

# CAMPAGNE DE MESURES PHYSICO-CIMIQUES DANS L'ESTUAIRE DE LA LOIRE EN ÉTIAGE EXCEPTIONNEL

## Périmètre

Estuaire interne  
de Mauves-sur-Loire à Saint-Nazaire

## Date d'acquisition

Septembre 2019



## Objectif de l'étude

Réalisation de profils longitudinaux et transversaux dans toute la colonne d'eau, de Mauves-sur-Loire à Saint-Nazaire, en conditions de vives eaux/étiage (période la plus critique concernant les concentrations en oxygène dissous). Il s'agit de comprendre la stratification dans l'estuaire des paramètres physico-chimiques, notamment la concentration en oxygène dissous, indispensable à la vie aquatique.

## Description de la campagne

Le **profil longitudinal** est réalisé entre le pont de Bellevue, à l'amont de Nantes, et le pont de Saint-Nazaire. Des mesures sont effectuées en moyenne tous les 2 km, dans l'axe du chenal de navigation, sur la profondeur de la colonne d'eau.

Les **profils transversaux** sont réalisés entre Mauves-sur-Loire et le pont de Saint-Nazaire, au niveau des 6 stations du réseau de mesures en continu SYVEL. Des mesures proches de chaque berge et dans l'axe du chenal sont effectuées.

La campagne est effectuée les 02 et 03 septembre 2019. Le débit journalier mesuré à Montjean-sur-Loire est de 98 m<sup>3</sup>/s. Les coefficients de marée sont respectivement de 111 et 102.

## Protocole simplifié

Les mesures sont réalisées avec une sonde multi-paramètres SAMBAT.

Les mesures sont effectuées lors de la remontée de la sonde, après un temps de stabilisation de 2 minutes au fond. La fréquence de mesure est fixée à 5 secondes.

Le protocole est conçu pour mesurer les déficits en oxygène les plus forts, qui sont observés autour de la pleine mer locale à l'amont (les plus intenses étant généralement mesurés dans le secteur du Pellerin), et autour de la basse mer à l'aval.

La campagne longitudinale débute donc à Bellevue à pleine mer locale +/- 2 heures et se termine au pont de Saint-Nazaire à basse mer locale +/- 2 heures. 31 points de mesure sont réalisés.

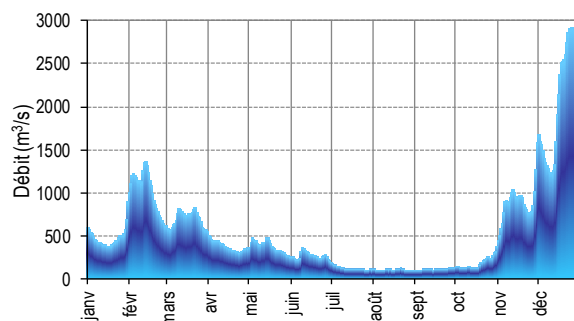
La campagne transversale (au niveau des stations SYVEL) débute à Donges à pleine mer locale, pour atteindre Mauves-sur-Loire à pleine mer locale. Des mesures sont effectuées sur le retour pour atteindre le pont de Saint-Nazaire à basse mer locale. 46 points de mesure sont effectués au total.

## 2019 : un étiage exceptionnel

L'année 2019 est marquée par des apports en eaux nettement inférieurs à la moyenne jusqu'au mois d'octobre et un étiage exceptionnel. Les mois de juillet, août et septembre sont parmi les plus secs depuis 1900 : les débits journaliers sont restés inférieurs à 130 m<sup>3</sup>/s pendant près de 3 mois consécutifs. **Des débits inférieurs à 100 m<sup>3</sup>/s ont été mesurés à plusieurs reprises entre le 25 août et le 04 septembre, ce qui ne s'était pas produit depuis 1991.**



