



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

MAGEST

Rapport scientifique

2015



Sabine SCHMIDT
UMR5805 CNRS OASU EPOC
Université de Bordeaux
E-mail : MAGEST.Gironde@gmail.com
Site : www.magest.u-bordeaux1.fr

1. RAPPEL DU CONTEXTE ET DES OBJECTIFS DU RESEAU MAGEST	4
2. LES DONNEES ACQUISES EN 2015.....	5
2.1. Les stations fixes :.....	5
2.2. Les missions de terrain complémentaires :.....	6
3. TENDANCES MENSUELLES DES PARAMETRES POUR LA PERIODE 2005-2015.....	6
3.1. La décennie MAGEST dans le contexte hydrologique 1959-2015.....	6
3.2. Débits (période 2005-2015):.....	11
3.3. Salinité (période 2005-2015):.....	11
3.4. Turbidité (période 2005-2015):.....	11
3.5. Température (période 2005-2015):.....	11
3.6. Oxygène dissous (période 2005-2015):.....	12
4. MOYENNES JOURNALIERS DES PARAMETRES POUR LA PERIODE 2005-2015	12
5. EVOLUTION SAISONNIERE DES PARAMETRES SUIVIS PAR LE RESEAU MAGEST EN 2015	16
5.1. Température.....	16
5.2. Salinité.....	20
5.3. Turbidité.....	20
5.4. Oxygène dissous.....	21
6. ANALYSE DES CONDITIONS HYDROLOGIQUES 2015	23
7. ASSURER LE SUIVI ET L'ANALYSE DU RESPECT DES OBJECTIFS DU SAGE EN MATIERE DE CONCENTRATION EN OXYGENE A L'AVAL DES FLEUVES GARONNE ET DORDOGNE.....	26
7.1. Rappel de la disposition Oxygène du SAGE : Objectifs de concentration en oxygène à l'aval des fleuves Garonne et Dordogne.....	26
7.2. Evolution estival de l'oxygène dissous en 2015 à l'aval des fleuves.....	26
7.3. Classification nominale de la qualité des eaux à l'aval des fleuves.....	27
7.4. Suivi du respect des objectifs du SAGE de l'estuaire de la Gironde.....	28
7.5. Quelles perspectives pour l'oxygène dissous.....	30
8. VEILLE SCIENTIFIQUE	32
8.1. Impacts globaux du changement de régimes des années 1980	32

8.2. Effet de la température sur les larves de la grande alose.....	32
8.3. Dynamique du bouchon vaseux de l'estuaire de la Loire.....	33
CONCLUSIONS.....	34
ANNEXE 1: INTERCALIBRATION DES CAPTEURS DE TURBIDITE.....	35
ANNEXE 2 : MISSION LONGITUDINALE EN AVAL DE LIBOURNE.....	36
ANNEXE 3 : L'OXYGENE DISSOUS	36

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

RAPPORT SCIENTIFIQUE 2015

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, et 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 les épisodes critiques (événements climatiques exceptionnels, crues, orages ; pollution accidentelle ; accident hydraulique ; désoxygénation des eaux estivales), les pollutions chroniques (rejets urbains) ou encore l'impact régional ou changement climatique (intrusion marine, présence amont du bouchon vaseux, modifications des débits).

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 gestion de l'estuaire de la Gironde et des bassins versants amont 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 (PAGD¹) sur la concentration en oxygène dissous de l'aval des fleuves.

¹ Pour plus d'information : <http://www.smiddest.fr/les-documents-finaux.html>

2. LES DONNEES ACQUISES EN 2015

2.1. LES STATIONS FIXES :

En 2015, le réseau MAGEST comprenait 3 stations de mesures automatisées de la qualité des eaux en service (Figure 1) :

- dans l'estuaire central de la Gironde, à **Pauillac** ;
- dans la Garonne aval, à **Bordeaux** ;
- dans la Dordogne aval, à **Libourne**.

Un capteur optique de l'oxygène dissous (optode, SDOT NKE, MAGEST) a été installé à Bordeaux du 9 juin au 19 novembre 2015. Ceci a permis d'assurer la continuité des analyses lors des déficiences temporaires de la station automatisée. En raison de la panne du système électronique de mesure en continu (SFMC) qui a impliqué son envoi en réparation, un capteur optique de la turbidité (STBD NKE, S.Schmidt) a été ajouté du 27 août au 19 novembre 2015. Les gammes de mesure différentes des capteurs de turbidité nécessitent une intercalibration pour produire des valeurs équivalentes (Annexe 1).

Pour suivre l'extension du bouchon vaseux et des désoxygénations dans la Garonne aval, le site de Cadillac est maintenant équipé d'une structure légère qui protège des capteurs de turbidité (STBD NKE, S.Schmidt) et d'oxygène dissous (STBD NKE, S.Schmidt). Ces sondes ont fonctionné du 22 août au 17 novembre 2015.

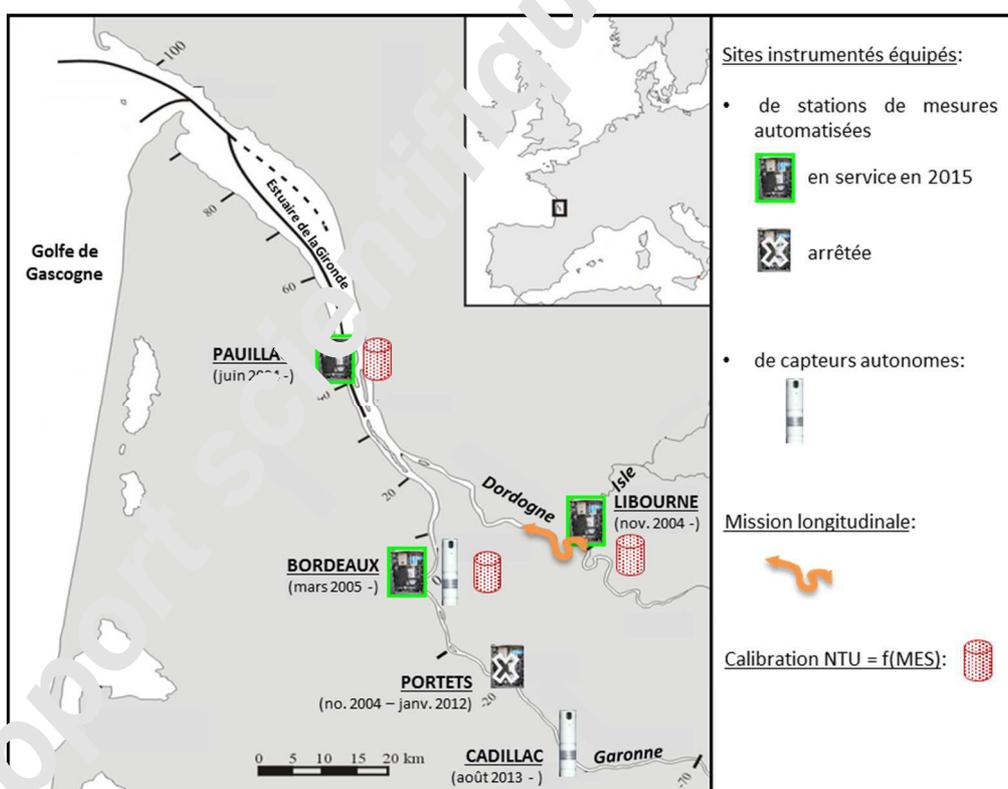


Figure 1 : Carte de l'estuaire de la Gironde avec indication des sites instrumentés et des campagnes de terrain en 2015.

2.2. LES MISSIONS DE TERRAIN COMPLEMENTAIRES :

Il y a eu une mission longitudinale dans la Dordogne aval le 2 juillet : les résultats sont présentés en annexe 2.

En 2014, une étude spécifique avait porté sur le paramètre turbidité, qui est une technique efficace pour suivre la charge en matière en suspension. Toutefois la conversion des mesures en continu de la turbidité en concentrations en Matière En Suspension (MES) nécessite l'établissement de courbes d'étalonnage : $[MES, g L^{-1}] = f(Turbidité, NTU)$. Ce travail a permis d'établir une relation préliminaire entre la turbidité et la charge en matière en suspension. En 2015, des prélèvements ont été effectués aux stations de mesures automatisées pour tester, et le cas échéant, valider cette relation. Cette validation se poursuivra en 2016.

3. TENDANCES MENSUELLES DES PARAMETRES POUR LA PERIODE 2005-2015

Cette section est une actualisation des tendances mensuelles présentées dans le rapport scientifique MAGEST 2013.

Depuis 2005, le réseau MAGEST a enregistré une base de données conséquente sur la qualité des eaux de l'estuaire de la Gironde, qui couvre des conditions hydro-climatiques très contrastées, et dont il est maintenant possible d'extraire des tendances. Après un aperçu du contexte hydrologique de la période 2005-2015 (Fig. 2), les tendances mensuelles des différents paramètres sont présentées pour les quatre stations, Pauillac, Bordeaux, Portets et Libourne, selon leur position dans l'estuaire (Fig. 3). Les débits ont été ajoutés dans la mesure où ils influencent les paramètres analysés.

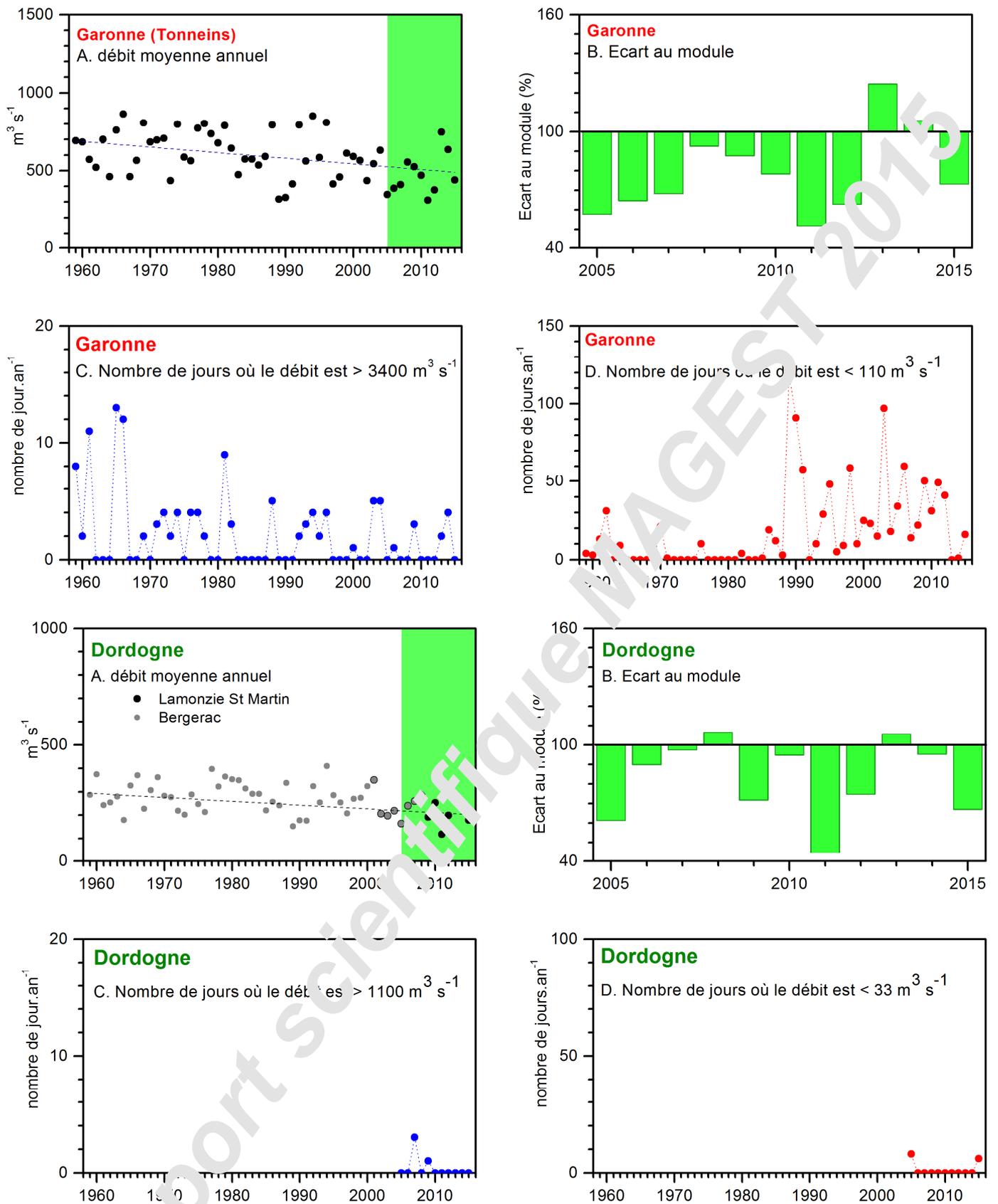
3.1. LA DECENNIE MAGEST DANS LE CONTEXTE HYDROLOGIQUE 1959-2015

L'évolution du débit de la Garonne aval (Fig. 2A haut) illustre les modifications que subit le système fluvio-estuarien de la Gironde en lien avec les changements climatiques et l'intensification des implantations humaines. Le débit de la Garonne présente une importante fluctuation interannuelle avec, toutefois, une tendance à une diminution au cours des décennies récentes. Parallèlement il y a une diminution du nombre de jours de forte crue (crue biennale ; Fig. 2C) et une augmentation du nombre de jours d'étiage (Fig. 2D).

Depuis 2005, MAGEST a suivi une période plutôt sèche, avec des débits moyens annuels de la Garonne en général inférieurs au module ($600 m^3.s^{-1}$ Fig. 2B) : entre $311 m^3.s^{-1}$ en 2011 et $556 m^3.s^{-1}$ en 2008. L'année 2014 est proche du module. Seule l'année 2013 présente un niveau de débit, $748 m^3.s^{-1}$, supérieur au module.

La Dordogne présente aussi une tendance à une diminution au cours des décennies récentes (Fig. 2A bas). Pour la période 2005-2015, les débits moyens annuels de la Dordogne aval sont proches ou inférieurs au module ($267 m^3.s^{-1}$; Fig. 2B) : entre $119 m^3.s^{-1}$ (2011) et $282 m^3.s^{-1}$ (2013).

Pour la période 2005-2015, le nombre de jours où le débit est supérieur au seuil de crue biennale est compris entre 0 et 4 pour ces deux fleuves. Par contre, il y a une différence importante vis-à-vis du Débit d'Objectif d'Etiage (DOE). A l'exception de l'année 2013, humide, la Garonne aval a enregistré annuellement de 1 (2014) à 60 (2006) jours sous ce seuil ($DOE = 110 m^3.s^{-1}$). Ceci est plus rare pour la Dordogne aval ($DOE = 33 m^3.s^{-1}$).



Figures 2: Evolution du débit de la Garonne (en haut) et de la Dordogne (en bas) depuis 1959 : A : débit moyen annuel (la zone en vert souligne les années d'acquisition MAGEST) ; B : Ecart des années MAGEST au module (Garonne = $600 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; Dordogne = $267 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) ; C : nombre de jours où le débit est supérieur au seuil de crue biennale ($G > 3400 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; $D > 1100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) ou D : inférieur au débit d'Objectif d'Étiage ($G < 110 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; $D < 33 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$).

Depuis 2005, la Région a subi cinq vagues de chaleur, par ordre décroissant d'intensité : 2006, 2013, 2005, 2015 et 2012 (Fig. 3). Trois de ces vagues de chaleur ont eu lieu en juillet.

