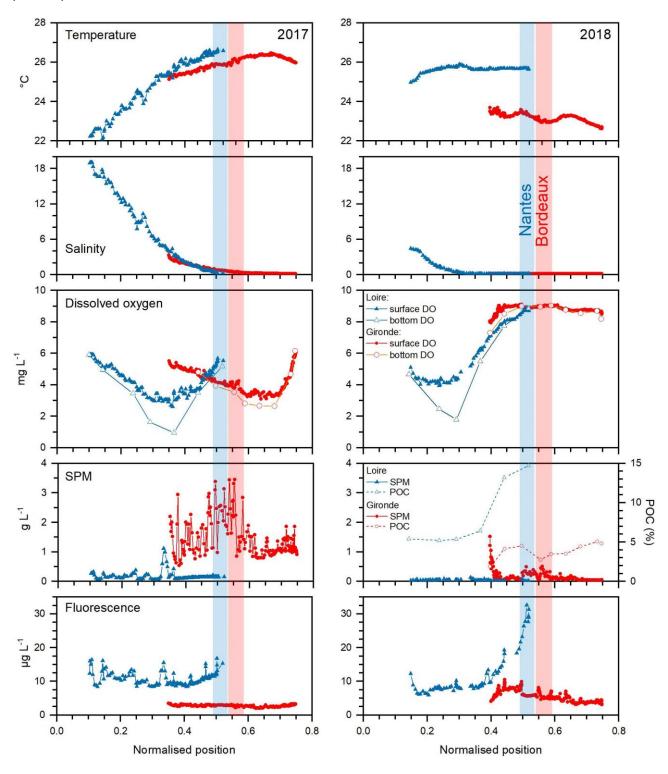


Figure 25. Relevés longitudinaux de l'oxygène dissous et données annexes (température, salinité, particules en suspension, fluorescence) dans les estuaires de la Loire et de la Gironde en 2017 et 2018. La teneur en carbone organique (POC) des matières en suspension (SPM) n'a été déterminée qu'en 2018. La distance par rapport à l'embouchure est normalisée par la longueur totale de l'estuaire correspondant. Les dates de mesure sont : les 21 juin 2017 et 5 juillet 2018 dans l'estuaire de la Loire ; les 27 juin 2017 et 28 juin 2018 dans l'estuaire de la Gironde

De mai à novembre, il y a un découplage évident entre les deux estuaires. Alors que le débit et la température contribuent au contrôle de l'OD en Gironde, la charge en matière en suspension est le facteur de contrôle prédominant de la désoxygénation à Nantes. Ceci n'était pas prévisible, compte tenu de l'importance du bouchon vaseux en Gironde, tant en concentration qu'en extension, de plusieurs dizaines de km, qui limite les échanges avec l'atmosphère. Une explication pourrait être la teneur en carbone organique des particules. En 2018, les conditions humides avaient permis d'évacuer le bouchon vaseux vers l'embouchure et les particules de surface avaient une teneur en COP comprise entre 1.9 et 5 % en Gironde et 5,2 et 15 % en Loire (Fig. 25). Dans la Loire, le phytoplancton, source de matière organique extrêmement labile, pourrait contribuer jusqu'à 50 % de la charge totale en COP due à l'eutrophisation (Etcheber et al., 2007). Ceci est corroboré par la teneur plus élevée en fluorescence enregistrée lors des relevées longitudinaux en Loire. En Gironde, le POC le plus faible en 2018 a été associé à la présence du bouchon vaseux (Fig. 25), or la forte turbidité des eaux empêche la production primaire pendant la majeure partie de l'année, ce que démontre la faible concentration en fluorescence (Irigoiena et Castel, 1997). Ceci explique les différences entre les deux estuaires : la teneur en matière organique plus élevée des particules augmente la consommation d'oxygène dans l'estuaire de la Loire. En résumé, l'hypoxie actuelle peut être définie, en fonction de leur occurrence, comme persistante et saisonnière dans l'estuaire de la Loire, sous l'effet d'un bouchon vaseux modéré pendant la saison chaude qui n'entrave pas la production primaire et la dégradation ultérieure de la matière organique, et épisodique dans l'estuaire de la Gironde lors de conditions hydrologiques et climatiques particulières (c'est-à-dire sécheresses, canicules).