Débit journalier à Montjean-sur-Loire en 2019



Source des données : DREAL Pays de la Loire

## Campagne longitudinale

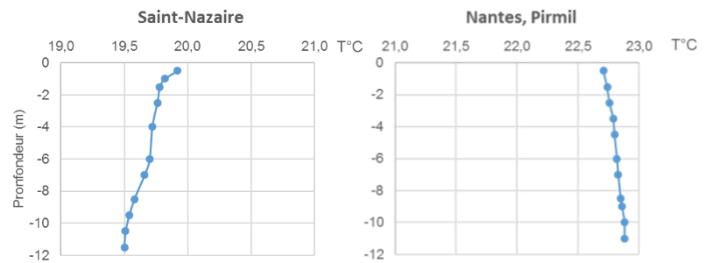
L'ensemble des paramètres mesurés (température, salinité, concentration en oxygène dissous, concentration en matières

en suspension (MES)) présente un gradient longitudinal de Bellevue à Saint-Nazaire et une faible stratification verticale. Le fort coefficient de marée et le faible débit favorisent en effet le mélange des eaux.

En surface, la température présente un gradient entre l'amont et l'aval. Les eaux fluviales de l'amont sont plus chaudes que les eaux apportées par l'océan. Un écart d'environ 3°C est observé entre Bellevue et le pont de Saint-Nazaire : de 22,6°C à 19,7°C.

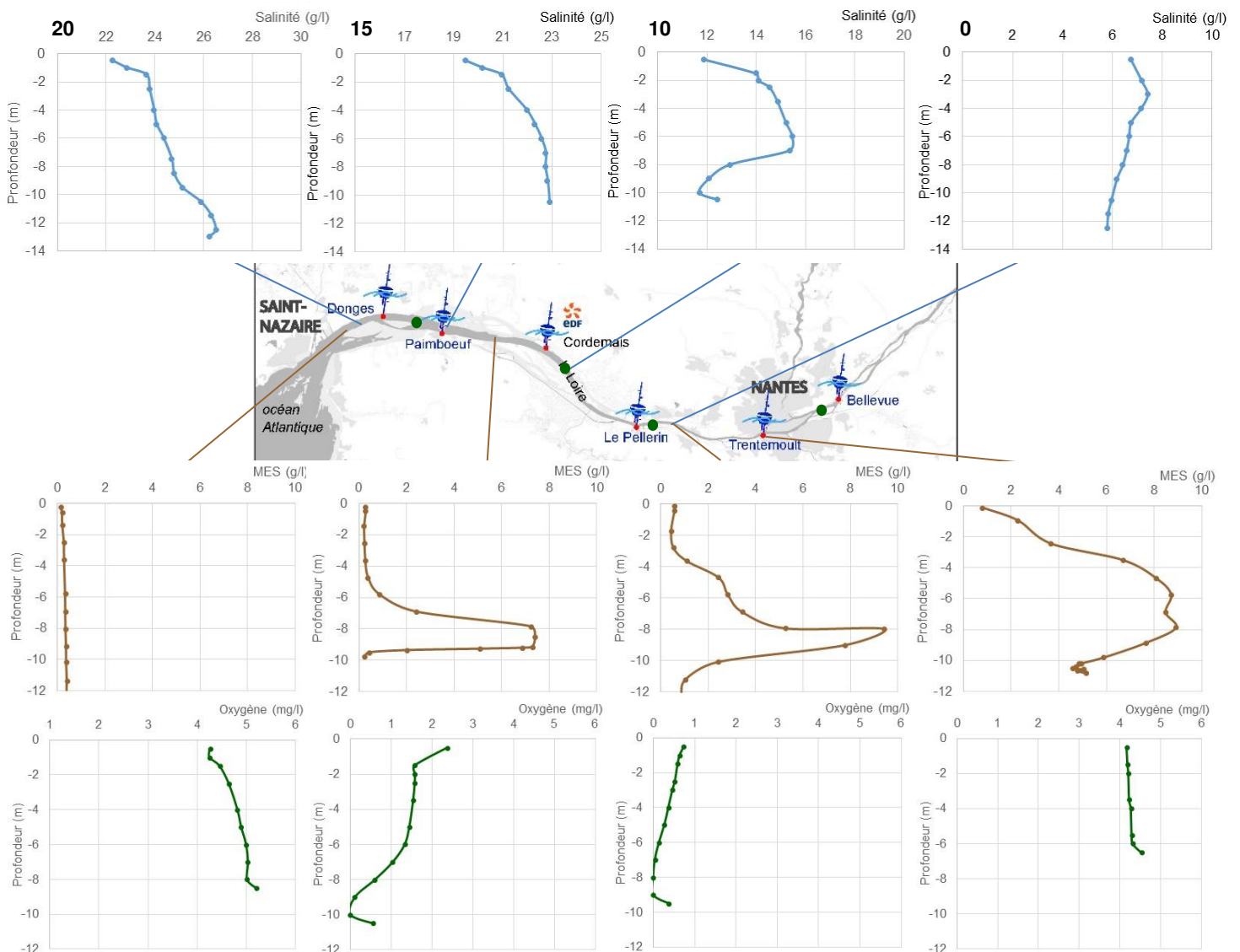
Entre Saint-Nazaire et Cordemais, la température de l'eau diminue un peu lorsque la profondeur augmente (l'eau salée, plus froide, est en effet plus dense et donc plus lourde), mais cette diminution est très faible, de 0,3°C en moyenne entre la surface et le fond.