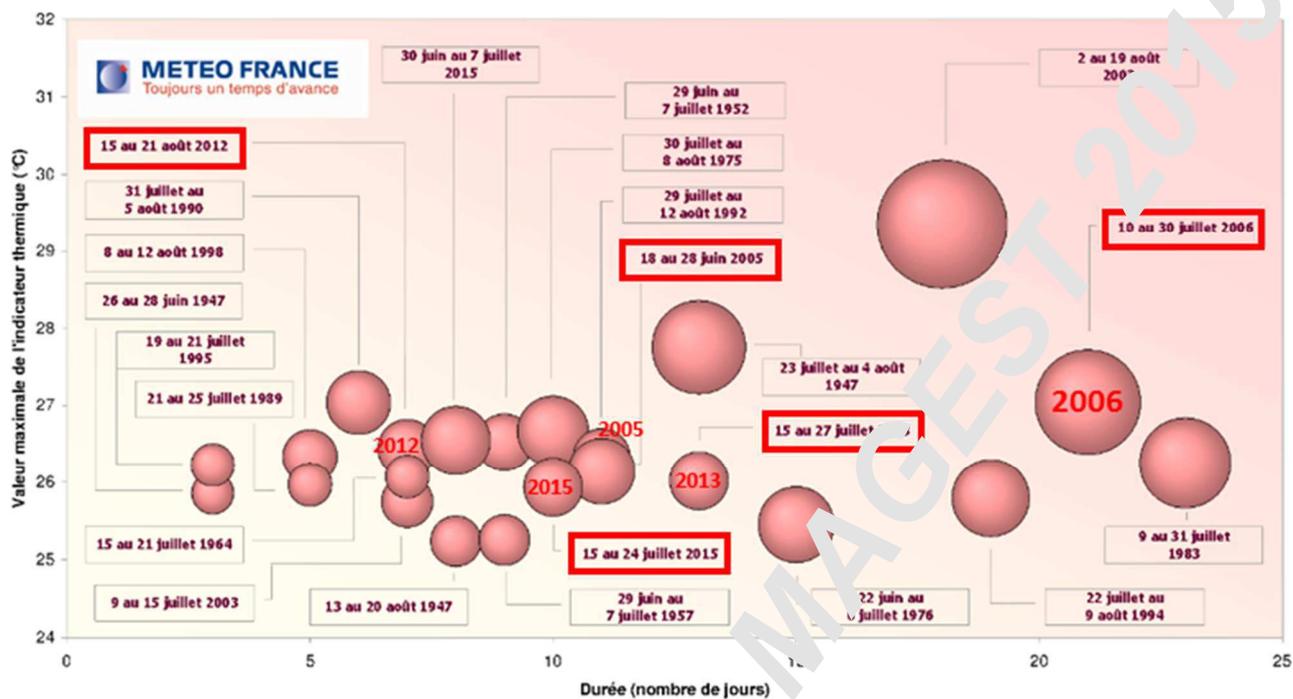


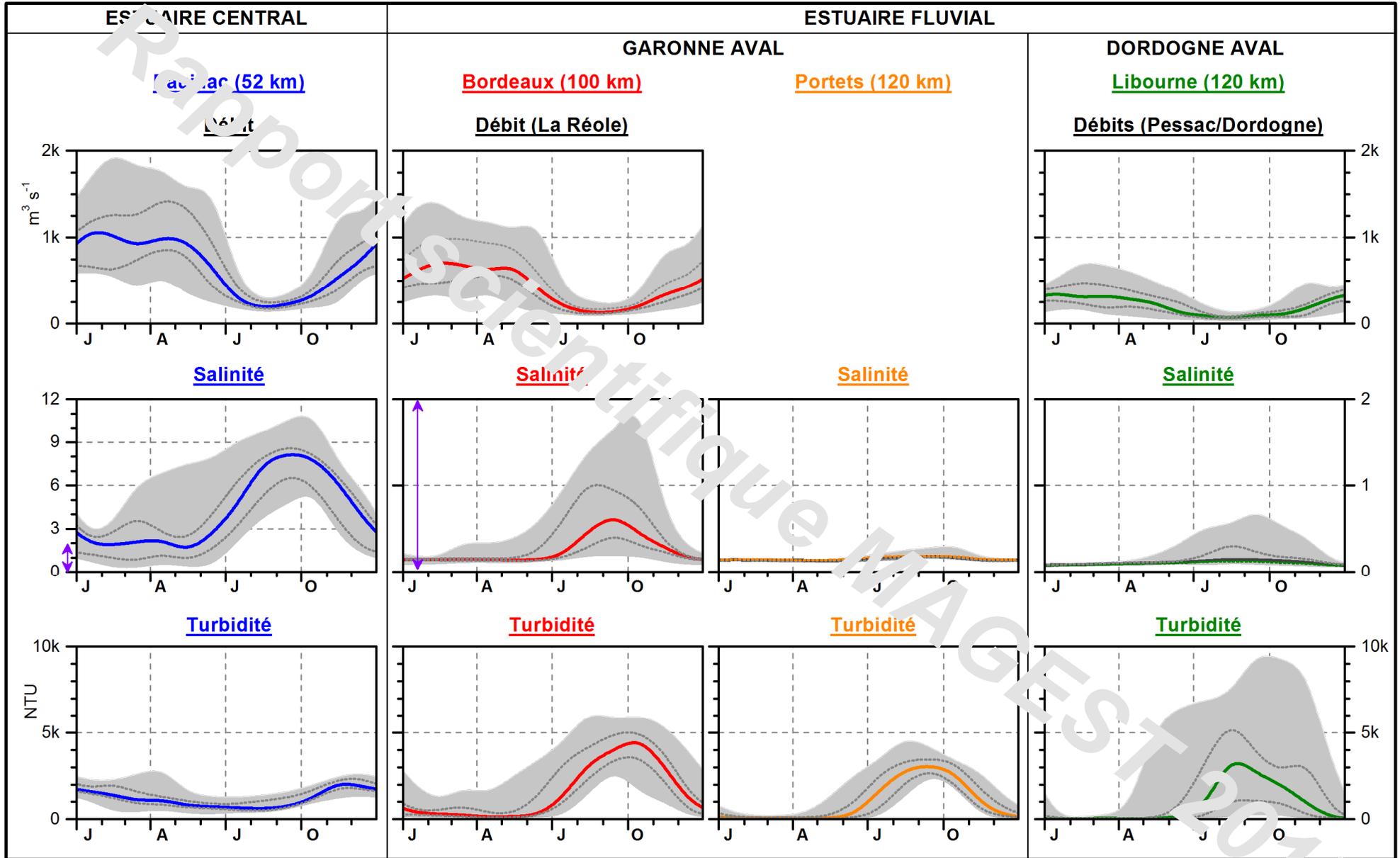
Figure 3 : Vagues de chaleur en France pour la période 1947 - 2015 (modifiée de Météo France). La surface des sphères symbolise l'intensité globale (durée, température max.) des vagues de chaleur.

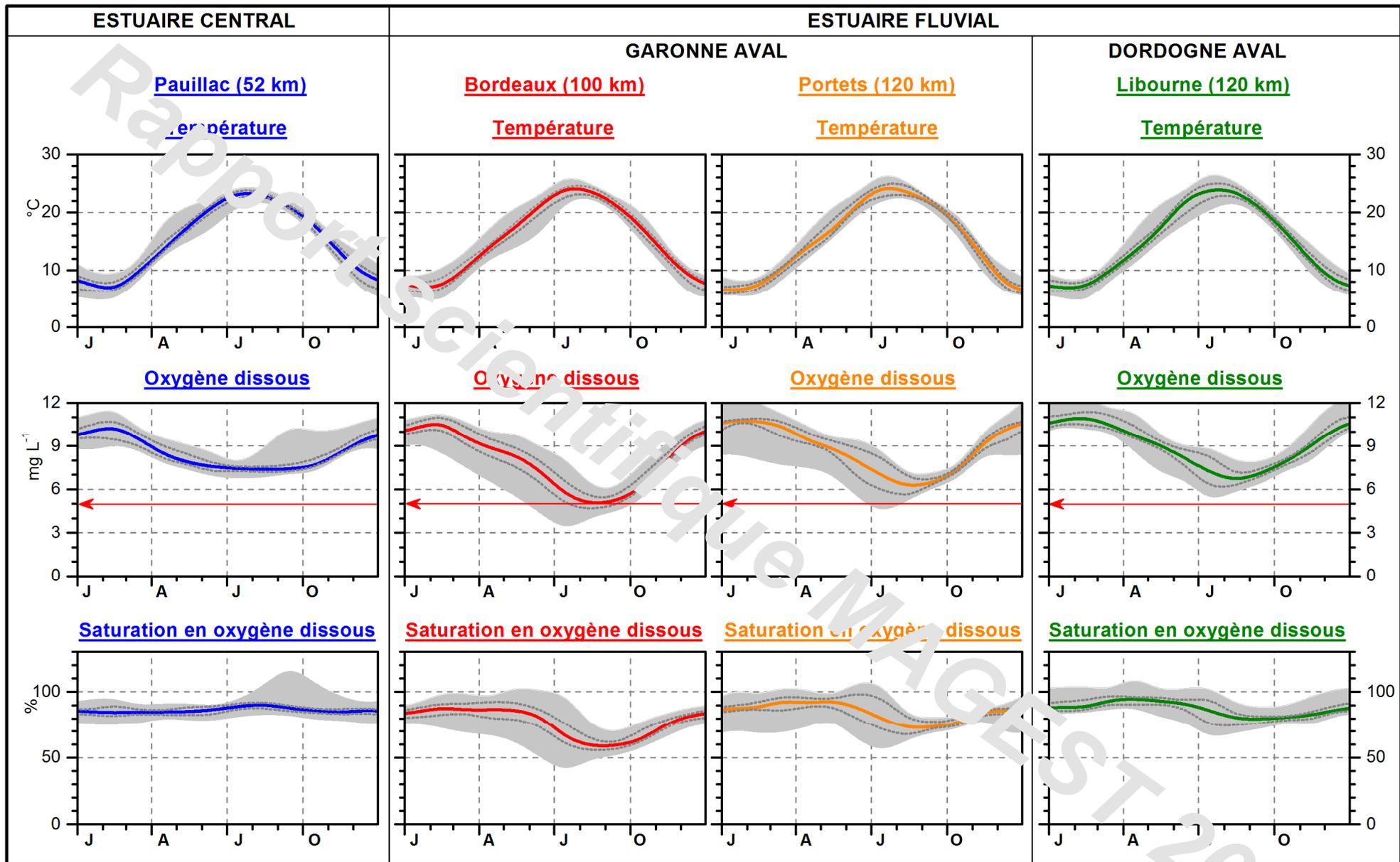
En résumé, il y a trois années présentant des caractéristiques très particulières au cours de la période 2005-2015:

- l'année 2011 : la plus sèche mais avec un été plutôt humide et froid ;
- l'année 2013 : la plus humide mais avec un épisode de canicule en juillet (13 jours);
- l'année 2006 : plutôt sèche, et épisode de canicule intense (21 jours);

Figure 4 (pages suivantes) : Evolution mensuelle (min, médiane, max, quartiles 25% et 75%) du débit (Garonne, Dordogne, Gironde), de la salinité, de la turbidité, de la température et de l'oxygène dissous (concentrations et saturation) des eaux pour la période 2005-2015 à Pauillac, Bordeaux-Portets (2005-2011) et Libourne. Les stations fluviales sont localisées selon leur distance à l'embouchure de l'estuaire de la Gironde. Les moyennes mensuelles sont calculées à partir des données acquises par le réseau MAGEST.

Attention au changement d'échelle pour la gamme de salinité : 0-12 pour Pauillac, et 0-2 pour les trois autres stations. Le trait rouge sur les profils de concentrations d'oxygène dissous souligne le seuil de 5 mg.L⁻¹, objectif du PAGD du SAGE Estuaire.





3.2. DEBITS (PERIODE 2005-2015):

La Garonne et la Dordogne présentent des fluctuations saisonnières bien marquées (Fig. 4). Les hautes eaux se situent en hiver et au printemps, et se caractérisent par des débits mensuels moyens allant de 196 à 1 429 $m^3.s^{-1}$ pour la Garonne (Tonneins) et de 96 à 728 $m^3.s^{-1}$ pour la Dordogne (Lamonzie-St-Martin), de décembre à avril inclus (avec un léger sommet en février).

Dès fin mai, le débit diminue progressivement vers l'étiage. Celui-ci a lieu, en général, de juillet à octobre inclus, avec des débits mensuels compris entre 85 à 371 $m^3.s^{-1}$ pour la Garonne et entre 35 à 244 $m^3.s^{-1}$ pour la Dordogne.

3.3. SALINITE (PERIODE 2005-2015):

La salinité présente une évolution spatio-temporelle en accord avec la position des stations et le régime pluvio-nival des affluents. Les salinités les plus élevées sont, en général, enregistrées de juillet à octobre, lorsque les débits d'étiage favorisent l'intrusion saline. Pauillac, dans l'estuaire central, présente les valeurs de salinité les plus importantes : les moyennes mensuelles sont comprises entre 0.3 et 11.3. Ensuite, dans la Garonne aval, Bordeaux affiche une gamme plus réduite, entre 0.09 et 2.0 en moyennes mensuelles. Environ 20 km en amont, Portets enregistre un signal de salinité très atténué. Par contraste, sur la Dordogne aval, à + 120 km de l'embouchure, Libourne montre un léger signal saisonnier, avec des salinités (moyennes mensuelles) comprises entre 0.5 et 0.7.

3.4. TURBIDITE (PERIODE 2005-2015):

La turbidité présente une évolution différente dans les sections centrale et amont de l'estuaire. A Pauillac, où la salinité affiche la plus forte amplitude, la turbidité varie peu au fil des saisons. La turbidité mensuelle moyenne à Pauillac est de 1280 NTU (min : 301 ; max 3013). Le bouchon vaseux ou son panache, est présent toute l'année à Pauillac, en dehors des périodes de fortes crues.

Les stations situées dans la Garonne et la Dordogne tidales présentent des variations des turbidités moyennes mensuelles bien plus marquées au cours de l'année.

Pour la Garonne aval, il y a une forte saisonnalité de la turbidité, avec une tendance similaire à celle de la salinité, et inverse aux variations du débit fluvial. Pendant les hautes eaux (hiver - printemps), les turbidités à Bordeaux et à Portets peuvent être très basses, < 50 NTU. La baisse estivale du débit s'accompagne de la remontée du bouchon vaseux dans les sections fluviales, bien marquée à Bordeaux. C'est à Bordeaux que les moyennes mensuelles (médianes) les plus élevées sont observées. Le bouchon vaseux est présent entre 5 et 8 mois par an à Bordeaux. A Portets, la turbidité suit les mêmes tendances, mais atténuées en raison d'une position plus amont.

Pour la Dordogne aval, la turbidité à Libourne montre aussi des variations saisonnières, avec les plus fortes valeurs enregistrées à la fin de l'été. Le bouchon vaseux est présent entre 2 et 5 mois par an à Libourne. Il est à noter que Libourne et Portets, situés à des distances similaires de l'embouchure, présentent des évolutions saisonnières de la salinité et de la turbidité bien différentes. Le bouchon vaseux n'est pas systématiquement présent à Libourne en été.

3.5. TEMPERATURE (PERIODE 2005-2015):

L'évolution saisonnière de la température des eaux estuarienne est conforme à un climat de type océanique aquitain, qui se caractérise par des hivers doux et des étés chauds. Les températures mensuelles sont les plus basses en février, en moyenne 7°C (min - max : 4.2 – 10.1°C), et les plus élevées en juillet, en moyenne 24°C (min - max : 21.6 - 27.3°C).

Il y a peu de différences entre les différentes stations, l'écart est en général inférieur à 2°C. Les eaux de Pauillac sont légèrement plus chaudes en hiver et plus froides en été en raison de l'influence océanique.

3.6. OXYGENE DISSOUS (PERIODE 2005-2015):

L'évolution mensuelle des concentrations d'oxygène dissous suit une évolution inverse à celle des températures. Les concentrations sont les plus élevées en hiver, entre 10 et 12.5 mg.L⁻¹, quand les températures basses de l'eau favorisent la solubilité de l'oxygène (annexe 3). Avec l'augmentation graduelle des températures à partir du printemps, il y a une diminution progressive de l'oxygène dissous: les valeurs mensuelles sont les plus basses en juillet - août. Le seuil minimal est très variable selon les stations.

Dans l'estuaire central, à Pauillac, les concentrations mensuelles en été demeurent à des niveaux satisfaisants, entre 6.8 et 10.5 mg.L⁻¹.

Dans les sections fluviales, ces concentrations mensuelles estivales diminuent plus fortement : entre 5.1 et 9.0 mg.L⁻¹ à Libourne, 4.3 et 8.7 mg.L⁻¹ à Portets et 3.1 et 8.9 mg.L⁻¹ à Bordeaux. Pendant l'été et l'automne, c'est donc la Garonne aval qui enregistre les désoxygénations les plus importantes, Il est à noter que la valeur médiane en août à Bordeaux (4.9 mg.L⁻¹) est inférieure au seuil de 5 mg.L⁻¹ préconisé par le SAGE.

Les saturations en oxygène permettent de s'affranchir de l'influence de la température. Il ressort que les eaux de Pauillac sont en général légèrement sous-saturées, en moyenne 87%. Ceci est à mettre en relation avec la présence quasi permanente du bouchon vaseux.

Dans les sections fluviales, la saturation mensuelle est comprise entre 64 et 112 % à Libourne, 54 et 108 % à Portets et 39 et 104 % à Bordeaux. Au printemps, il peut y avoir de brefs épisodes de développements phytoplanctoniques qui produisent de l'oxygène dissous et expliquent les légères sur-saturations. Les désoxygénations les plus importantes sont de même enregistrées dans les eaux garonnaises à Bordeaux et à Portets.

4. MOYENNES JOURNALIÈRES DES PARAMÈTRES POUR LA PÉRIODE 2005-2015

Une autre présentation des données (moyennes journalières en fonction du débit) est proposée dans les figures suivantes (Fig. 5A-B-C). Les années particulières sont différenciées :

- l'année 2006 : plutôt sèche, et épisode de canicule intense → ronds rouges ;
- l'année 2011 : la plus sèche mais avec un été plus humide et froid → triangles oranges ;
- l'année 2013 : la plus humide mais avec un bref épisode de canicule → ronds bleus.