L'oxygène dissous est un des éléments de qualité physico-chimique qui doivent être prises en compte pour définir le " bon état écologique ", selon les règles de l'UE. La comparaison des estuaires de la Gironde et de la Loire montre la difficulté d'extrapoler le risque d'hypoxie uniquement en tenant compte des caractéristiques facilement accessibles. La question qui en résulte est comment concevoir un réseau de surveillance, et en particulier comment sélectionner les meilleurs sites à surveiller. La recommandation est de définir d'abord la dynamique locale de l'oxygène dissous sur une période de 2 à 3 ans et donc pour différents contextes hydrologiques. En l'absence de données historiques, il est nécessaire d'effectuer des relevés longitudinaux sur toute la longueur de l'estuaire, et d'établir des profils avec la profondeur régulièrement espacés. Les paramètres minimaux à déterminer sont l'oxygène dissous, la température, la salinité, la charge en matière en suspension et, si possible, la fluorescence et la fraction en carbone organique des particules. Ceci contribuera à définir les zones d'oxygène minimum et les meilleurs sites à instrumenter. Lorsque le réseau MAGEST a été développé en 2004, le choix a été de surveiller le centre-ville de Bordeaux, en raison de la présence de deux STEPs. Ce travail a révélé qu'il y a en fait deux zones intermittentes d'oxygène minimum, en aval ou en amont de Bordeaux, selon l'hydrologie, justifiant les prochains déploiements de sites de surveillance supplémentaires.

# ANNEXE 1 : COMPARAISON GRAPHIQUE DES DEBITS JOURNALIERS D'UNE ANNEE AVEC CEUX DU PASSE (SOURCE HYDRO.EAUFRANCE) ET VAGUES DE CHALEURS DEPUIS 1947

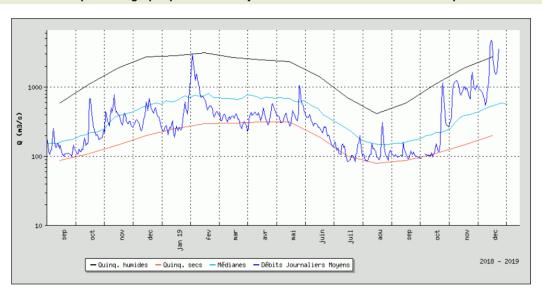
# **Garonne (Tonneins)**

### La Garonne à Tonneins

Code station: O9000010 Producteur: DREAL Midi-Pyrénées

Bassin versant: 51500 km² E-mail: hydrometrie.dreal-midi-pyrenees@developpement-durable.gouv.fr