De l'amont de Cordemais à Nantes, le gradient vertical est inversé. Les eaux sont légèrement plus chaudes en profondeur, de 0,2 °c en moyenne. Les mesures ne sont pas effectuées au même moment de la marée sur toutes les stations, ce qui peut expliquer cette inversion de gradient. En effet, à l'amont, les mesures sont réalisées autour de la pleine mer alors qu'à l'aval elles sont réalisées un peu avant la basse mer. Il est alors probable qu'à l'aval, le courant de fond commence déjà à remonter alors qu'en surface le courant de jusant se fait toujours sentir. Au niveau de la station de Bellevue, aucun gradient ne s'observe sur la verticale. La profondeur est en effet moindre, d'où son homogénéisation.

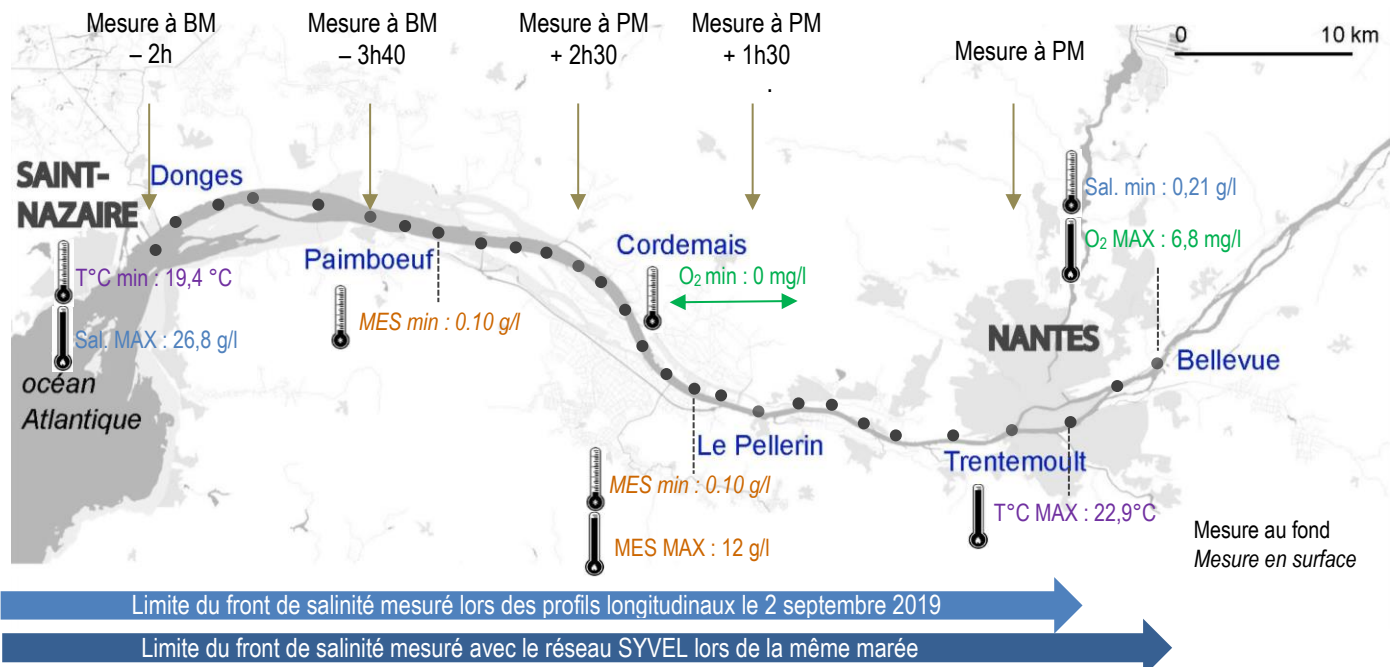


**La salinité diminue de l'aval vers l'amont : de 25 à Donges à 0,2 g/l à Bellevue en surface.** Les mesures réalisées, autour de la pleine mer, situent la limite du front de salinité à 0,5 g/l, en surface, entre l'embouchure de la Sèvre (Rezé) et l'Île Forget (Saint-Sébastien-sur-Loire). Néanmoins, les mesures étant ponctuelles, le maximum de salinité a pu être manqué. Le réseau SYVEL a en effet mesuré à la station de Bellevue, pour la même marée, un maximum de 0,52 g/l à 9h50, près de 2h après notre passage.

Entre Saint-Nazaire et Paimboeuf, la salinité est plus élevée au fond qu'en surface. Progressivement, le maximum de salinité remonte dans la colonne d'eau. À partir de Trentemoult, les eaux les plus salées sont en surface. C'est probablement la même explication que pour la température. La salinité minimale est mesurée en surface à Bellevue (0,2 g/l); la salinité maximale est mesurée en profondeur à Saint-Nazaire (26,8 g/l).