Ces figures sont fournies à titre d'information et sont commentées très brièvement. Les tableaux résumés les moyennes journalières minimales et maximales par paramètre et pour chaque station

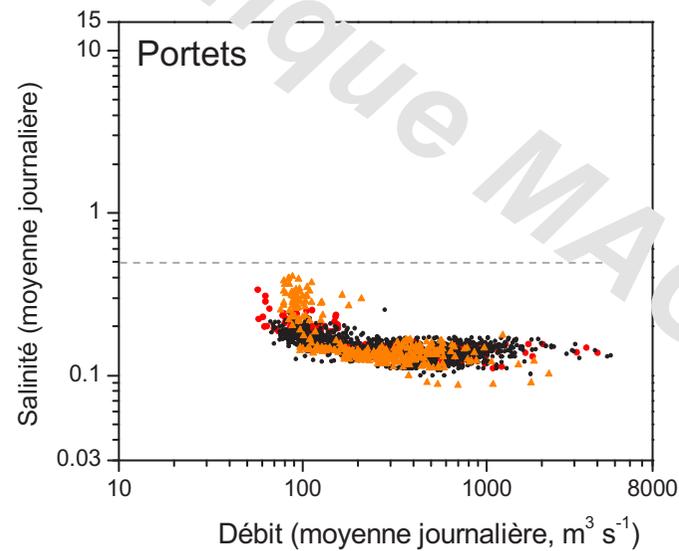
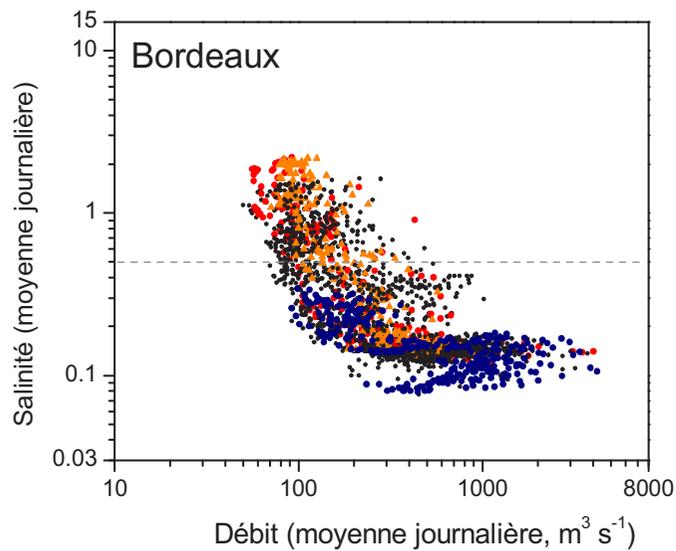
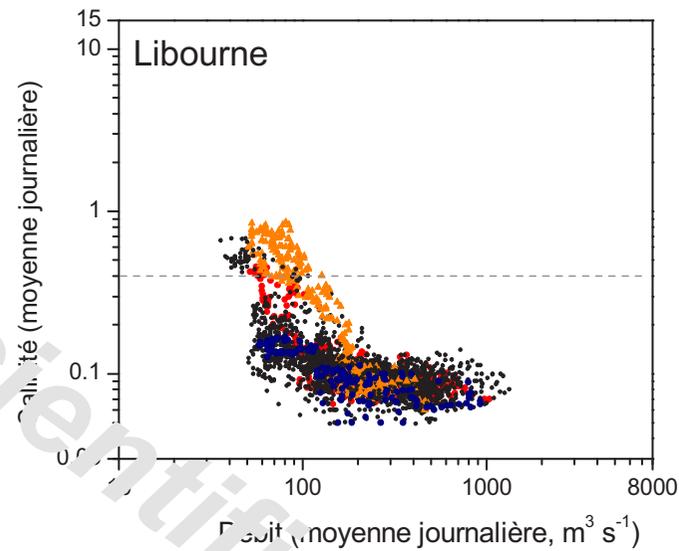
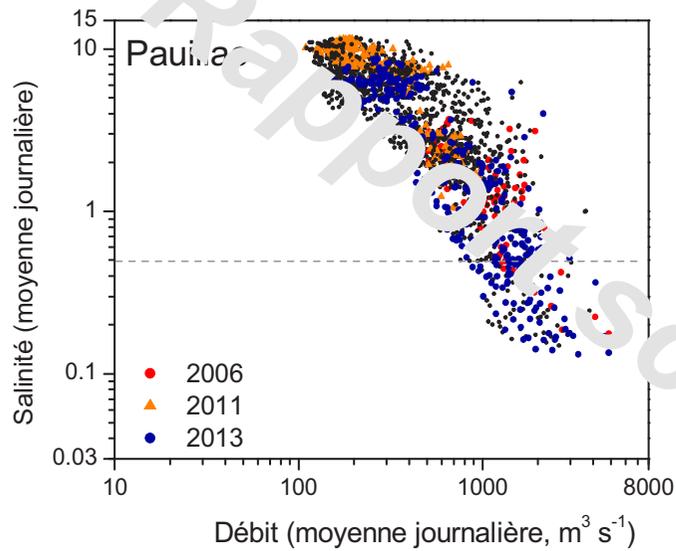


Figure 5A: Salinité en fonction du débit (moyennes journalières). La ligne en pointillée souligne la limite des eaux douces (< 0.5).

Salinité	Min	Max
Pauillac	0.13	11.7
Bordeaux	0.06	2.2
Portets	0.07	0.4
Libourne	0.05	0.9

La salinité évolue inversement au débit. Les salinités les plus basses ont ainsi été enregistrées en 2013, année la plus humide de la période 2005-2015. Dans les sections fluviales, la salinité est négligeable aux débits > 300 m³.s⁻¹. Par contre, la salinité (moyenne journalière) dépasse 0.5 à Bordeaux et à Libourne quand les débits sont < 250 m³.s⁻¹ (Garonne) et < 150 m³.s⁻¹ (Dordogne).

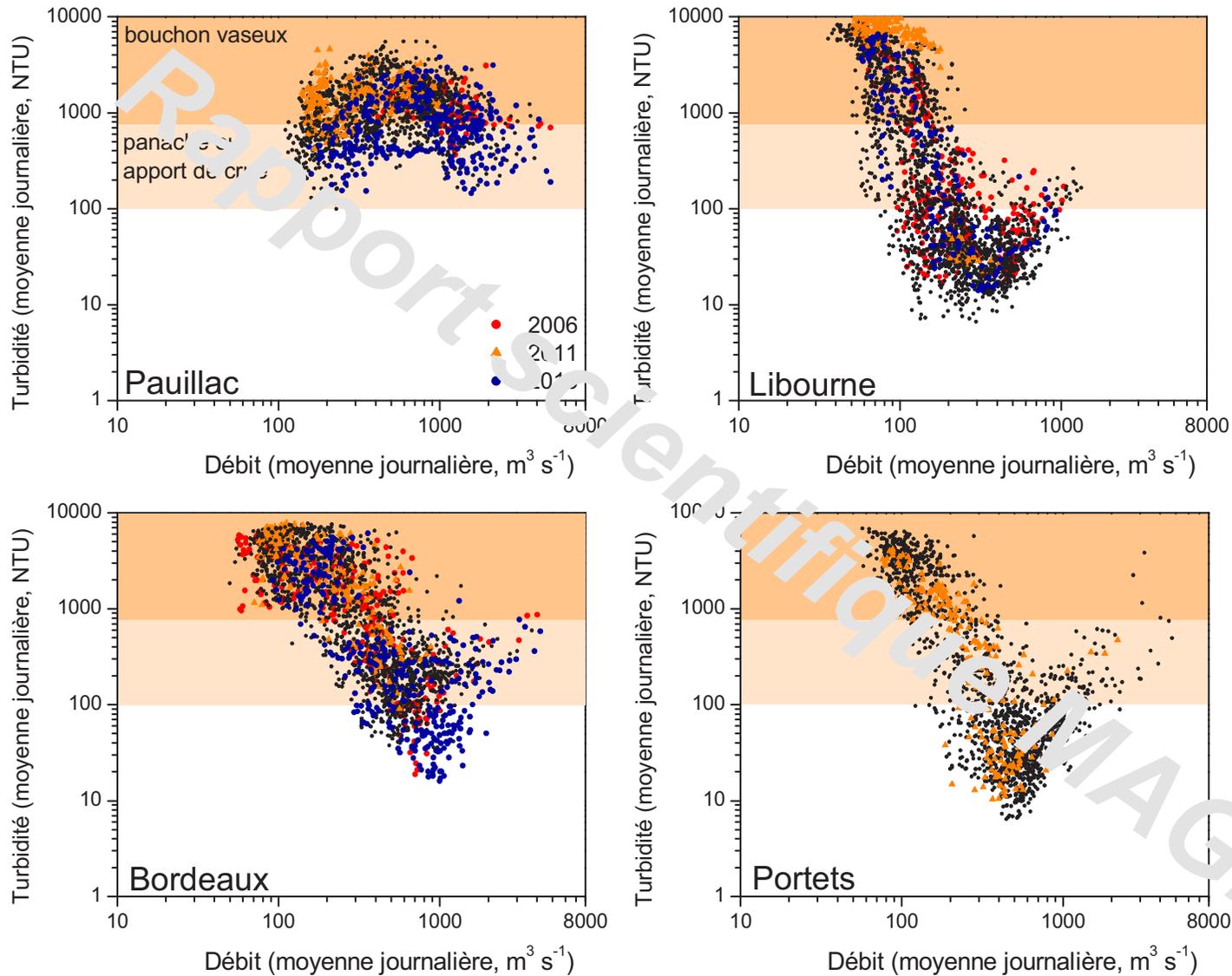


Figure 5B: Turbidité en fonction du débit (moyennes journalières).

	Min	Max
Pauillac	99	5554
Bordeaux	16	7912
Portets	6	6881
Libourne	6	9999

Le bouchon vaseux, ou son panache, est toujours présent à Pauillac.

Libourne enregistre les plus fortes turbidités (moyennes journalière) en étiage, mais les eaux turbides sont rapidement évacuées dès que le débit de Dordogne dépasse 150 m³.s⁻¹. Ce seuil est légèrement supérieur (300 m³.s⁻¹) à Bordeaux.

Le signal de crue dans les sections fluviales a une signature en turbidité (1000 - 2000 NTU) toujours inférieure à celle du bouchon vaseux (1000 – 9900 NTU).

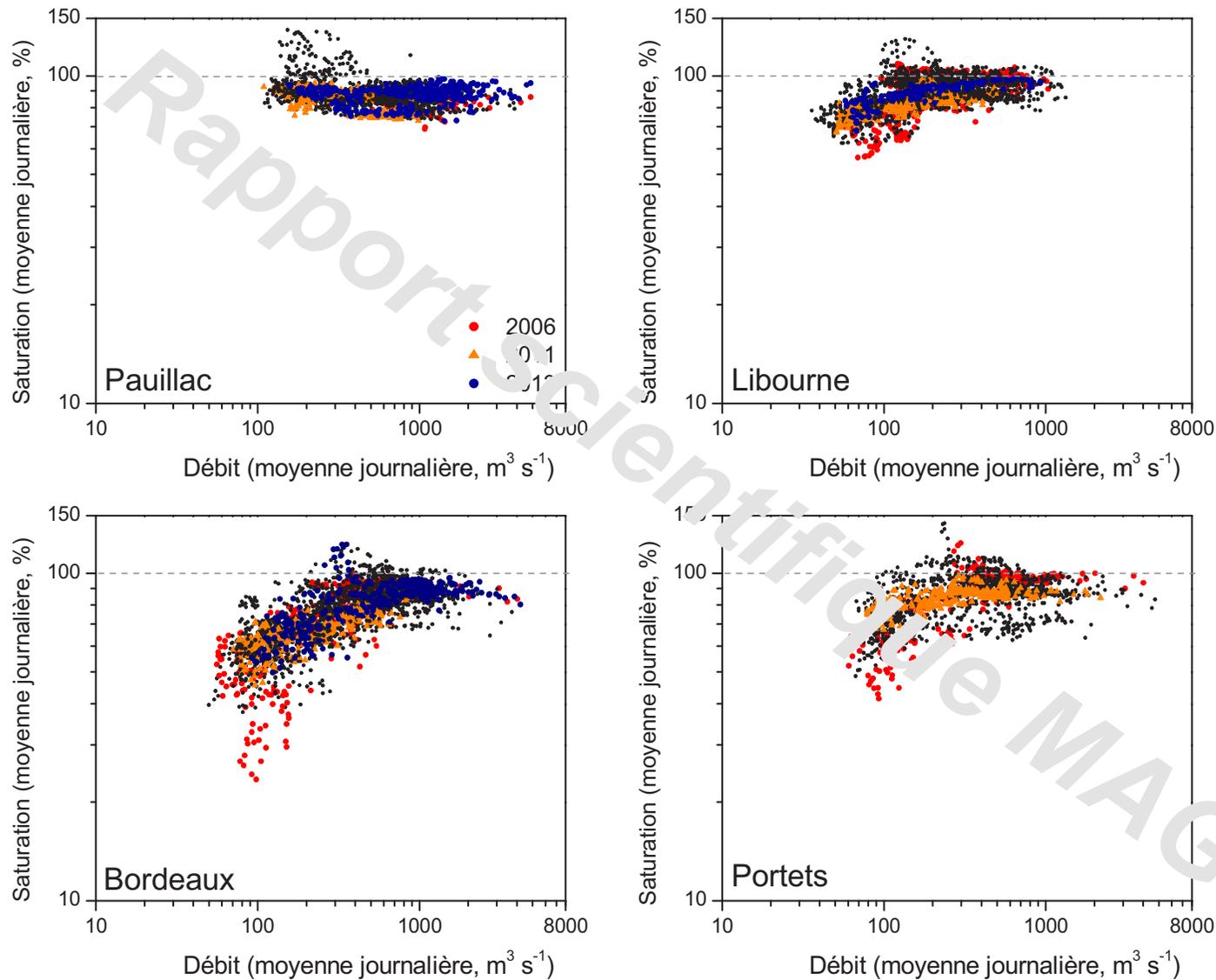


Figure 5C: Saturation en oxygène dissous en fonction du débit (moyennes journalières).

Saturation (%)	Min	Max
Pauillac	68	140
Bordeaux	23	123
Portets	41	152
Libourne	56.3	130

Oxygène dissous (mg L ⁻¹)	Min	Max
Pauillac	6.2	12.4
Bordeaux	1.85	12.1
Portets	3.3	13.3
Libourne	4.3	13.8

Dans l'estuaire central, à Pauillac, les saturations (moyennes journalières) en oxygène dissous sont assez peu variables. L'intrusion marine en étiage s'accompagne souvent d'une sursaturation (production phytoplanctonique).

Dans les sections fluviales, de telles sursaturations sont plus rarement observées.

Les plus basses saturations sont toujours enregistrées en étiage, amplifiées pendant les périodes très chaudes (année 2006) particulièrement dans les eaux garonnaises.

5. EVOLUTION SAISONNIERE DES PARAMETRES SUIVIS PAR LE RESEAU MAGEST EN 2015

Pour donner un aperçu de l'année 2015, les différents paramètres suivis par les stations MAGEST sont présentés en moyennes journalières (Figures 6 ; 7 ; 8 ; 9). Les discontinuités des courbes traduisent des périodes d'arrêt des mesures (pannes de la station ou d'un capteur, arrêts, données invalides), cf rapport technique 2015 pour plus d'informations). L'encart ci-dessous résume les conditions météorologiques de l'année 2015 (source Météo France).

2015 : UNE ANNEE CHAUDE, BIEN ENSOLLEILEE ET PEU ARROSEE

Source Météo France

+ Année la plus chaude sur le globe depuis 1880 ;

+ Année 2015 (+ 1°C aux normales) : au 3^{ème} rang des années les plus chaudes depuis 1900, derrière 2014 (+ 1.2°C), 2011 (+1.1°C)

+ Température moyenne sur la France a été supérieure aux normales* durant une grande partie de l'année, à l'exception des mois de février, septembre et octobre. L'année a été marquée par deux épisodes de canicule en juillet et une fin d'année exceptionnellement douce ;

+ Episodes de canicule en juillet et une fin d'année exceptionnellement douce ;

+ En moyenne sur la France et sur l'année, la pluviométrie a été inférieure à la normale* (- 15 %) ;

+ Une fin d'année exceptionnellement chaude et sec, avec le mois de décembre le plus chaud sur la période 1900-2015 et le plus sec sur la période 1900-2015.

5.1. TEMPERATURE

En 2015, les températures, en moyennes journalières, des eaux estuariennes sont comprises entre 4.7 et 27.6°C (6.1 et 25.5°C en 2014), avec un signal saisonnier bien marqué (Fig. 6). Après un hiver plutôt doux, il y a eu une augmentation graduelle des températures pendant le printemps. Les valeurs les plus élevées sont évidemment observées en période estivale. La vague de chaleur en juillet a eu un impact clair, avec l'observation d'une augmentation rapide des températures, qui culminent > 25°C jusque fin juillet.

Juillet 2015 est au 2^{ème} rang des mois de juillet en terme de température moyenne des eaux depuis 2005.

Les températures moyennes des eaux au mois de juillet sont :

à Bordeaux : pour les plus élevées : 26.6 °C (2006), 25.9 °C (2015) ; pour les plus basses : 22.3°C (2011) ;

à Libourne : pour les plus élevées : 27.3 °C (2006), 26.2 °C (2015) ; pour les plus basses : 20.7°C (2007) ;

à Pauillac : attention pas de mesures en 2006 ; pour les plus élevées : ? °C (2006), 24.5 °C (2015) ; pour les plus basses : 21.0 °C (2007).

A l'issue des vagues de chaleur, il y a une baisse rapide des températures d'environ 2°C fin juillet. Puis, avec les températures automnales et la réduction de la durée de l'ensoleillement, il y a une diminution graduelle des températures des eaux. Avec l'exceptionnelle douceur du mois de décembre, les températures des eaux estuariennes sont comprises entre 8 et 10°C à la fin de l'année. Les différences entre stations sont faibles.

La température enregistre la météorologie régionale plutôt que des caractéristiques locales. A l'opposé, les autres paramètres (salinité, turbidité, oxygène dissous) présentent de forts contrastes entre les stations en fonction de leur localisation.