# Comparaison graphique des débits journaliers d'une année avec ceux du passé



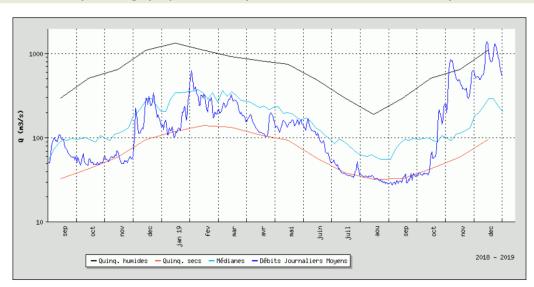
# **Dordogne (Lamonzie)**

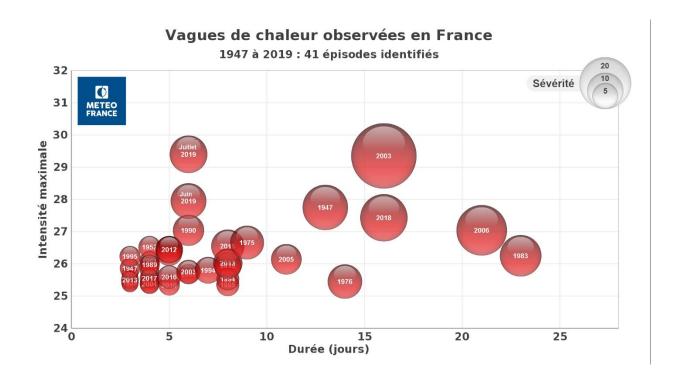
# La Dordogne à Lamonzie-Saint-Martin [Saint Martin]

 Code station:
 P5320010
 Producteur:
 DREAL Aquitaine

 Bassin versant:
 14292 km²
 E-mail:
 sylvain-p.chesneau@developpement-durable.gouv.fr

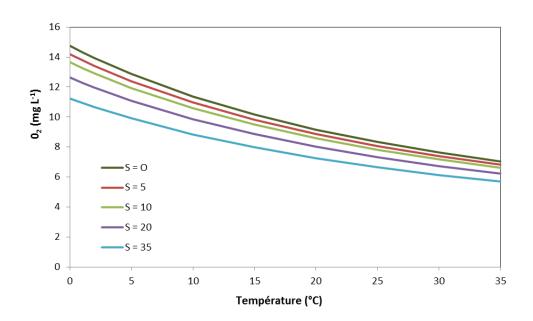
# Comparaison graphique des débits journaliers d'une année avec ceux du passé

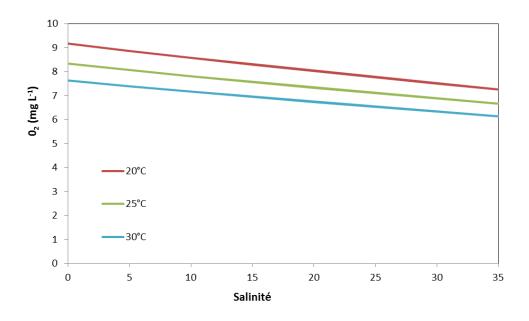




# **ANNEXE 2: L'OXYGENE DISSOUS**

Comme pour les gaz atmosphériques, la solubilité, ou saturation, de l'oxygène dissous varie avec la température et la salinité des eaux. La solubilité de l'oxygène peut être calculée à partir d'algorithmes, le plus fiable étant celui de Benson & Krause (Limnology and Oceanography, 29 : 620-632 ; 1984). Par exemple : pour l'eau douce, le taux est 14,6 mg/l à 0 °C et 8,3 mg/l à 25 °C. Cidessous deux figures qui illustrent l'évolution de la concentration à saturation de l'oxygène dissous en fonction de la température et de la salinité.





# La grille de qualité des concentrations d'oxygène :

Le code couleur des représentations graphiques des données d'oxygène dissous se base sur la grille de qualité des documents de restitution BEEST, à savoir celui recommandé par IRSTEA qui est plus exigeant que celui DCE.

Le code couleur correspond aux catégories de la ligne IRSTEA dans le tableau ci-dessous (Taverny, Elie et Boet (2009)-La vie piscicole dans les masses d'eau de transition) :

Classes	Oxygène	Température	Turbidité *	
Classes	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup> °C		
Très bonne	≥7	< 20	≤ 50	
Bonne	≥ 5 et < 7	≥ 20 et < 23	≥ 30	
Moyenne	≥ 3 et < 5	≥ 23 et < 28	> 50 et ≤ 500	
Médiocre	≥ 2 et < 3	> 20	. 500	
Mauvaise	< 2	≥ 28	> 500	

# **MAGEST**

# Réseau d'observation automatisée pour la surveillance de la qualité des eaux de l'estuaire de la Gironde depuis 2004

# **Partenaires du consortium MAGEST:**































Visualisation des données : http://magest.oasu.u-bordeaux.fr/

Contact : MAGEST.Gironde@gmail.com