## Localisation des valeurs minimales et maximales mesurées lors du profil longitudinal le 2/09/2019



Le **bouchon vaseux**, qui correspond à des concentrations en MES comprises entre 0,5g/l et 30g/l, est d'autant plus étendu que le coefficient de marée est élevé et le débit faible. Dans les conditions hydrologiques des mesures, **il est ainsi détecté de Bellevue à Saint-Nazaire**, sur au moins un point de la colonne d'eau. Les plus fortes concentrations sont mesurées entre Nantes et Le Pellerin, et jusqu'à l'aval de Cordemais au fond. **Au niveau de Nantes, les concentrations sont fortes sur une majeure partie de la colonne d'eau**, contrairement à la partie aval de l'estuaire : elles dépassent même les 8 g/l sur plusieurs mètres de profondeur (entre 4 et 8 m environ).

Les débits exceptionnellement faibles durant la campagne et les forts coefficients de marée entraînent **des déficits en oxygène dissous ou hypoxies** (concentration inférieure à 5 mg/l) **en surface entre Donges et l'aval de Bellevue**. Entre Cordemais et Trentemoult, les concentrations en oxygène dissous sont inférieures à 2 mg/l sur toute la colonne d'eau, et même inférieures à 1 mg/l en amont de la percée de Buzay, soit sur 17 km, en lien avec la localisation des plus fortes turbidités. De Saint-Nazaire à Paimboeuf, le fond est plus oxygéné, probablement en liaison avec les températures un peu plus faibles. De Paimboeuf à Trentemoult, le fond est moins oxygéné, en raison notamment des turbidités plus élevées. Des concentrations en oxygène dissous proches de 0 mg/l (anoxies) sont mesurées. Encore inférieure à 1mg/l à Trentemoult sur toute la colonne d'eau, la concentration en oxygène remonte rapidement en amont.

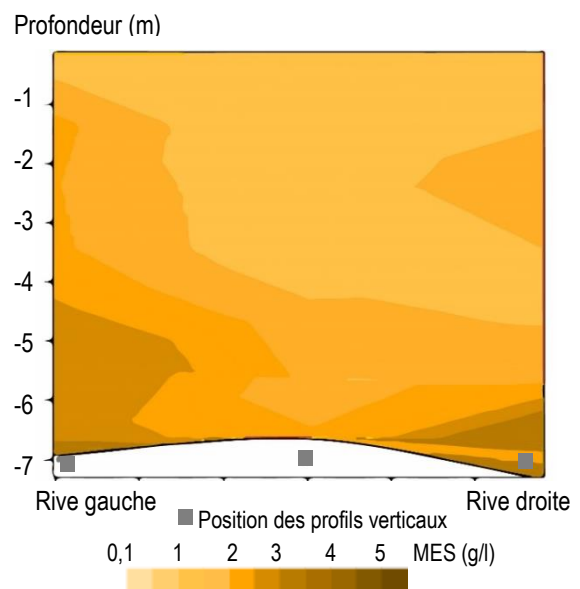
### Campagne transversale

**Les températures sont comprises entre 20°C en aval et 22°C en amont**, pour les mesures réalisées à pleine mer aussi bien que pour celles réalisées à basse mer. Comme sur les profils longitudinaux, les différences de température entre le fond et la surface sont très faibles, toujours inférieures à 1°C. De très faibles différences de températures sont mesurées entre les deux rives, de l'ordre de quelques 10<sup>e</sup> de degrés.