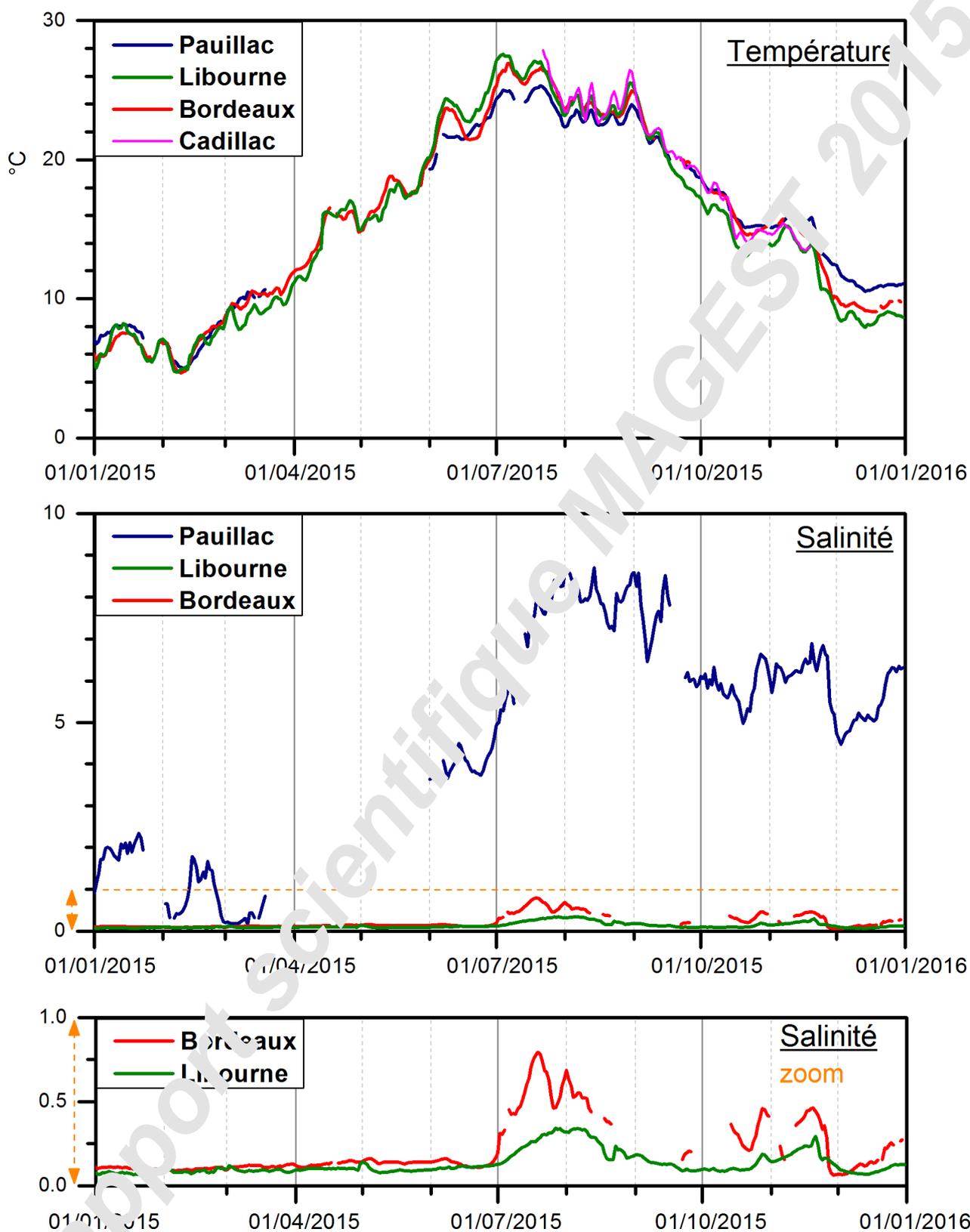


Figure 1 : Evolution de la température et de la salinité, en moyennes journalières, aux stations MAGEST au cours de l'année 2015. La figure du bas présente un zoom sur les salinités des stations de Bordeaux et de Libourne.

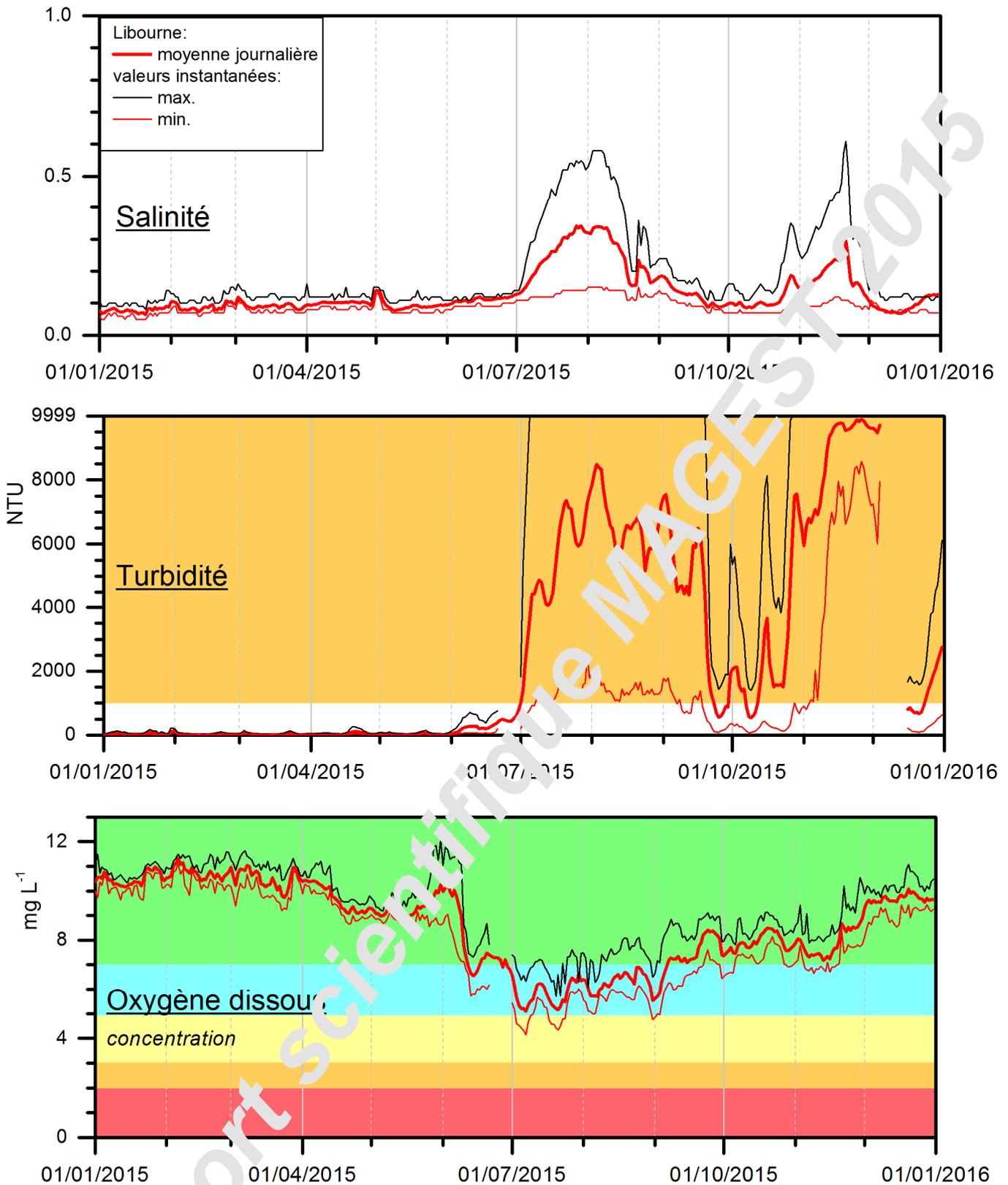


Figure 7 : Evolution de la salinité, de la turbidité et de l'oxygène dissout à Libourne : moyennes journalières, valeurs min. et max..

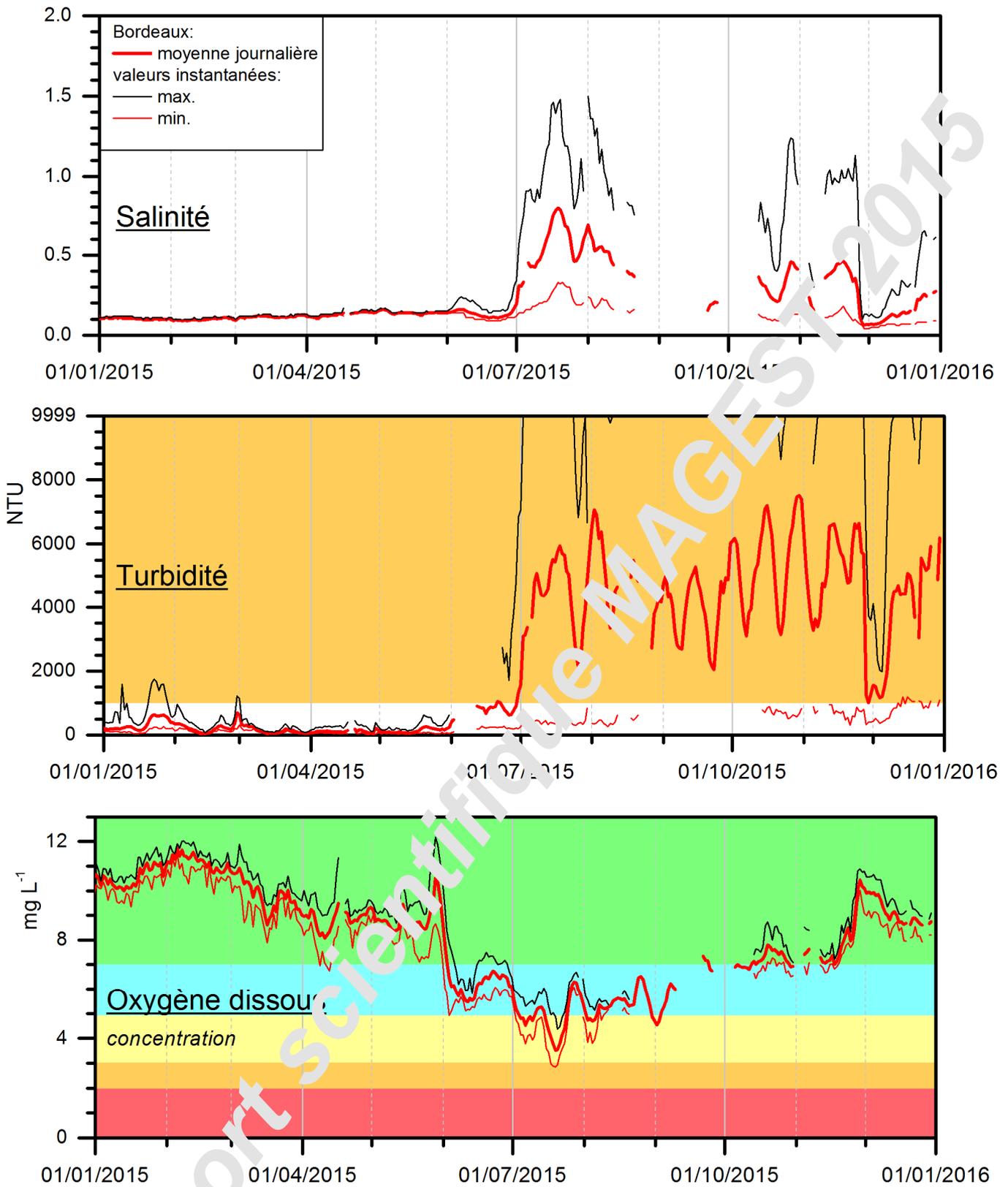


Figure 8 : Evolution de la salinité, de la turbidité et de l'oxygène dissous à Bordeaux: moyennes journalières, valeurs min. et max. Les valeurs min. et max. ne sont pas présentées lorsque la turbidité ou l'oxygène dissous sont mesurés par les capteurs autonomes (STBD, SDOT)

5.2. SALINITE

La salinité, en moyennes journalières, affiche d'importantes variations spatiales et temporelles, avec des valeurs comprises entre 0.06 et 8.7 sur l'ensemble du réseau en 2015 (Fig. 6). Les salinités sont restées dans la fourchette basse des valeurs enregistrées par MAGEST, notamment en raison des débits élevés au 1^{er} trimestre. Dans l'estuaire central, la salinité des eaux de Pauillac n'a jamais dépassé 8.7, bien en dessous de la salinité maximale enregistrée (S_{MAX}) de 11.7 (moyenne journalière). Les stations duales restent toujours en deçà de 0.8 à Bordeaux (S_{MAX} = 2.2) et 0.35 à Libourne (S_{MAX} = 0.9).

5.3. TURBIDITE

La turbidité, en moyennes journalières, est comprise entre 11 et 9896 NTU sur l'ensemble des stations automatisées (Fig. 9). En 2015, la turbidité évolue au fil de l'année selon deux périodes très contrastées.

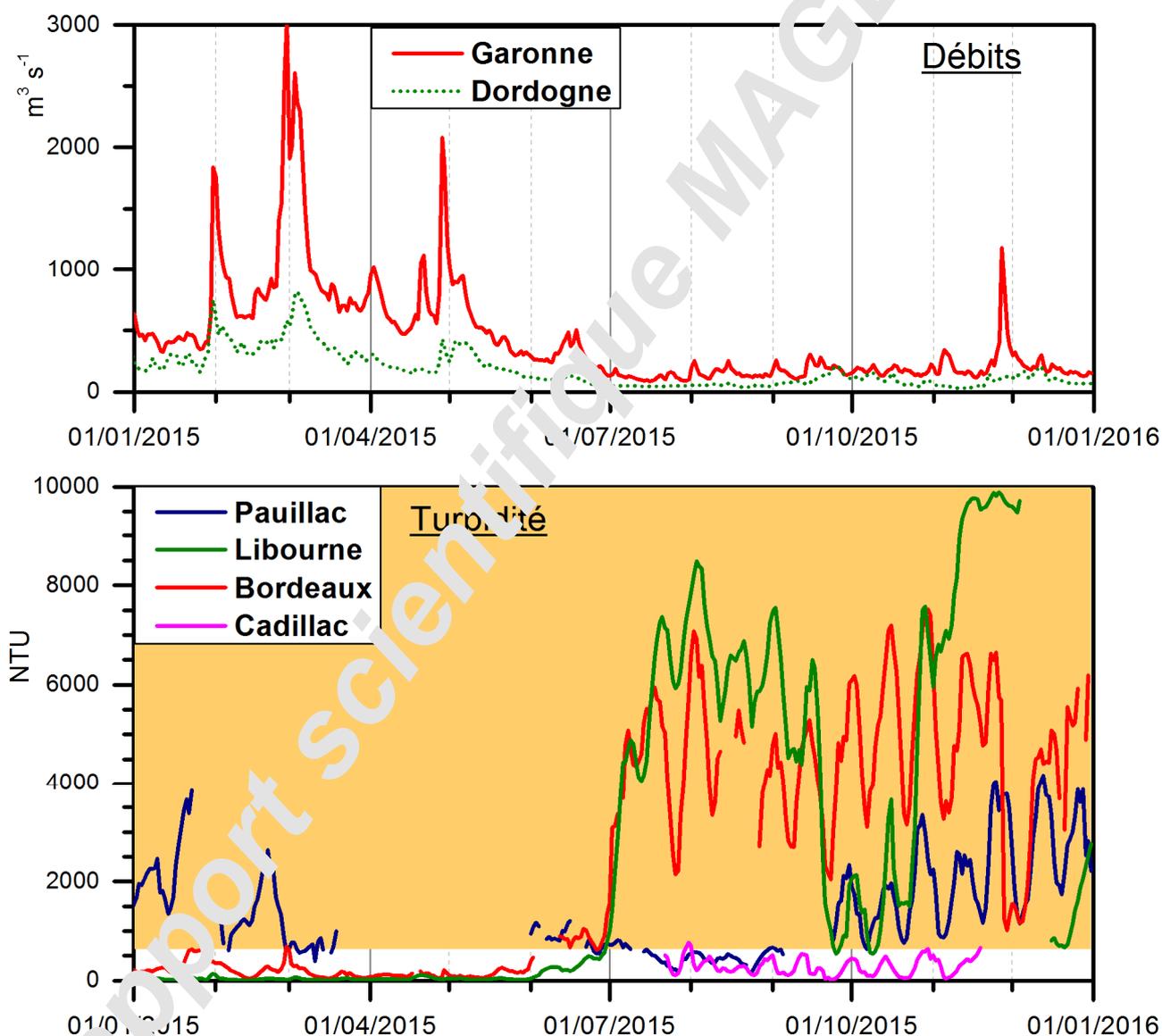


Figure 9. Évolution des débits fluviaux et de la turbidité, en moyennes journalières, aux stations MAGEST au cours de l'année 2015. La zone colorée indique les concentrations pour lequel le bouchon vaseux est présent (> 850 NTU, soit l'équivalent de $1 g L^{-1}$).

De janvier à mai 2015, les eaux de Bordeaux, Cadillac et de Libourne ont des turbidités inférieures à 200 NTU (Fig. 9): les crues et les débits soutenus ont favorisé l'expulsion des eaux turbides des sections fluviales, et à partir de mars de l'estuaire central (Pauillac). Les conditions météorologiques de cette période ont d'ailleurs entraîné un arrêt long de la station de Pauillac, un embâcle ayant arraché la perche d'aspiration. Fin janvier et fin février, Bordeaux a enregistré des apports de sédiments issus de l'érosion, en lien avec des pics de crue (Garonne : 1840 m s^{-1} le 31 janvier et 3030 m s^{-1} le 28 février).

A partir de fin mai, la baisse des débits fluviaux a induit une augmentation de la turbidité à Bordeaux et à Libourne, qui indique le retour rapide des eaux turbides dans les sections fluviales de l'estuaire de la Gironde. Au 2^{ème} semestre, le bouchon vaseux est bien présent à Bordeaux, avec des turbidités (moyennes journalières) comprises entre 1328 et 7517 NTU (3438 NTU au maximum en 2014), et à Libourne (moyennes journalières : 1007 – 9896 NTU). Plus en amont sur la Garonne, à Cadillac, le panache du bouchon vaseux est présent à partir de juillet. Pour cette période, il est à noter à Bordeaux et à Libourne que la turbidité atteint systématiquement la valeur de saturation (9999 NTU, soit $> 5 \text{ g L}^{-1}$ de sédiments) au cours de la journée (Figures 7 et 8).

En septembre, un léger regain des débits s'accompagne d'une baisse de la turbidité et de la salinité (Figure 7, 8 et 9) plus marqué à Libourne. Toutefois cet effet est bref, et en octobre ces paramètres augmentent de nouveau.

Le bouchon vaseux sera finalement évacué à partir de mi-janvier 2016 à Libourne et fin janvier 2016 à Bordeaux. En 2015, le bouchon vaseux aura été présent 6 mois à Bordeaux et à Libourne, de juillet à décembre.

5.4. OXYGENE DISSOUS

En 2015, les concentrations estuariennes en oxygène dissous, en moyennes journalières, ont été comprises entre 3.5 (4.2 en 2014) et 11.7 (11.2 en 2014) mg L^{-1} (Figure 7, 8, 10). Les valeurs les plus élevées correspondent aux périodes hivernales lorsque la température des eaux est basse. En effet la saturation ou solubilité maximale de l'oxygène dans l'eau est fonction, pour l'essentiel, de la température, et dans une moindre mesure de la salinité: elle est supérieure dans les eaux douces et froides (Annexe 3).

De janvier à mai 2015, les débits soutenus, les faibles turbidités et les températures modestes ont permis une très bonne oxygénation des eaux estuariennes, entre 8 et 11.7 mg.L^{-1} (Fig. 10).

En juin, la température des eaux a augmenté rapidement à des valeurs supérieures à 20°C, entraînant une diminution rapide de l'oxygénation des eaux. Fin juin 2015, les concentrations étaient d'environ 6.5 mg L^{-1} à Bordeaux et de 6.3 mg L^{-1} à Libourne, indiquant toujours une qualité bonne à très bonne oxygénation des eaux estuariennes.

En juillet et août, la concentration en oxygène dissous la plus basse (moyenne journalière) enregistrée est de 3.5 mg L^{-1} à Bordeaux le 20 juillet, et de 5.0 mg L^{-1} à Libourne le 7 juillet (Fig. 7, 8, 10). Il est à noter que l'oxygène dissous (valeur instantanée) avoisine 4 mg L^{-1} au cours de la journée ; ce point sera développé dans la section 7.1. Le tassement des températures des eaux à l'issue de la vague de chaleur a permis une ré-oxygénation partielle des eaux à des niveaux $> 5 \text{ mg L}^{-1}$. Toutefois, à Bordeaux, il y a des brèves incursions de l'oxygène dissous (moyennes journalières) sous le seuil de 5 mg L^{-1} lors des forts coefficients de marée (116 et 114 le 2 et 31 août). A partir de septembre, la baisse des températures et la diminution temporaire des turbidités ont 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.

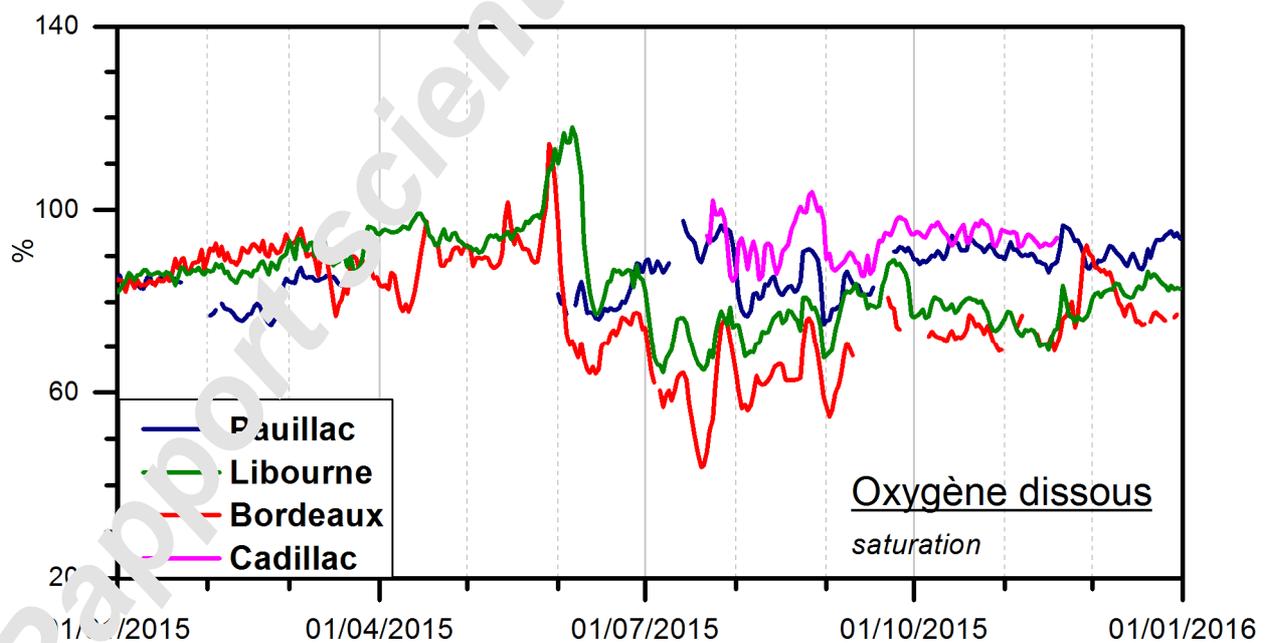
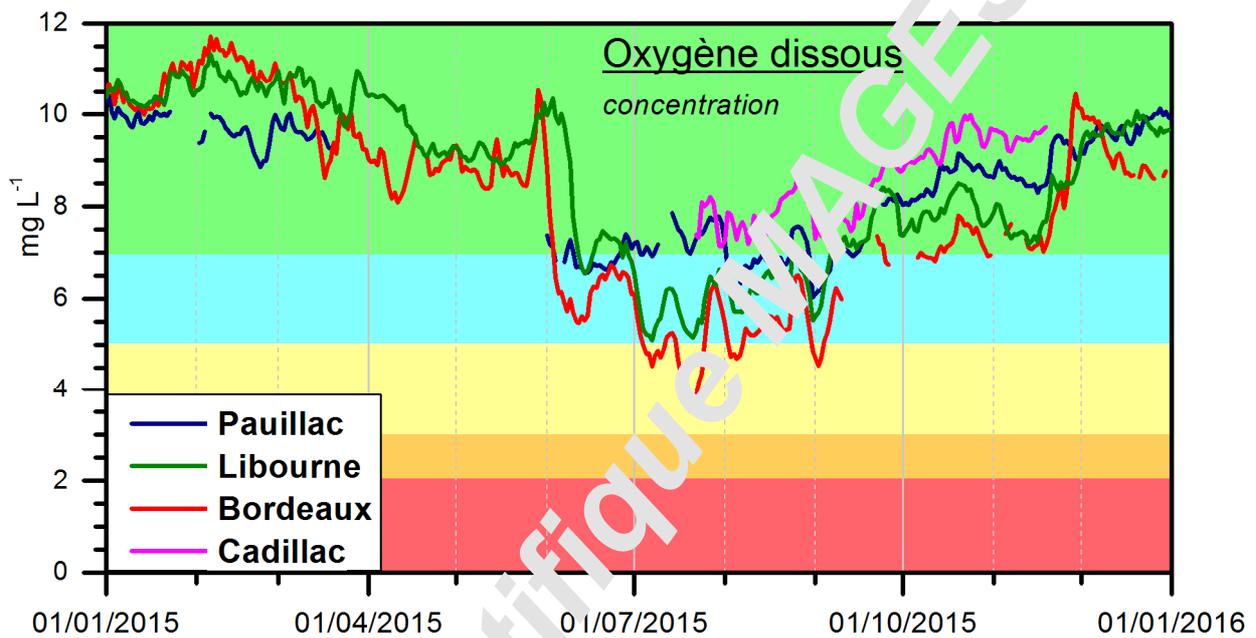
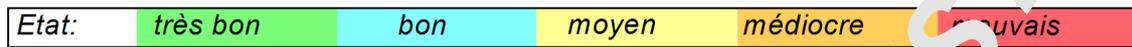
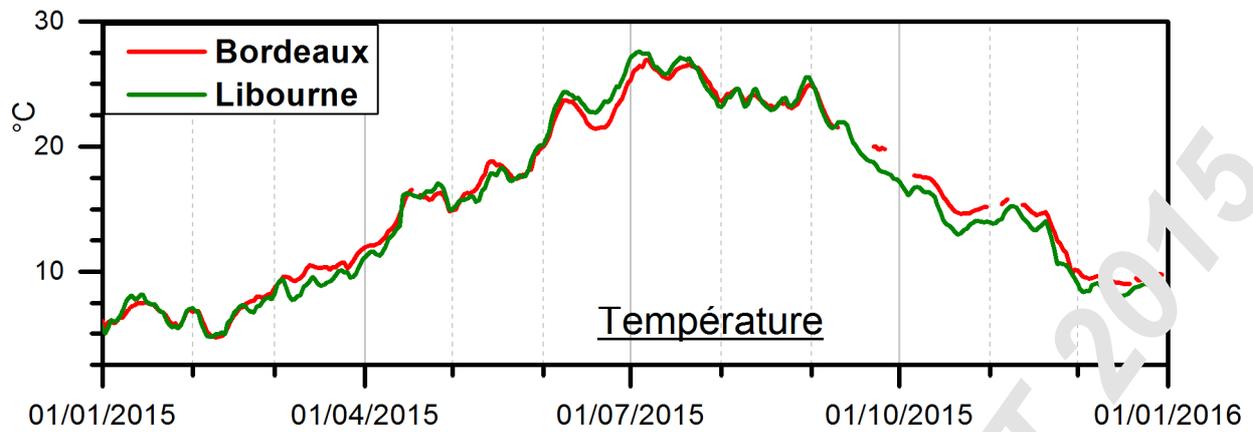


Figure 10 : Evolution de l'oxygène dissous (concentration et % de saturation), en moyennes journalières, aux stations MAGEST au cours de l'année 2013. Les couleurs indiquent la qualité des eaux selon la grille de critère détaillée annexe 2.

6. ANALYSE DES CONDITIONS HYDROLOGIQUES 2015

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

En 2015, les débits moyens annuels étaient de $179.9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pour la Dordogne et de $439.6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pour la Garonne (Figures 9, 11; Tableau 1). Les débits 2015 de la Dordogne et de la Garonne sont bien inférieurs aux modules (Dordogne : -32.9% ; Garonne : -27.6%).

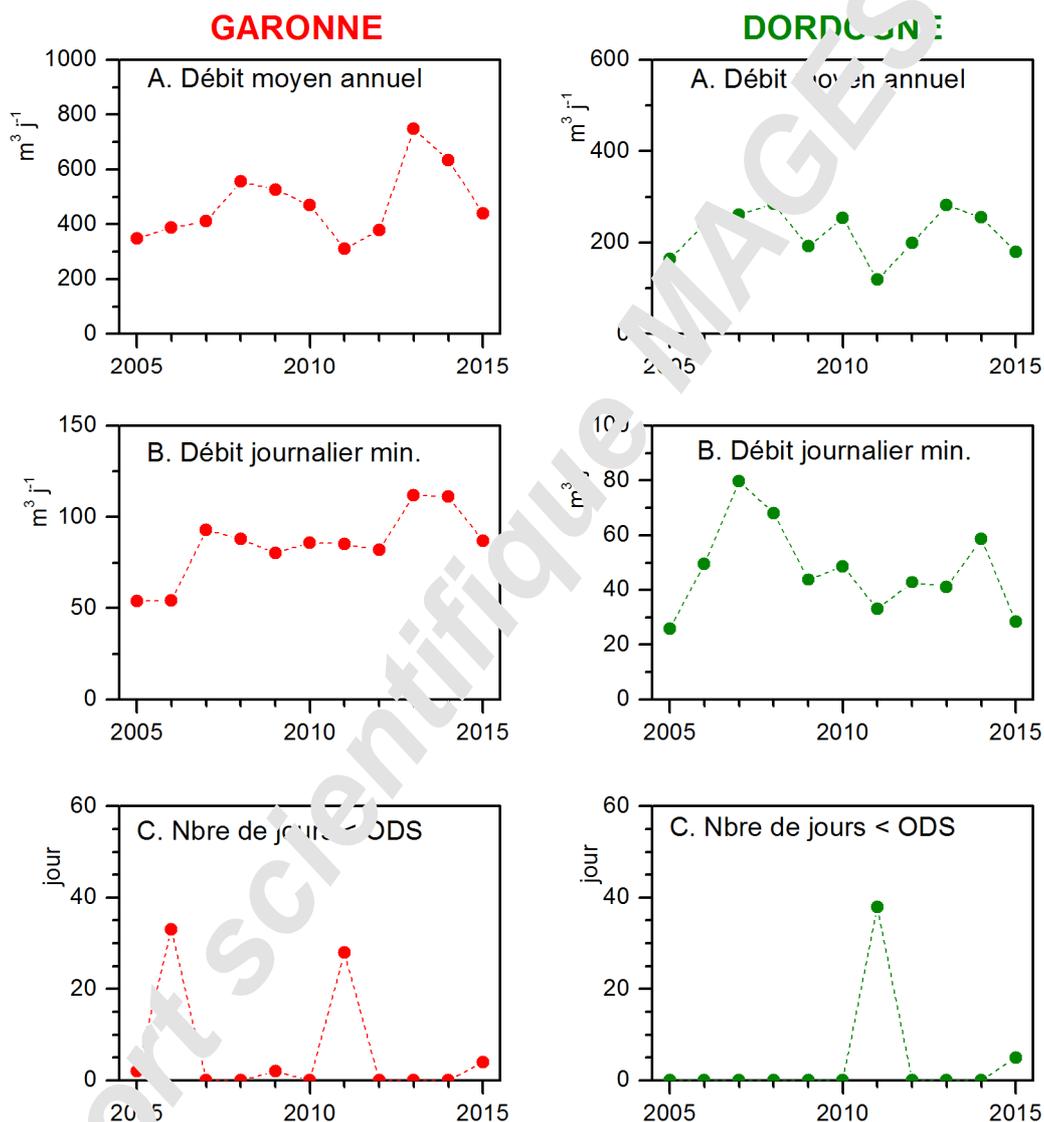


Figure 11 : Débits de la Garonne et de la Dordogne pour la période 2005-2015 : A. Débit moyen annuel ; B : débit journalier min ; C : nombre de jours < à l'Objectif de Débit Spécifique (ODS) du 15 mars au 30 juin.

	GARONNE (TONNEINS)			DORDOGNE (LAMONZIE ST MARTIN)		
DEBITS DE REFERENCE (m ³ s ⁻¹) :						
MODULE	607			268		
DOE	110			33		
CRUE BIENNALE	3 400			1 300		
	2011	2013	2015	2011	2013	2015
MOYENNE ANNUELLE	311.3	747.6	439.6	118.7	282.1	179.9
MOYENNE 1 ^{ER} JUILLET- 15 SEPTEMBRE	154.8	262.5	143.5	43.3	60.8	55.2
NB DE JOURS Q ≥ CRUE BIENNALE	0	2	0	0	0	0
NB DE JOURS Q ≥ MODULE	26	182	90	28	169	82
NB DE JOURS Q ≤ DOE	49	0	16	0	0	6
NB DE JOURS Q ≤ ODS DU 15 MARS AU 30 JUIN	28	0	5	8	0	4
DEBIT MOYEN JOURNALIER MAX (QMJ MAX)	2000	112	3030	34	987	819
DEBIT MOYEN JOURNALIER MIN (QMJ MIN)	85.3	3950	8.1	33.1	41	28.3

Tableau 1: Résumé des données hydrologiques de la Garonne et de la Dordogne pour les années 2011, 2013 et 2015. ODS : Objectif de Débit Spécifique sur la période du 15 mars au 30 juin: 200 m³ s⁻¹ à Tonneins et 60 m³ s⁻¹ à Lamonzie St Martin.

En résumé, la figure 2 (page suivante) présente l'évolution mensuelle des paramètres suivis en 2015 par rapport aux fourchettes (min, médiane, max, quartiles 25% et 75%) de la période de suivi MAGEST 2005-2015. Cette figure est assez explicite et démontre comment les conditions météorologiques de 2015 ont conduit à des humidités élevées au 2nd semestre, des températures élevées en juillet et une oxygénation inférieure à la médiane en juillet (vague de chaleur).