À pleine mer, **la salinité** présente les mêmes gradients que les profils longitudinaux. À basse mer ou jusant, la tendance est à une salinité plus élevée au fond même à l'amont. La stratification est dans les 2 cas toujours très faible, les conditions hydrologiques favorisant le mélange des eaux. Pour le profil à pleine mer, la différence maximale mesurée entre les rives, sur un même transect, est de 1 g/l. Pour le profil au jusant, le maximum est de 3 g/l, mesuré à Cordemais.

**Le bouchon vaseux est centré sur Le Pellerin Trentemoult et est détecté de Mauves-sur Loire à Donges** (pas de mesure à Saint-Nazaire à pleine mer). En surface, les différences entre rives sont minimales à pleine mer. Plus en profondeur, les teneurs en MES sont ponctuellement différentes de 1g/l à Paimboeuf et Bellevue. Au jusant, les différences peuvent être significatives proche de la surface.

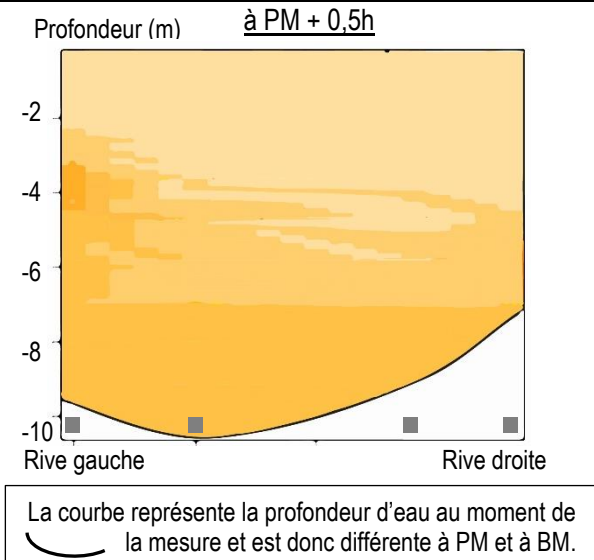
### Coupe transversale des concentrations en MES à Bellevue à PM + 1h30 (interpolation à partir des 3 profils)



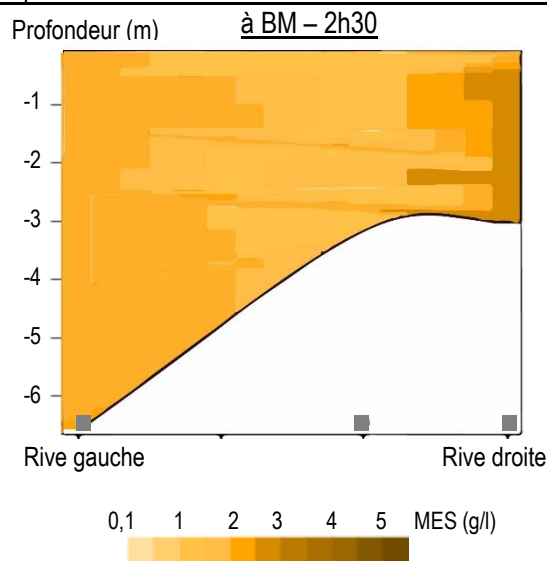
À l'aval (entre Cordemais et Saint-Nazaire) la concentration en MES mesurée lors du 2<sup>e</sup> profil à basse mer/jusant est plus forte. Ce phénomène est aussi mesuré par le réseau SYVEL : le pic de turbidité observé à basse mer est plus élevé que celui lié aux courants de flot, en aval de Cordemais. Ces pics de basse mer sont liés à de l'érosion locale, donc à la présence de crème de vase à proximité. **Le bouchon vaseux est observé jusqu'à Saint-Nazaire à basse mer, même en surface.**

De manière générale sur les 2 profils, les mesures de concentration en matières en suspension sont plus fortes au fond.