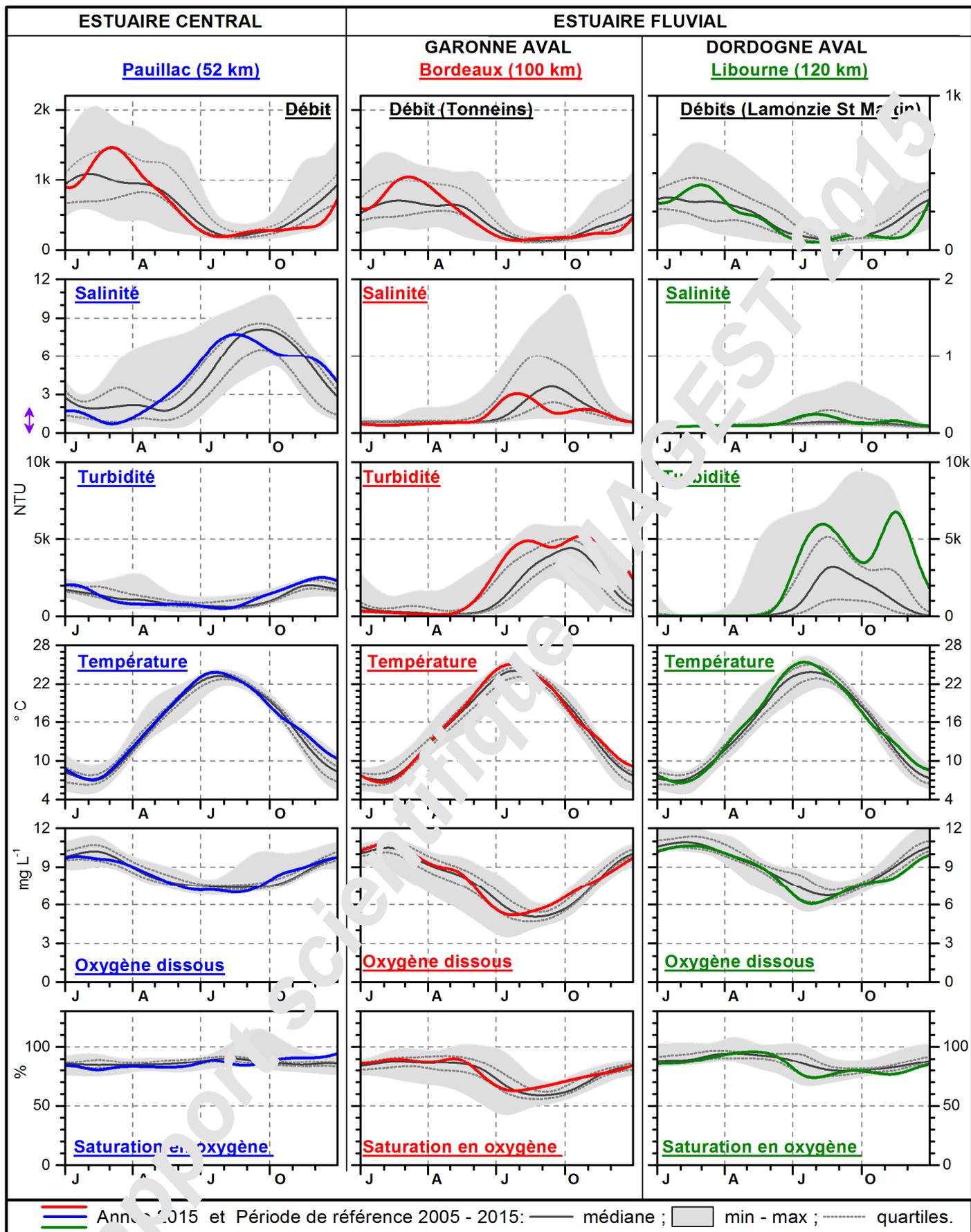


Figure 12 : Comparaison de l'année 2015 (moyennes mensuelles) avec la période de référence 2005-2015.

7. ASSURER LE SUIVI ET L'ANALYSE DU RESPECT DES OBJECTIFS DU SAGE EN MATIÈRE DE CONCENTRATION EN OXYGÈNE À L'AVAL DES FLEUVES GARONNE ET DORDOGNE

Cette section est adaptée de deux articles :

Schmidt S., Etcheber H., Sottolichio A., Castaing P., 2016. Le réseau MAGEST : bilan de 10 ans de suivi haute-fréquence de la qualité des eaux de l'estuaire de la Gironde. Mesures haute résolution dans l'environnement marin côtier, Eds Schmitt F., & Lefevre A., Presses du CNRS.

Schmidt S., Bernard C., Escalier J.-M., Etcheber H., Lamouroux M. (soumis). Assessing and managing the risks of hypoxia in transitional waters: a case study in the Gironde estuary (South-West France), soumis à ESR.

7.1. RAPPEL DE LA DISPOSITION OXYGÈNE DU SAGE : OBJECTIFS DE CONCENTRATION EN OXYGÈNE À L'AVAL DES FLEUVES GARONNE ET DORDOGNE

Les objectifs de concentration en oxygène dissous dans l'eau à l'aval des fleuves à respecter sont définis comme suit :

- 9 jours maximum consécutifs par an durant lesquels la teneur en oxygène dissous dans l'eau est inférieure, en moyenne journalière, à 5 mg L⁻¹;
- disparition des situations où la concentration en oxygène dissous dans l'eau est inférieure à 3 mg L⁻¹ en moyenne journalière.

Une période transitoire de 3 ans est définie afin de conforter l'analyse et évaluer les conditions du respect des objectifs (cf. disposition Ox 2). Les objectifs pourront, le cas échéant, être révisés à l'issue de cette période transitoire.

Le respect de ces objectifs est mesuré au niveau des stations de mesure du réseau MAGEST de Bordeaux et de Libourne.

Par ailleurs, il est recommandé que, durant la période à risque (du 1^{er} juin au 30 septembre), les facteurs concourant à l'augmentation des contraintes sur l'oxygène à l'aval des fleuves (étiage, forte température et rejets de matières oxydables liées au pluvial) ne soient pas aggravés, voire soient réduits.

7.2. ÉVOLUTION ESTIVALE DE L'OXYGÈNE DISSOUS EN 2015 À L'AVAL DES FLEUVES

La figure 13 détaille l'évolution des différents paramètres pour la période de juin à septembre 2015. Les données 2015 sont comparées à celles de deux années très distinctes : 2006 (plutôt sèche et vague de chaleur de 21 jours) et 2013 (humide et plutôt fraîche). L'oxygénation des eaux à Bordeaux et à Libourne pendant l'été 2015 se situe dans une gamme intermédiaire comprise entre ces deux années de référence. Il est à noter qu'à Libourne l'amplitude de variation de l'oxygène dissous (concentration, saturation) est assez limitée. Par contre à Bordeaux, il y a de forts contrastes entre les trois années.

A ces deux stations alors que la turbidité est la plus élevée en juillet 2015, c'est en juillet 2006 que l'oxygénation est la plus basse. Ceci est à mettre en lien avec les fortes températures des eaux (> 28°C) enregistrées pendant la seconde quinzaine de juillet 2006.

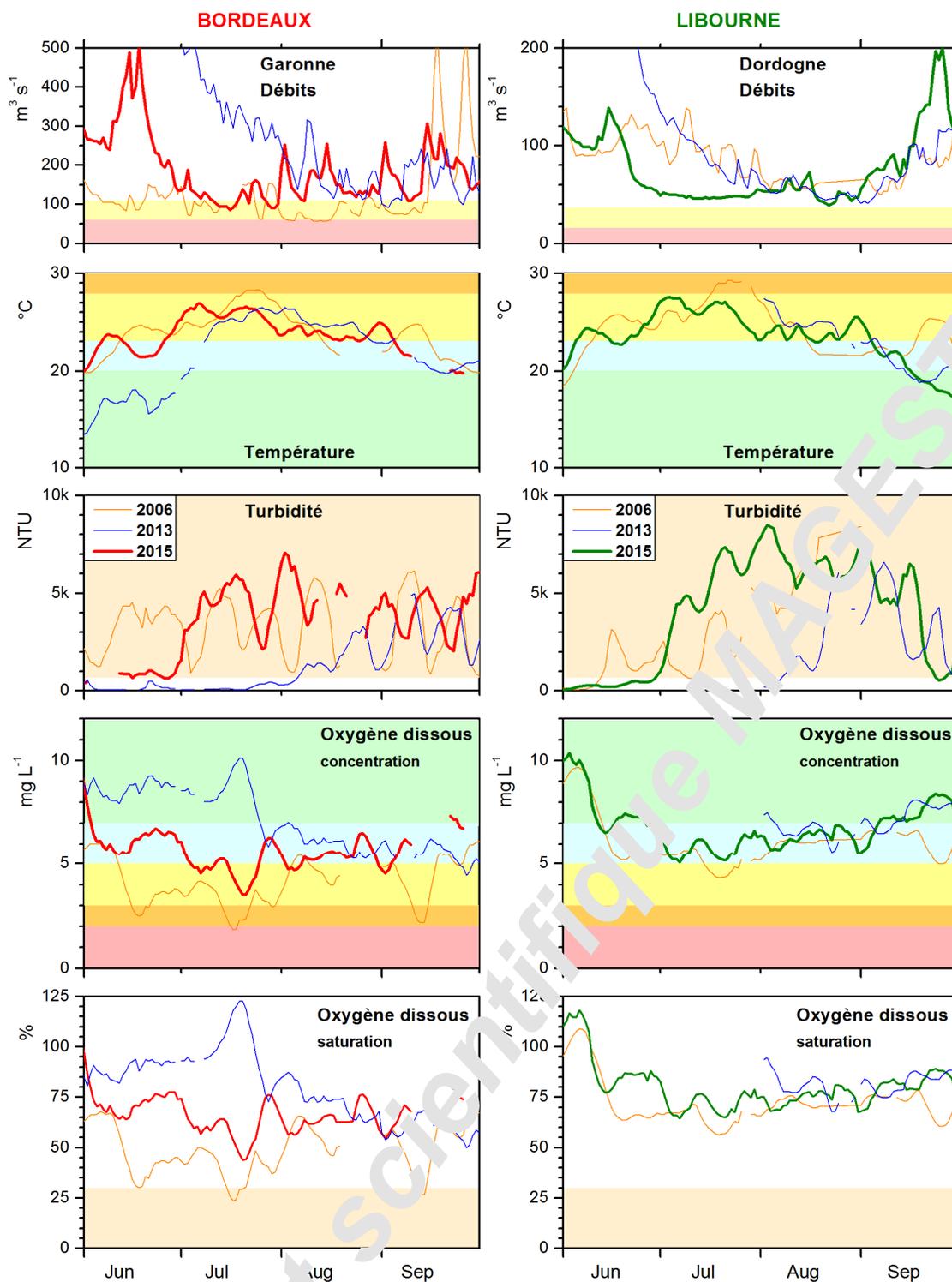


Figure 13 : Zoom sur la période estivale (juin à septembre 2015) du débit et des paramètres suivis par le réseau MAGEST (moyennes journalières) à Bordeaux et à Libourne, et comparaison avec 2006 et 2013

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

Les moyennes journalières masquent les variations de l'oxygénation au cours de la journée (Fig. 7 et 13). Pour mieux visualiser ces variations quotidiennes, la figure 14 présente, pour chaque jour, le nombre d'heures par gamme de concentration en oxygène dissous (2-3 ; 3-4-5 ; 5-7 ; >7 mg.L⁻¹).

Pour la période du 1 juin au 24 septembre 2015, il ressort que (Fig. 14):

- à Cadillac, l'oxygénation des eaux est toujours supérieure à 5 mg.L⁻¹ à tout moment de la journée ;
- à Libourne, lors de plusieurs journées en juillet, et dans une moindre mesure en août, l'oxygénation des eaux a été comprise entre 4 et 5 mg.L⁻¹ jusqu'à 9h par jour.
- à Bordeaux, les périodes d'oxygénation < 5 mg.L⁻¹ sont plus longues, voire peuvent durer la journée entière ; du 18 au 21 juillet, la concentration en oxygène dissous a été comprise entre 2 et 3 mg.L⁻¹ jusqu'à 2h30 par jour.

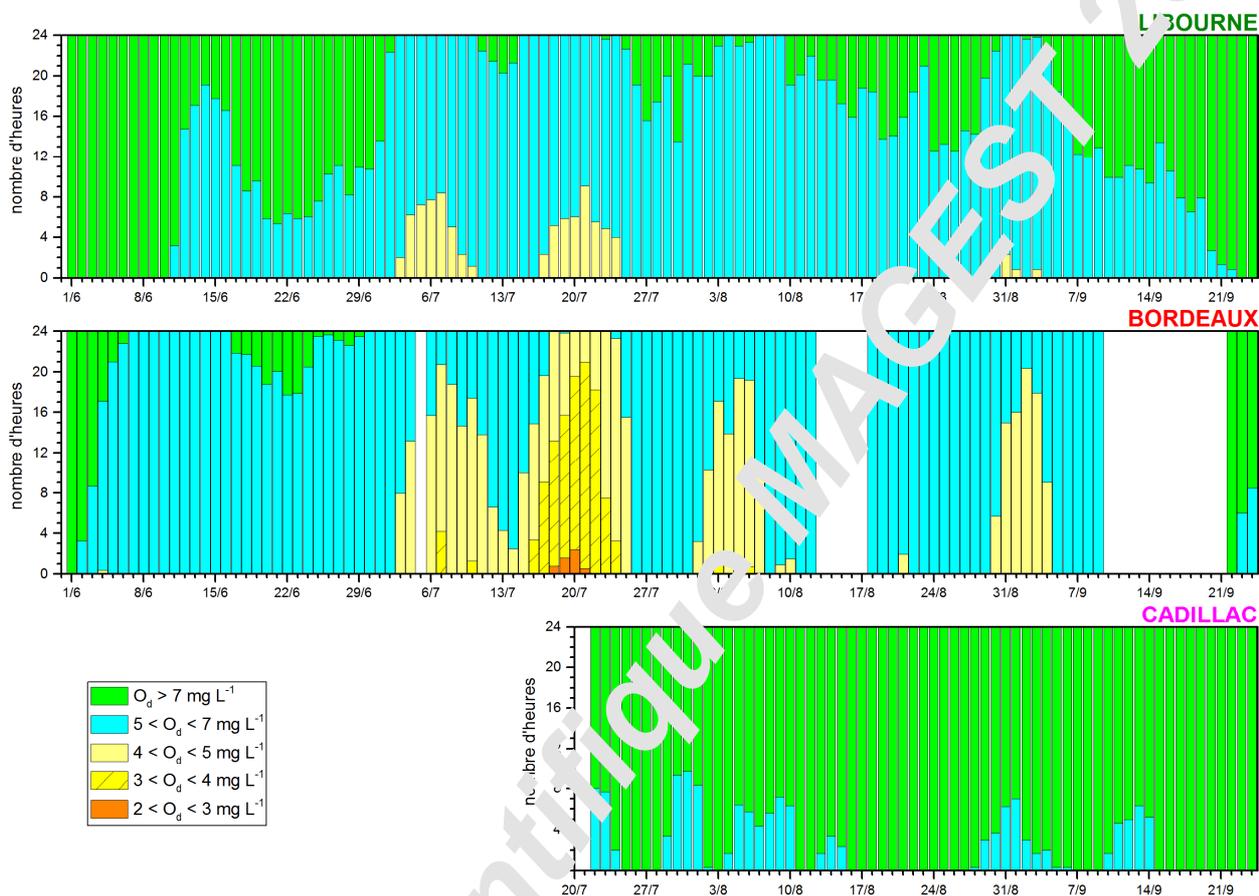


Figure 14 : Nombre d'heures pendant lesquelles l'oxygénation des eaux est comprise dans les gammes de valeurs définies par la légende. De haut en bas : Libourne, Bordeaux et Cadillac. La période représentée est : 1 juin – 24 septembre 2015.

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

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) 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 a conduit le SAGE à retenir un seuil de 5 mg.L⁻¹ 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 amphibiennes (SMIDDEST, 2013). Le respect de ces objectifs est mesuré au niveau des stations du réseau MAGEST de Bordeaux et de Libourne. Le tableau 2 et la figure 15 comparent le nombre de jours où la concentration (moyenne journalière) en O₂ dissous à l'aval des fleuves a été inférieure aux seuils de 5 et de 3 mg.L⁻¹ de 2013 à 2015.

Oxygène dissous à l'aval des fleuves	Site	Objectifs SAGE :	2013	2014	2015
		nombre de jours max.			
à teneur en O ₂ dissous < 5 mg L ⁻¹	Bordeaux	9	7	13	26
	Libourne	4	0	0	1
à teneur en O ₂ dissous < 3 mg L ⁻¹	Bordeaux	0	0	0	0
	Libourne	0	0	0	0

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

Détails de ces périodes pour Bordeaux : du 4 au 11 juillet 2015 (8 jours), du 16 au 24 juillet 2015 (9 jours), du 3 au 7 août 2015 (5 jours) et du 31 août au 3 septembre 2015 (4 jours).

En 2013 et 2014, les objectifs du SAGE ont été atteints dans la Dordogne tidale, et dans une moindre mesure dans la Garonne tidale, aidés par un contexte hydro-climatique favorable (étés plutôt humides et frais).

En 2015, les eaux bordelaises ont enregistré un nombre de jours (26) bien supérieur à l'objectif du SAGE, la concentration moyenne journalière la plus basse (3.5 mg L⁻¹ : 4 % de saturation) a été atteinte pendant la vague de chaleur en juillet (température des eaux > 26°C) alors que l'étiage favorisait la présence du bouchon vaseux (concentration en matières en suspension des eaux > 1 g L⁻¹). À Libourne, le bilan est d'une journée juste à la limite du seuil de 5 mg L⁻¹.