Coupe transversale des concentrations en MES à Paimboeuf



Coupe transversale des concentrations en MES à Paimboeuf



La sonde est lestée et immergée dans l'eau à l'aide d'un bout gradué.

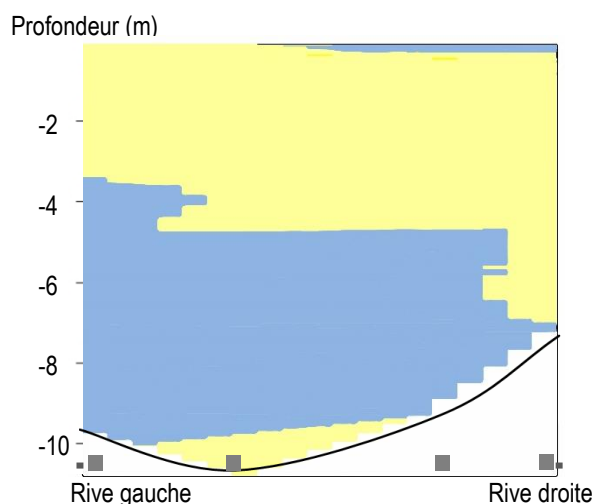
**Des déficits en oxygène sont mesurés entre Paimboeuf et Bellevue à pleine mer.** Les déficits les plus importants sont centrés sur Le Pellerin et Trentemoult. L'anoxie est presque totale au Pellerin sur toute la colonne d'eau et toute la largeur du lit.

À pleine mer en aval de Cordemais, aucune stratification n'est mesurée dans la colonne d'eau.

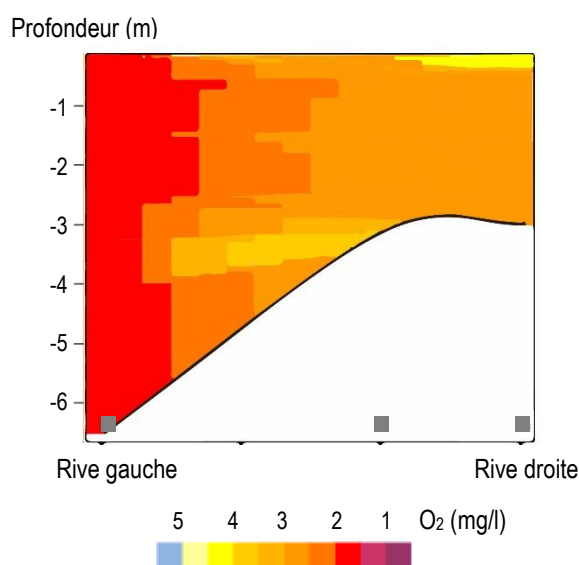
**Les concentrations en oxygène dissous sont beaucoup plus faibles à basse mer à l'aval,** en liaison notamment avec la turbidité plus importante. Alors qu'à pleine mer, quasiment aucune hypoxie n'est mesurée à Donges et Paimboeuf, à basse mer, les concentrations en oxygène descendent à 3 mg/l à Donges et en-dessous de 2 mg/l à Paimboeuf.

Il existe des différences de concentrations entre les rives mais elles sont généralement inférieures à 0,5 mg/l. Ponctuellement des différences supérieures à 1mg/l d'oxygène dissous sont mesurées, que ce soit en surface ou au fond.

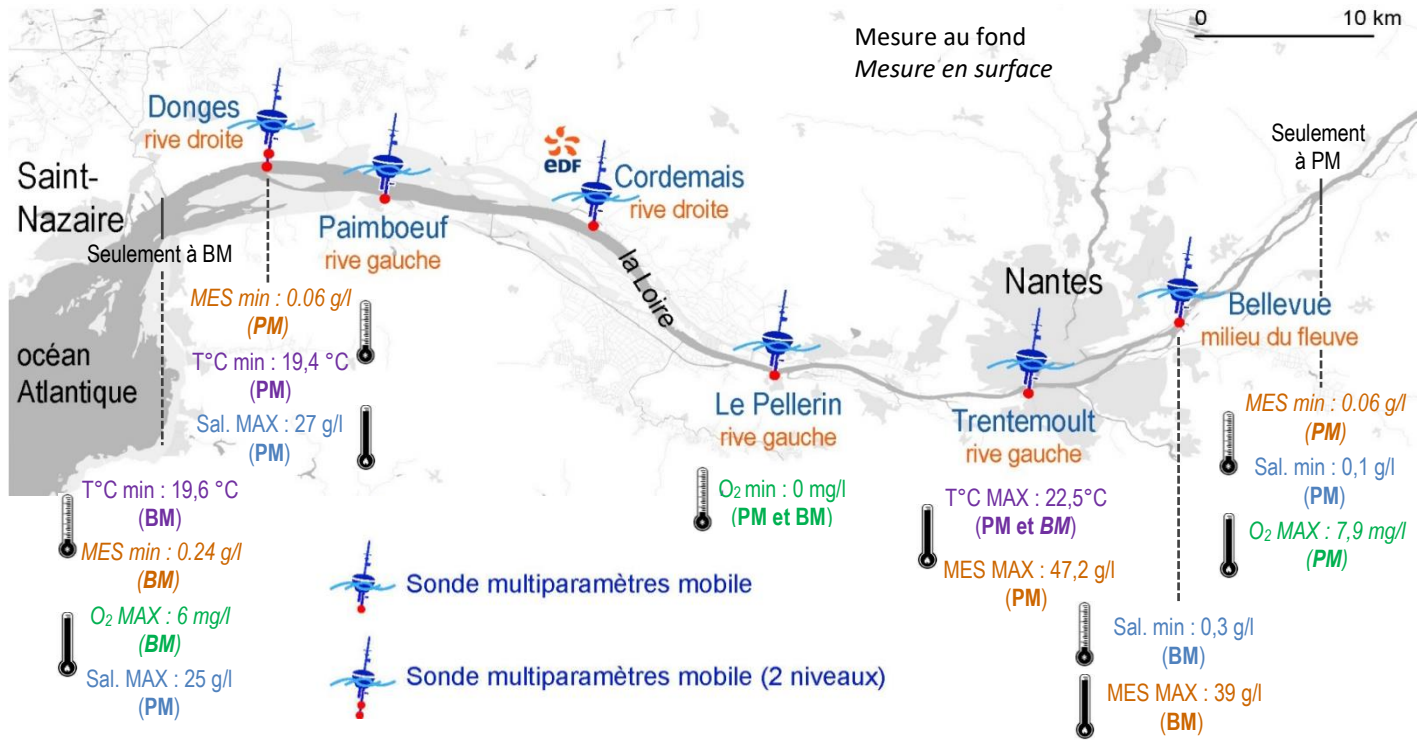
Coupe transversale des concentrations en O<sub>2</sub> dissous à Paimboeuf à PM + 0,5h



Coupe transversale des concentrations en O<sub>2</sub> dissous à Paimboeuf à BM - 2h30



## Localisation des valeurs minimales et maximales mesurées lors des profils transversaux le 3/09/2019



### Conclusion

Les conditions hydrologiques de la campagne (très faibles débits et coefficients de marée élevés) favorisent le mélange des eaux, l'extension du bouchon vaseux, la remontée du front de salinité et de forts déficits en oxygène. Les débits observés lors de ces 2 jours de mesure étaient exceptionnellement faibles. **Les résultats de cette campagne sont donc représentatifs d'une situation extrême (sauf pour la température) et non d'un étiage habituel.**

Par la densité des points de mesures dans les 3 dimensions (à la fois longitudinale, transversale et sur toute la colonne d'eau), cette campagne est bien complémentaire aux données du réseau de mesure à haute-fréquence SYVEL et permet d'en renforcer l'interprétation. Elle répond au besoin d'approfondir la compréhension du fonctionnement physico-chimique de l'estuaire et sera indispensable au calage de modèles plus précis et plus complets.

Cette étude, qui s'est révélée relativement facile à mettre en œuvre, mériterait d'être réitérée à différentes situations hydrologiques afin d'accroître la compréhension des fortes variations des paramètres physico-chimiques dans l'estuaire. La réalisation du même type de protocole en situation de mortes eaux et à un débit plus élevé, permettrait par exemple une analyse plus complète du phénomène de stratification, non observable avec le réseau de mesure SYVEL.