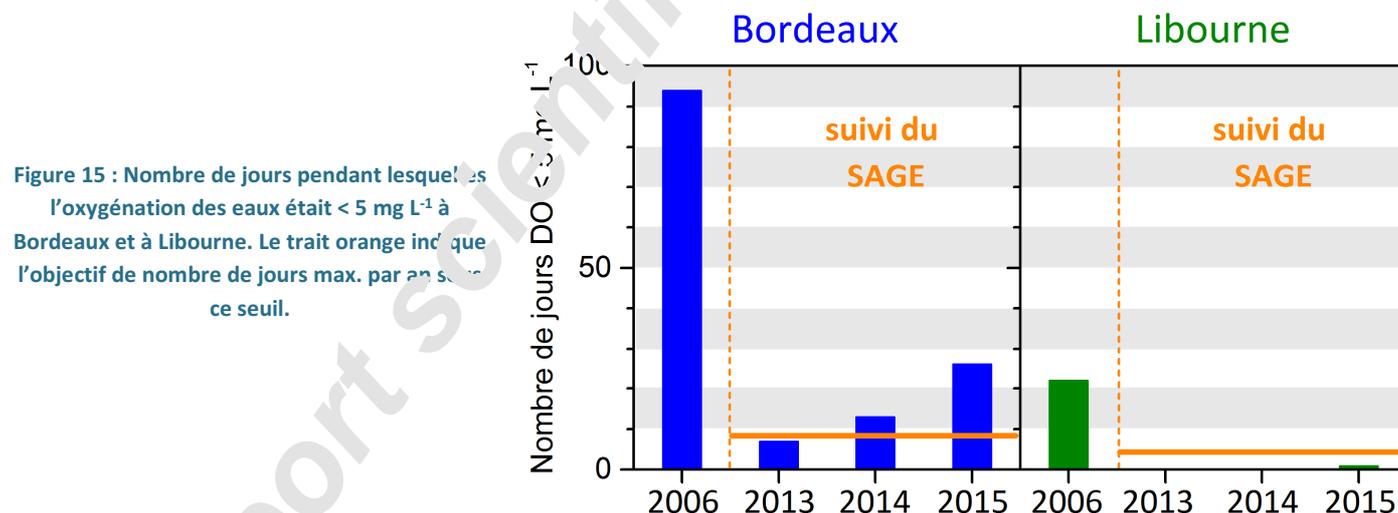


Figure 15 : Nombre de jours pendant lesquels l'oxygénation des eaux était < 5 mg L⁻¹ à Bordeaux et à Libourne. Le trait orange indique l'objectif de nombre de jours max. par an sous ce seuil.

L'application de ce critère à 2006, année exceptionnellement chaude avec une vague de chaleur de 21 jours, aurait conduit à un bilan bien plus mauvais : 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. À 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.

7.5. QUELLES PERSPECTIVES POUR L'OXYGENE DISSOUS

Le but de cette section est d'apporter des éléments de réflexion, basés sur des figures différentes. Depuis 2005, le réseau MAGEST mesure l'oxygénation des eaux à l'aval des fleuves Garonne et Dordogne, dont les valeurs journalières (min, mediane, max) sont présentées figure 16. Comme déjà évoqué, il y a un signal saisonnier très marqué. La variabilité interannuelle est importante, notamment en période estivale.

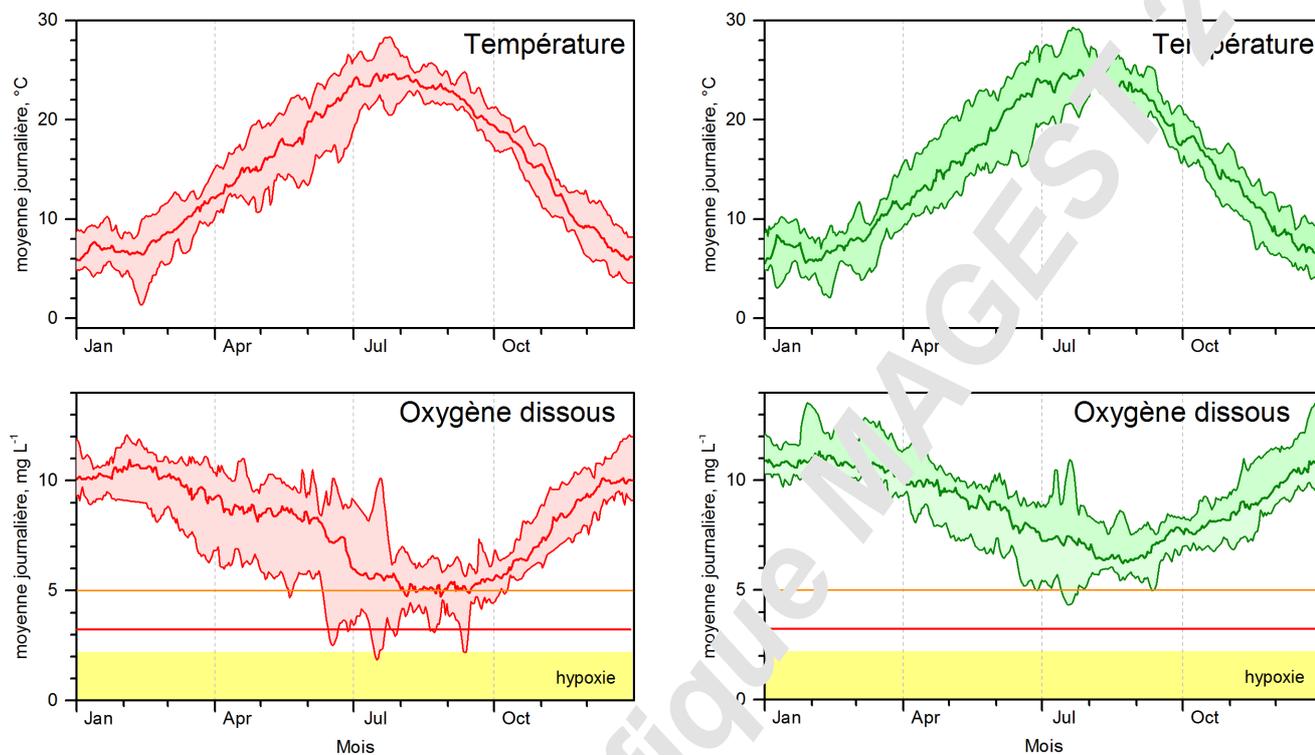


Figure 16 : Chronique de température (attention échelle inversée) et d'oxygène dissous à Bordeaux depuis 2005.

Le lien entre température et oxygénation est encore plus flagrant lorsque les chroniques d'oxygène dissous et de température (données instantanées) sont tracées sur le même graphique (Fig. 17).

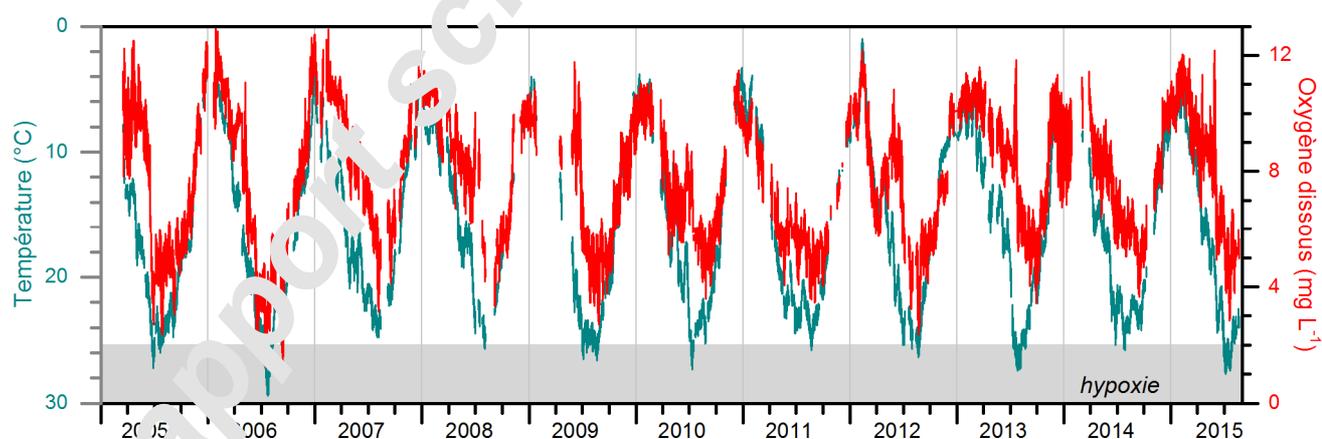


Figure 17 : Chronique de température (attention échelle inversée) et d'oxygène dissous à Bordeaux depuis 2005.

L'analyse de la base de données a permis de hiérarchiser les paramètres qui contrôlent l'oxygénation des eaux, dans l'ordre: la température des eaux, directement liée à la météorologie régionale; la charge en matière en suspension, liée aux débits de la Garonne; le débit, qui dépend de la météorologie régionale et des usages dans le bassin versant, et les rejets urbains (Fig. 17).

Figure 18: Analyse en composantes principales -Bordeaux.

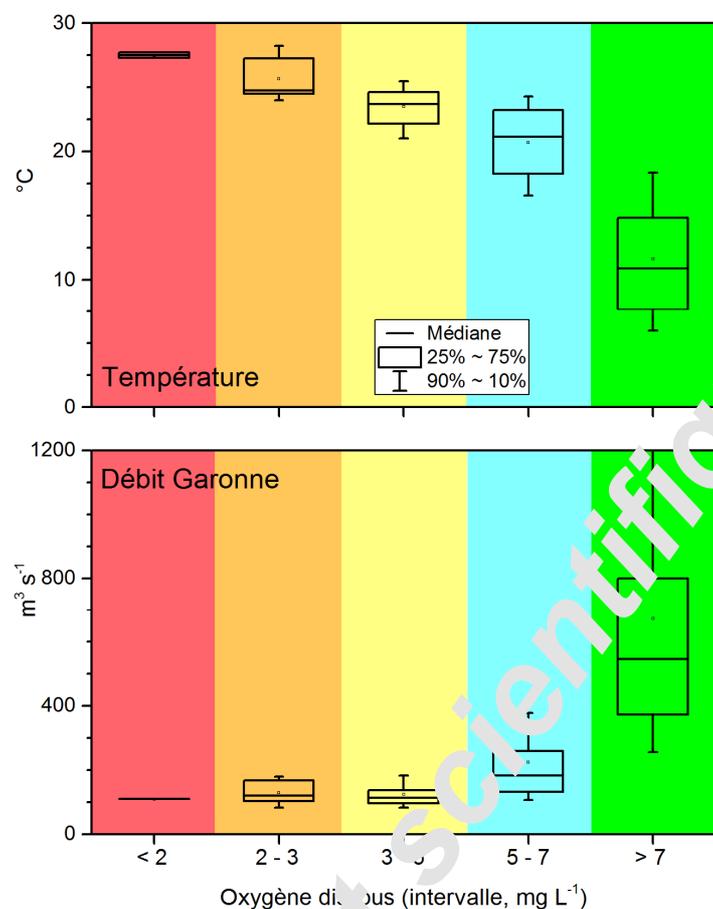
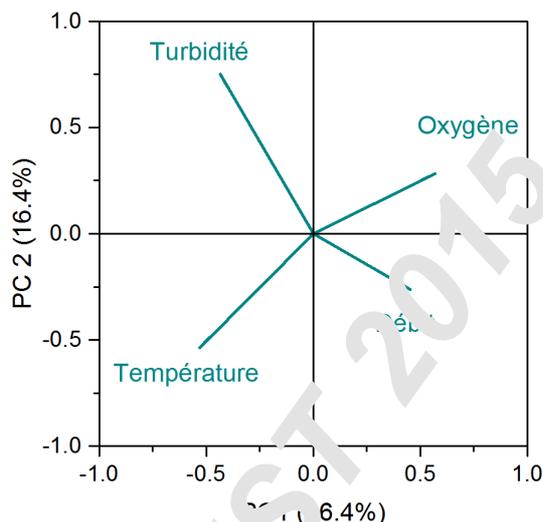


Figure 19 : Diagramme à boîtes des quartiles (10, 25, 50, 75, 90 %) de la température des eaux bordelaises et du débit de la Garonne en fonction de l'oxygène dissous. Les moyennes journalières de débit et de température ont été classés selon les classes de qualité des eaux basées sur la concentration journalière en oxygène dissous (<2, 2-3, 3-5, 5-7, > 7 mg L⁻¹)

La distribution des données de température et de débit en fonction des classes d'oxygénation montre que, avec l'augmentation de la température de l'eau, il y a une diminution progressive et inexorable de la concentration en oxygène (Fig. 19). La figure montre que :

- un débit inférieur à 200 m³ s⁻¹ n'induit pas toujours des teneurs faibles en oxygène (ex. 2013) ;
- un été chaud (température de l'eau > 24°C) entraînera toujours une concentration en oxygène dissous < 5 mg L⁻¹ (ex. 2006).

Or l'Aquitaine est considérée comme l'une des régions de France où le réchauffement climatique sera le plus important, avec une augmentation probable de température de 2 à 5°C dans les décennies à venir². Parmi les hypothèses les plus solides, figurent des vagues de chaleur plus intenses, la chute globale des précipitations, et des épisodes de sécheresse estivale plus fréquents. Un tel contexte est propice à la mise en place d'une hypoxie saisonnière permanente dans l'estuaire fluvial dans les prochaines décennies, ce qui pourrait être problématique pour la dévalaison des juvéniles de poissons migrateurs

² Le Treut H., Les impacts du changement climatique en Aquitaine, Presses universitaires de Bordeaux, 2013, pp. 368.

8. VEILLE SCIENTIFIQUE

L'intérêt de consortium MAGEST est le lien entre gestionnaires et recherche. Le but de cette section est d'informer sur des travaux publiés récemment dans des revues scientifiques à audience internationale qui peuvent avoir un intérêt pour la communauté régionale. Les tirés à part des articles peuvent être envoyés sur demande à : MAGEST.Gironde@gmail.com

8.1. IMPACTS GLOBAUX DU CHANGEMENT DE REGIMES DES ANNEES 1980

Référence: Reid P.C. et al (2016) *Global impacts of the 1980s regime shift*. *Global Change Biology* (2016) 22, 682–703, doi: 10.1111/gcb.13106

A partir d'analyses des 72 séries temporelles, Reid et al. confirment que le changement de régime des années 1980s a représenté un changement majeur des systèmes biophysiques enregistré de la haute atmosphère jusqu'aux profondeurs de l'océan, et de l'Arctique à l'Antarctique.

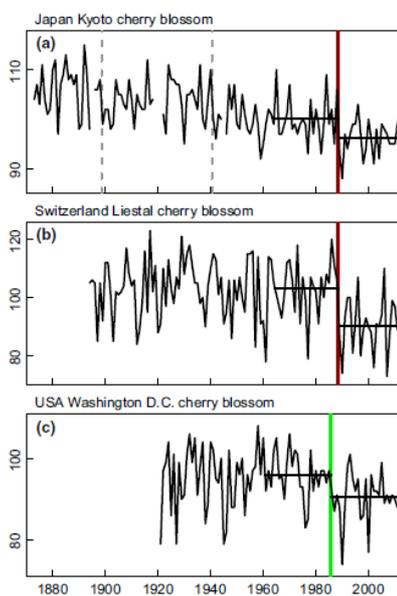


Figure 20. Comparaison des dates de floraison des cerisiers de trois continents (Asie, Europe, États-Unis d'Amérique). Cette figure est extraite de Reid et al. 2016.

Les lignes verticales rouge/verte indiquent l'année de changement de régime pour la période d'intérêt (1984-1990).

8.2. EFFET DE LA TEMPERATURE SUR LES LARVES DE LA GRANDE ALOSE

Hundt M., Schiffer M., Weis M., Schreiber B., Kreiss, Schulz R., Gergs R. (2015) Effect of temperature on growth, survival and respiratory. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 416, 27.

Hundt et al (2015) ont analysé les effets de la température sur le recrutement potentiel de la grande alose *Alosa alosa* en étudiant la croissance et survie à 16, 20, 24 et 28 °C pendant dix jours. Ces expériences ont utilisé des espèces de Garonne.

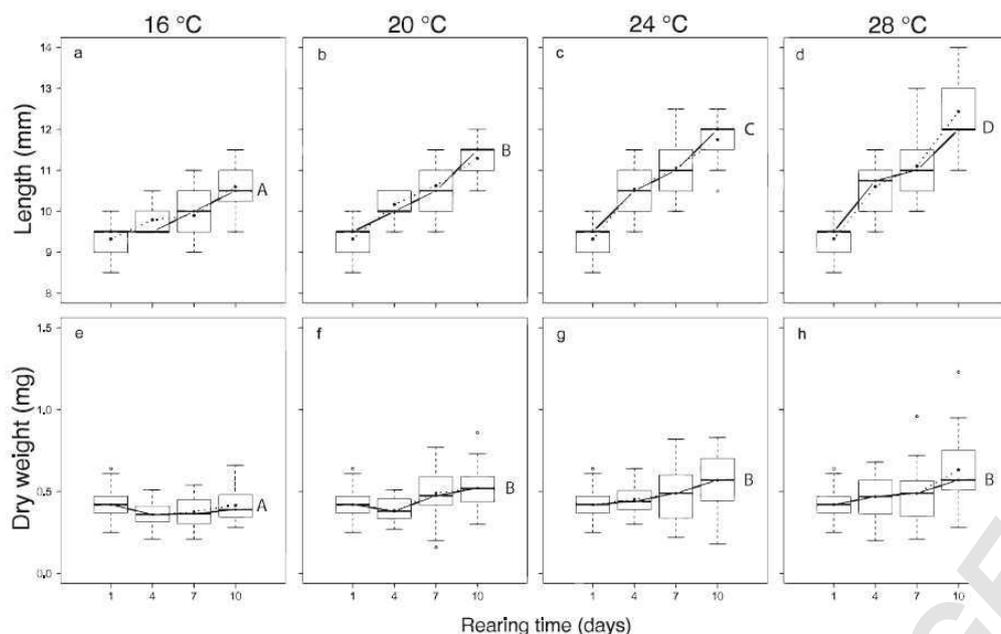


Figure 2
 Length and dry weight of *Alosa alosa* larvae during a 10 day rearing period at four different temperatures. Different capital letters in each boxplot denote significant differences in final mean length and dry weight according to Tukey's HSD at $p < 0.05$. The median is indicated by a solid line; the dotted line denotes the mean. Box is the interquartile range; whiskers are maximum and minimum; and asterisks are outliers. H

8.3. DYNAMIQUE DU BOUCHON VASEUX DE L'ESTUAIRE DE LA LOIRE

Jalon Rojas I., Schmidt S., Sottolichio A., Bertier C. (2016) Tracking the turbidity maximum zone in the Loire Estuary (France) based on a long-term, high-resolution and high-frequency monitoring network, *Continental Shelf Research*, doi: 10.1016/j.csr.2016.01.017.

Cette étude traite le jeu de données de turbidité acquises par le réseau SYVEL dans l'estuaire de la Loire. Un intérêt particulier est porté à la dynamique du bouchon vaseux. La comparaison avec l'étude équivalente sur l'estuaire de la Gironde (données turbidité MAGEST, Jalon Rojas et al, 2015 *) montre que les liens entre le bouchon vaseux (durée de présence, concentration max.) et débit (durée étiage ; volume d'eau période humide/sèche) établis pour l'estuaire fluvial de la Gironde sont généralisables à la Loire.

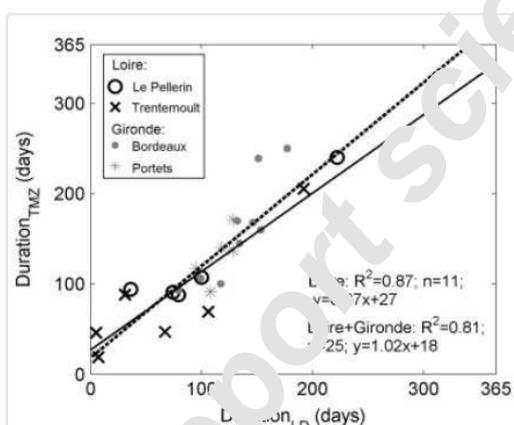


Fig. 10.
 Duration of the TMZ period as a function of the duration of the low discharge period in the upper Loire estuary (Le Pellerin and Trentemoult). Data from the Gironde estuary (Bordeaux and Portets) are plotted for comparison (Jalon-Rojas et al., 2015).

*I. Jalon-Rojas, Schmidt S., Sottolichio A. (2015) Turbidity in the fluvial Gironde Estuary (S.-W. France) based on 10-year continuous monitoring: sensitivity to hydrological conditions, *Hydrology and Earth System Sciences*, 19, 2805-2819, doi: 10.5194/hess-19-2805-2015.

Les conditions météorologiques 2015 ont déterminé les tendances annuelles de la qualité de l'eau de l'estuaire de la Gironde, dont le suivi au moyen des stations MAGEST aux sites de Pauillac, Bordeaux, Cadillac et Libourne montrent que :

- la vague de chaleur (15 au 24 juillet) a eu un impact clair sur les températures des eaux, qui ont culminé à des températures $> 25^{\circ}\text{C}$ jusque fin juillet ;
- les débits bas au cours du 2nd semestre ont favorisé la présence d'un bouchon vaseux assez concentré dans l'estuaire des fleuves, où il a persisté plus de 6 mois
- ce contexte hydrométéorologique (température élevée, déficit hydrique) n'a pas permis d'atteindre les objectifs du SAGE à Bordeaux qui a enregistré 26 jours sous le seuil objectif de 5 mg.L^{-1} .

L'utilisation de figures de ce rapport doit être accompagnée par la citation de leur source : Rapport MAGEST 2005. Les documents et communications cités dans le rapport peuvent être envoyés sous format pdf à la demande. Contact : MAGEST.Gironde@gmail.com

Cette section est adaptée :

- d'un poster présenté au colloque ECSA 55, Londres, 5-9 Septembre 2015 :

Monitoring turbidity as a surrogate of suspended particulate load in transitional waters: a case study in the Gironde estuary, par Diallo P.-Y., Schmidt S., Moreau M., Ouamar L., Lebleu P.;

d'un article en préparation:

Evaluating continuous turbidity-based monitoring of suspended sediments concentration in transitional waters par Schmidt S., Diallo P.-Y., Moreau M., Ouamar L., Lebleu P.,

Les capteurs de turbidité des stations automatisées MAREL-NKE sont des capteurs optiques Turbidimax CUS31 d'Endress Hauser selon le principe de diffraction à 90° dans le spectre proche de l'infrarouge (880nm) selon DIN EN ISO 7027. Ils sont composés d'un émetteur infra-rouge à deux récepteurs pour les valeurs basses et hautes de turbidité et une diode de référence. La surface de mesure est biseautée pour un effet d'auto-nettoyage de l'optique, avec un essuie-glace pour l'élimination des bulles d'air sur l'optique. La gamme de mesure est 0 – 9999 NTU.

Le capteur de turbidité autonome STBD-NKE. La sensibilité est linéaire de 0 à 750 NTU, et les mesures possibles jusqu'à 1500 – 2000 NTU. Le capteur dispose de piles au lithium qui offre une durée d'utilisation de plusieurs avec une cadence de mesures de 15 minutes et une autonomie de 600 000 mesures.

Pour comparer la réponse de ces deux capteurs, des particules ont été récoltées à Bordeaux les 7 et 27 janvier (débits élevés) et 15 septembre (étiage, présence du bouchon vaseux). Au laboratoire, ces particules ont servi à la préparation de solutions de fortes concentrations en matières en suspension (> 9999 NTU). La dilution progressive de ces solutions a permis d'établir des courbes d'intercomparaison des réponses des deux turbidimètre (Figure A1-1).

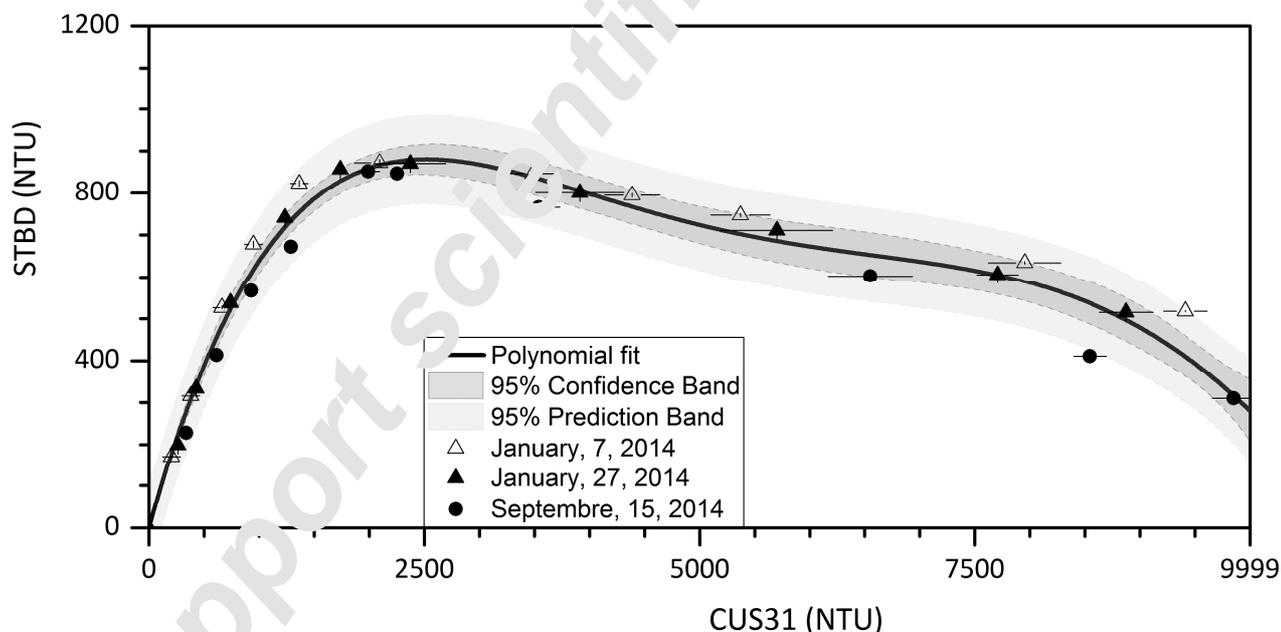


Figure A1-1 : Comparaison des réponses des capteur STBD et CUS31 pour les trois solutions de particules prélevées en période de faible et fort débits.

Il ressort que le capteur de turbidité STBD a une réponse très différente du CUS31, avec une réponse linéaire dans la gamme 0-750 NTU, puis après un plateau une diminution forte des mesures aux fortes turbidités. Il est possible d'utiliser la relation polynomiale ainsi établie pour convertir les mesures STBD. Cette possibilité a été testée en plaçant le capteur sur la perche d'aspiration de la station MAGEST de Bordeaux en novembre. Cela a permis de comparer les mesures directes de la station de mesures avec les turbidités converties du capteur STBD.

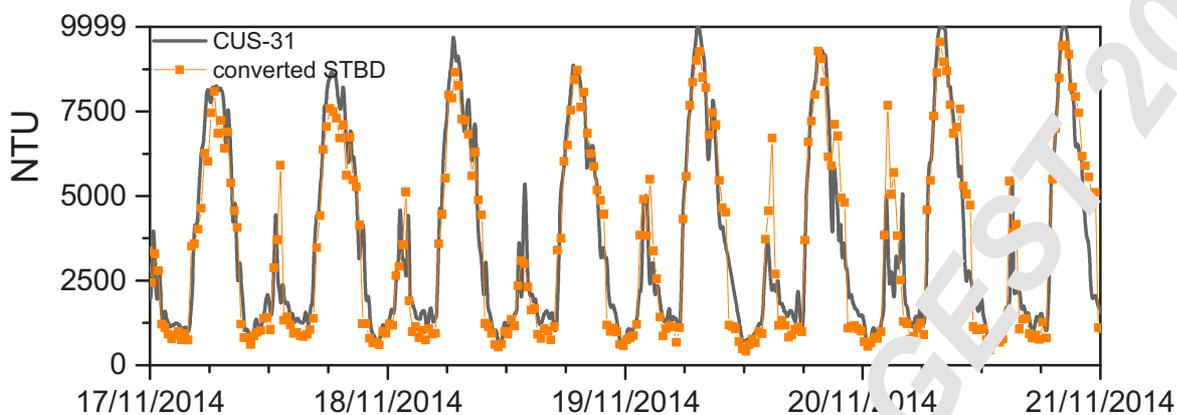


Figure A1-2 : Comparaison des turbidités mesurées (CUS31) et converties (STBD) pour la période du 17 au 21 novembre 2014.

La comparaison des turbidités obtenues par les deux capteurs montre une très bonne concordance. Cela démontre que le capteur STBD bien inter calibré peut être utilisé pour mesurer la turbidité en cas de panne de la station de mesure.

Ces résultats sont extraits du rapport de mission « Mission Dordogne aval – 2 juillet 2015, Sabine Schmidt, 6 pages). Le rapport complet est en annexe du rapport technique0

Distribution longitudinale et comparaison à la station de Libourne

La figure suivante résume l'ensemble des mesures acquises le 2 juillet. Comme les capteurs de turbidité ont des gammes de sensibilité différentes, le choix a été de convertir les mesures de turbidité (NTU) en charges en matière en suspension. Les tendances générales sont :

- une très légère augmentation de la salinité en aval (rappel mesures en jusant) ;
- une température des eaux légèrement plus faible (-0.4 – -0.5 °C) à Tête Rouge à 12:10, comparée à la mesure de Libourne à la même heure ;
- des eaux moins turbides (en dépit du courant de jusant) en aval de Libourne ;
- une oxygénation légèrement plus élevée en aval.

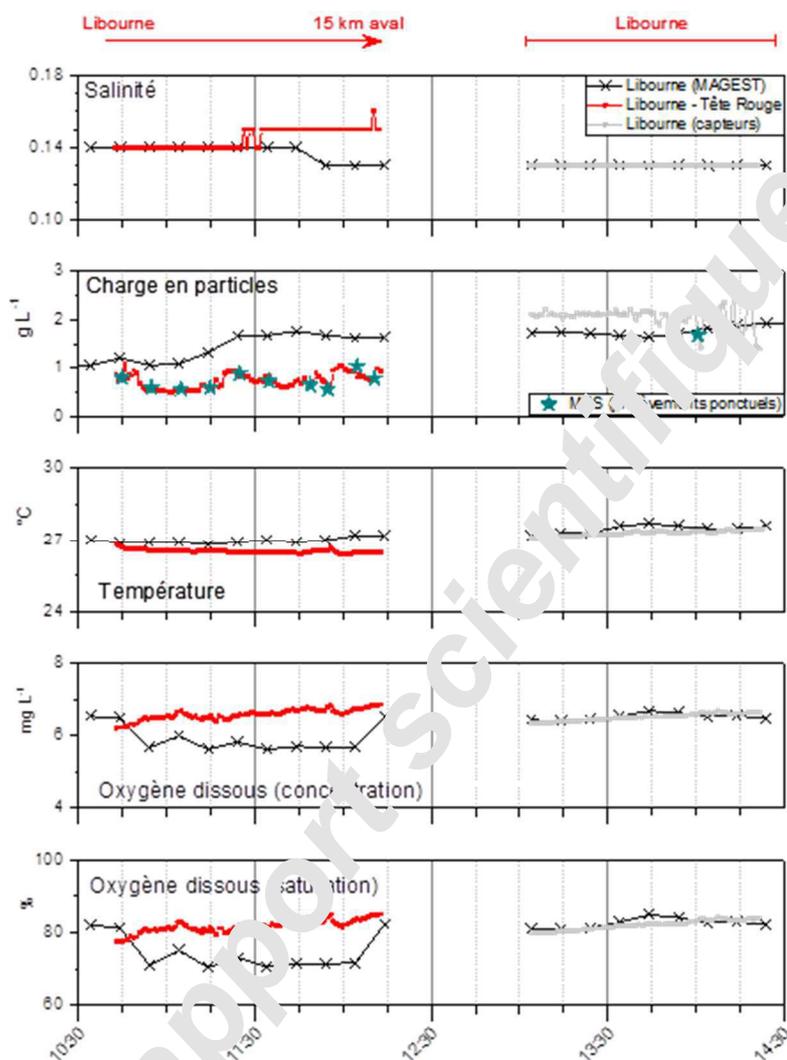
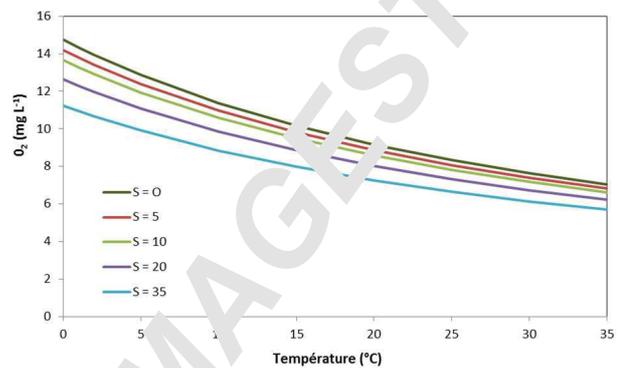
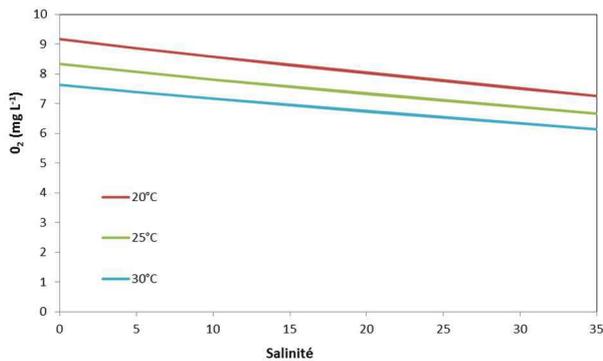


Figure 2 : Comparaison des enregistrements des paramètres physico-chimiques (T, S, MES, oxygène dissous) dans les eaux de surface de la Dordogne aval, le 2 juillet de 10 :30 à 14 :30 :

- station MAGEST de Libourne (croix);
- entre Libourne et Tête Rouge, soit 15 km en aval de Libourne (carrés rouges).
- à proximité de la station de Libourne (carrés gris).

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. Ci-dessous 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 l'IRSTEA qui est plus exigeant que celui DCE.

Le code couleur correspond aux catégories de la figure 1.1. IRSTEA dans le tableau ci-dessous.

catégorie de qualité recommandée pour cette limite.

- **Eaux côtières et de transition** : exemple de "oxygène dissous"
 - Mêmes seuils pour les 2 masses d'eau
 - SEQ « Littoral » : grille potentialité biologique plus exigeante que DCE
 - Recommandations IRSTEA pour les estuaires **par rapport aux poissons** plus exigeantes

	très bon	bon	moyen	médiocre	mauvais
SEQ « Littoral »	> 6 mg/l	5 - 6 mg/l	2 - 5 mg/l	1 - 2 mg/l	< 1 mg/l
Eaux côtières et de transition	> 5 mg/l	3 - 5 mg/l	2 - 3 mg/l	1 - 2 mg/l	< 1 mg/l
IRSTEA	≥ 7 mg/l	5 - 7 mg/l	3 - 5 mg/l	2 - 3 mg/l	< 2 mg/l

MAGEST

Réseau d'observation automatisée

pour la surveillance de

la qualité des eaux de l'esquaire de la Gironde

Partenaires du consortium MAGEST:

