



## La dynamique de la vie

L'eau support de vie

# L'oxygène de l'eau

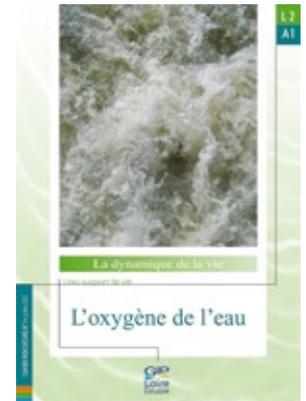
# L'oxygène de l'eau

## Préambule

La première version de l'indicateur, éditée en 2002, présente le suivi des concentrations en oxygène dissous entre Les Ponts-de-Cé et Saint-Nazaire grâce aux mesures mensuelles des réseaux de surveillance de la qualité des eaux. Les variations à l'échelle du cycle de marée et le phénomène de stratification sont appréhendés à l'aide des résultats de campagnes de mesures ponctuelles dans l'estuaire de la Loire.

La seconde version éditée en 2012 caractérise plus précisément la variabilité des concentrations en oxygène grâce au réseau de mesures haute fréquence SYVEL mis en place en 2007, et décrit l'impact des déficits en oxygène sur la faune piscicole.

Cette nouvelle édition présente la mise à jour des suivis sur la période 1996 – 2018.



## Objectif définition

L'oxygène est présent dans l'eau sous forme dissoute. Il est indispensable à la respiration des animaux et des végétaux aquatiques.

**La capacité de l'eau à emmagasiner l'oxygène est régie par la température surtout**, et la salinité : elle augmente plus les eaux sont froides et douces. Quand il y a moins de 5 mg/l d'oxygène (hypoxie), les conditions de vie pour les organismes aquatiques, notamment les poissons, deviennent défavorables. Ces déficits en oxygène sont liés à la dégradation de grandes quantités de matière organique (MO) contenues dans la

masse turbide de l'estuaire. Ils sont favorisés par plusieurs facteurs :

- les températures élevées qui accroissent la consommation d'oxygène par l'accélération de la vitesse de dégradation de la MO ;
- les faibles débits qui limitent le renouvellement des eaux et augmentent le temps de résidence des particules dans l'estuaire ;
- les forts coefficients de marée qui remobilisent davantage la vase, dont de la MO, déposée sur le fond du lit du fleuve.

	Concentration en O <sub>2</sub>	Impact sur les poissons
Seuil sensible hypoxie	plus de 5 mg/l	Absence d'effets à long terme. Passage de l'ensemble des espèces migratrices
	de 4 à 5 mg/l	Salmonidés : migration incertaine, croissance altérée
Seuil critique	de 3 à 4 mg/l	
	de 2 à 3 mg/l	Survie des juvéniles incertaine. Croissance et fécondité altérées. Arrêt ou retard du développement embryonnaire. Migration impossible pour beaucoup d'amphihalins. Mortalité des salmonidés
Seuil léthal	de 1 à 2 mg/l	Mortalité pour la plupart des espèces
	moins de 1 mg/l	Milieu azoïque

Les seuils de sensibilité aux hypoxies diffèrent selon les espèces et le stade de développement. **L'intensité mais aussi la durée et l'étendue des déficits en oxygène** sont des facteurs essentiels à prendre en compte dans l'évaluation de leur impact sur les poissons.

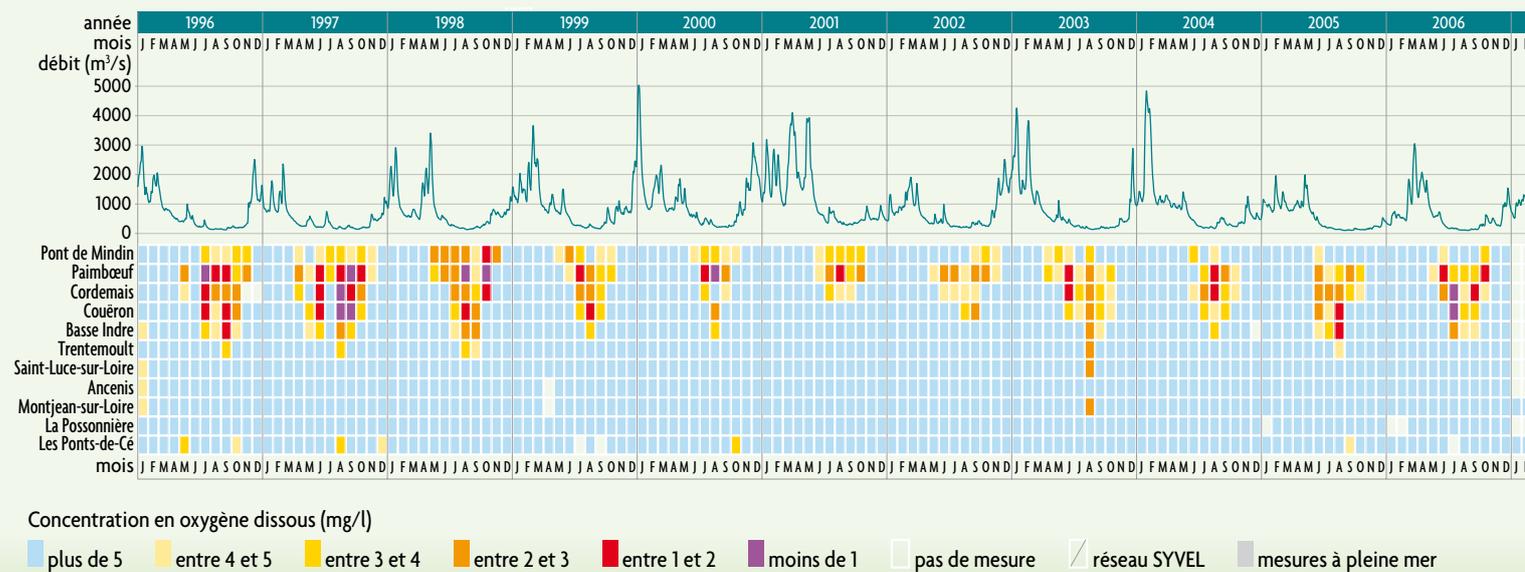
L'objectif de cette fiche est d'actualiser le suivi des variations d'oxygène dissous dans la Loire de la Maine à la mer, de 1996 à 2018, et de caractériser les hypoxies en aval de Nantes, grâce aux données haute fréquence produites par le réseau SYVEL depuis 2007.



*Alosa alosa*, Grande alose



*Salmo salar*, Saumon atlantique



## De la Maine à la mer, une tendance à l'amélioration des conditions d'oxygénation

De 1996 à 2018, en amont de Nantes, les concentrations en oxygène dissous sont généralement supérieures à 5 mg/l. En aval, des hypoxies sont régulièrement mesurées entre Indre et Paimbœuf.

**La tendance générale entre 1996 et 2018 est à l'amélioration des conditions d'oxygénation,**

surtout depuis 2007. En effet, malgré la fragmentation temporaire des données entre 2007 et 2009 (imputable à la réorganisation des réseaux de surveillance de la qualité des eaux), les déficits en oxygène sont visiblement de moindre intensité, plus courts et d'emprise géographique plus restreinte : rarement mesurés en amont de Couëron.

## Des hypoxies estivales liées aux faibles apports en eau et aux fortes températures

Les hypoxies ne se produisent pas toute l'année et pas en tout point de l'estuaire. Elles sont observées généralement entre juillet et septembre, lorsque les débits sont au plus bas et les températures plus élevées. Le mois d'août est caractérisé par les déficits les plus fréquents et les plus intenses : sur la période 2007-2018, la concentration en oxygène est inférieure à 5 mg/l pendant 79% du mois en moyenne à Cordemais et 58% au Pellerin (sur la période de mesure effective). La station la plus amont, Bellevue, n'enregistre que très rarement de concentration en oxygène inférieure à 5 mg/l : 1,7% du mois d'août en moyenne.

Selon l'intensité des étiages, la localisation de la zone hypoxique est variable, corrélée avec la position du bouchon vaseux :

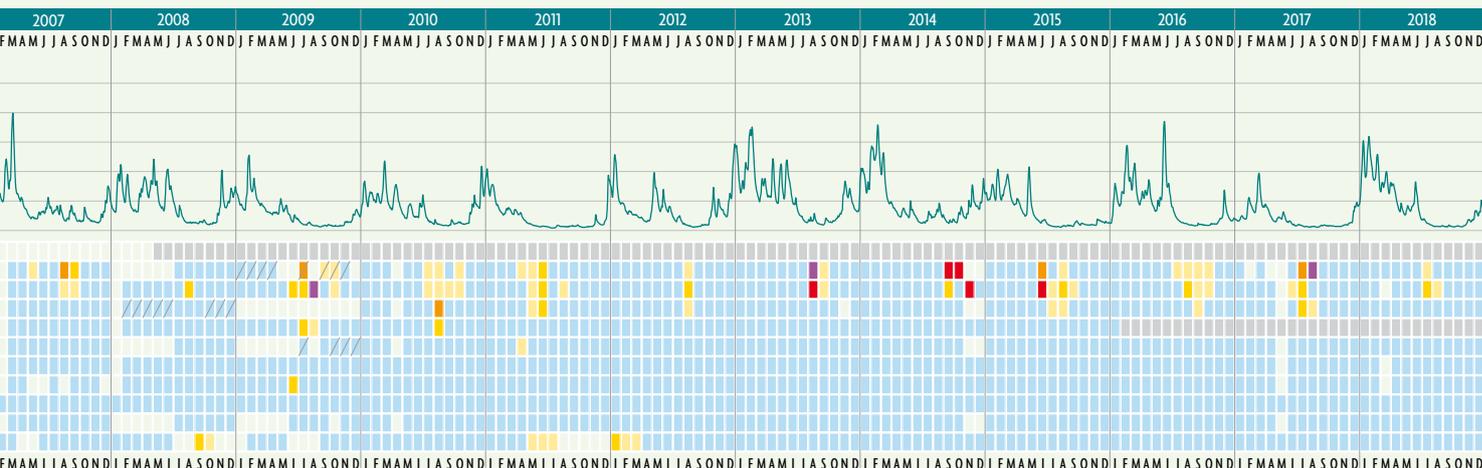
- en cas d'étiage sévère, elle est centrée sur Le Pellerin et Cordemais ;
- en cas d'étés humides, les hypoxies sont moins marquées et centrées sur Cordemais et Paimbœuf.

L'été 2018, particulièrement chaud, se fait ressentir sur la température de l'eau : le pourcentage de temps au-dessus de 25°C est le plus élevé depuis 2007. Les maxima estivaux de temps passé en hypoxie sont mesurés cette année-là à Cordemais, avec 95% du mois de juillet et 97% du mois d'août en-dessous de 5 mg/l. C'est également en 2018 que le record est enregistré à Trentemoult, avec 45% du mois de juillet en hypoxie.

En 2011, l'étiage particulièrement précoce et les températures élevées entraînent des déficits en oxygène dissous dès la mi-avril entre Le Pellerin et Donges, lorsque le débit descend en-dessous des 400 m<sup>3</sup>/s.

Des hypoxies intenses peuvent avoir lieu lors d'étiages courts et peu marqués, lorsque la température de l'eau est très élevée. C'est le cas au cours de l'été 2013, lorsque la température moyenne journalière atteint 25°C à Cordemais pendant un mois (10/07 au 10/08). Le temps

## Température et des débits entre 1996 et 2018



Sources : ARS 44/ARS 49/Département de Loire-Atlantique/DDTM 44/DREAL Pays de la Loire/IFREMER/SMN-CQE/GIP Loire Estuaire

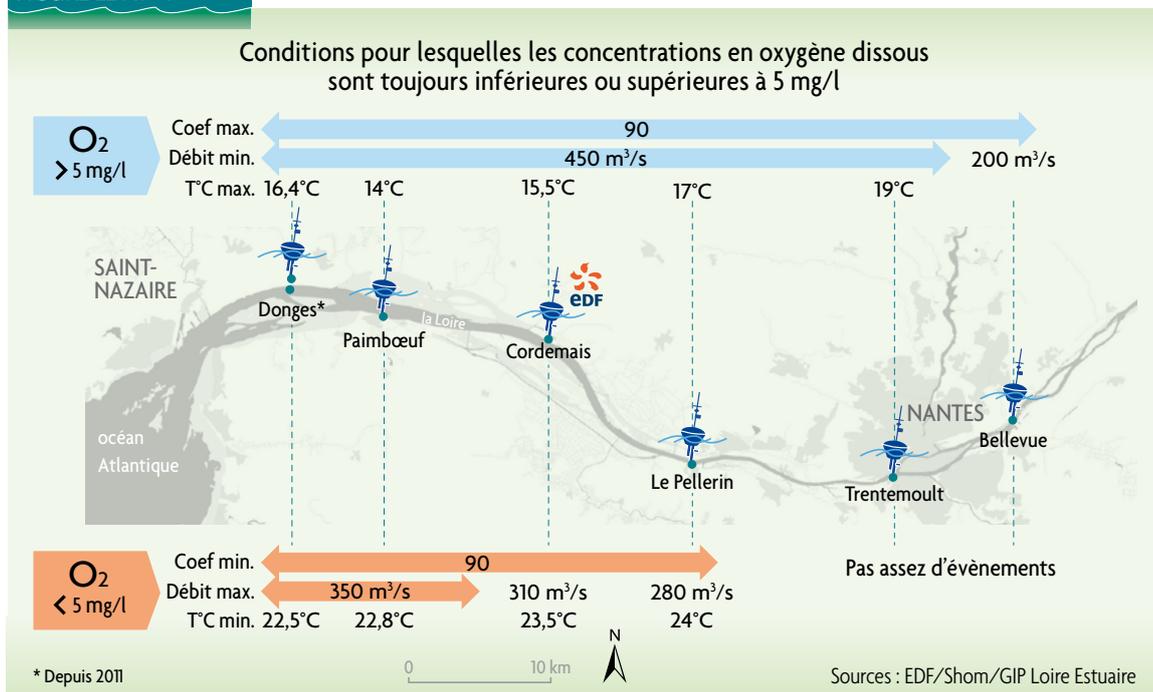
d'hypoxie maximum à Paimbœuf est mesuré cette année-là, avec 67% du mois d'août.

Entre 2007 et 2018, les variations interannuelles de concentrations en oxygène dissous restent dominées par l'influence des apports en eau du fleuve.

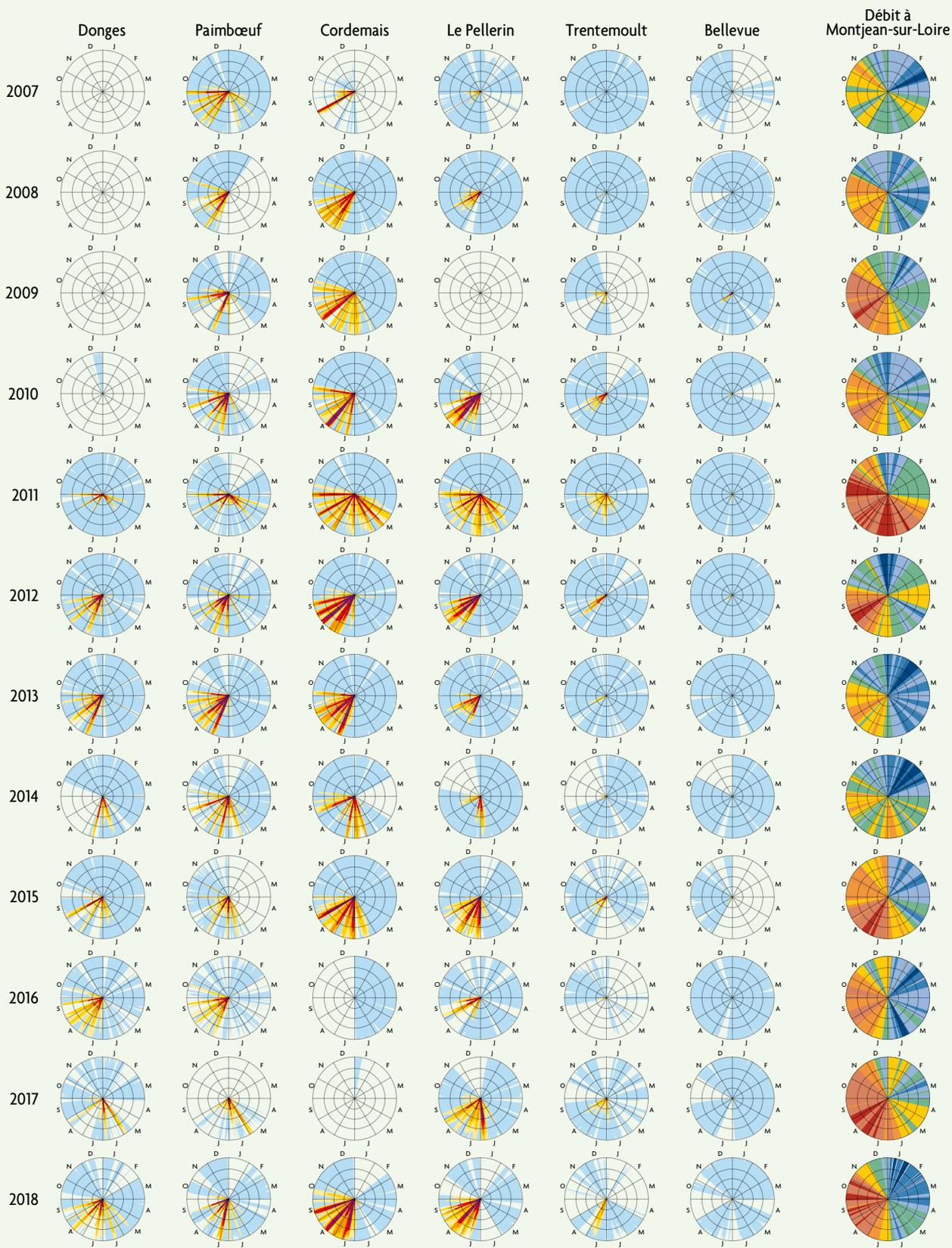
Douze ans de mesures permettent de définir les conditions pour lesquelles, entre 2007 et 2018, les hypoxies sont soit toujours mesurées, soit jamais mesurées, en combinant les 3 principaux facteurs régissant la concentration en oxygène dans l'estuaire : la température de l'eau, le débit et le coefficient de marée.



FIGURE L2 A1 - 1



Distribution journalière des concentrations en oxygène dissous par an et par station et débit à Montjean-sur-Loire



Concentration en oxygène dissous (mg/l)

- plus de 5
- entre 4 et 5
- entre 3 et 4
- entre 2 et 3
- entre 1 et 2
- moins de 1
- pas de mesure



Débit (m³/s)

- plus de 2500
- entre 1500 et 2500
- entre 850 et 1500
- entre 500 et 850
- entre 300 et 500
- entre 200 et 300
- entre 150 et 200
- moins de 150

## Des hypoxies parfois longues ayant un impact sur les poissons

Les déficits en oxygène sont préjudiciables aux poissons présents dans l'estuaire de la Loire, que les espèces soient d'origine marine ou fluviale, estuariennes ou migratrices. L'analyse des périodes d'hypoxies mesurées entre 2007 et 2018 montre que toutes les espèces de poissons sont potentiellement impactées, à un moment ou un autre de leur stade de développement.

FIGURE L2 A1 - 3

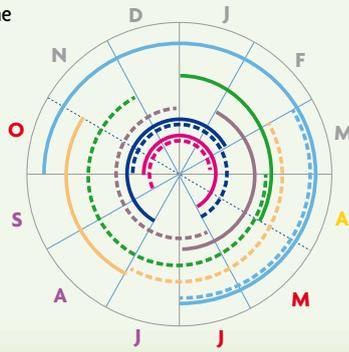
Périodes de présence dans l'estuaire des espèces migratrices en regard des concentrations minimales en oxygène

Concentrations moyennes journalières minimales en oxygène entre 2007 et 2018 :

- A : > 5 mg/l
- A : < 4 mg/l
- A : < 2 mg/l
- A : < 1 mg/l

— Adultes  
- - - Juvéniles

- Saumon
- Mulet
- Flet
- Aloses
- Anguille
- Lamproies



Source : GIP Loire Estuaire

L'intensité des déficits n'est pas le seul facteur à prendre en compte pour analyser l'impact sur la faune piscicole, **la durée ainsi que l'étendue géographique des crises d'hypoxie sont également des facteurs essentiels.**

TABLEAU L2 A1 - 1

Durée maximale des périodes d'hypoxie en nombre de jours consécutifs

O <sub>2</sub> (mg/l)	Donges	Paimbœuf	Cordemais	Le Pellerin	Trentemoult	Bellevue
< 5	8j 14h	8j 4h	22j 11h	27j 22h	1j 7h	4h
< 4	4j	5j 1h	11j 18h	10j 6h	9h45	3h15
< 3	12h	2j 14h	7j 17h	5j 1h	7h15	2h30
< 2	9h	21h45	5j 2h	10h30	3h30	0h30
< 1	6h15	7h30	1j 11h	9h	0h15	0h

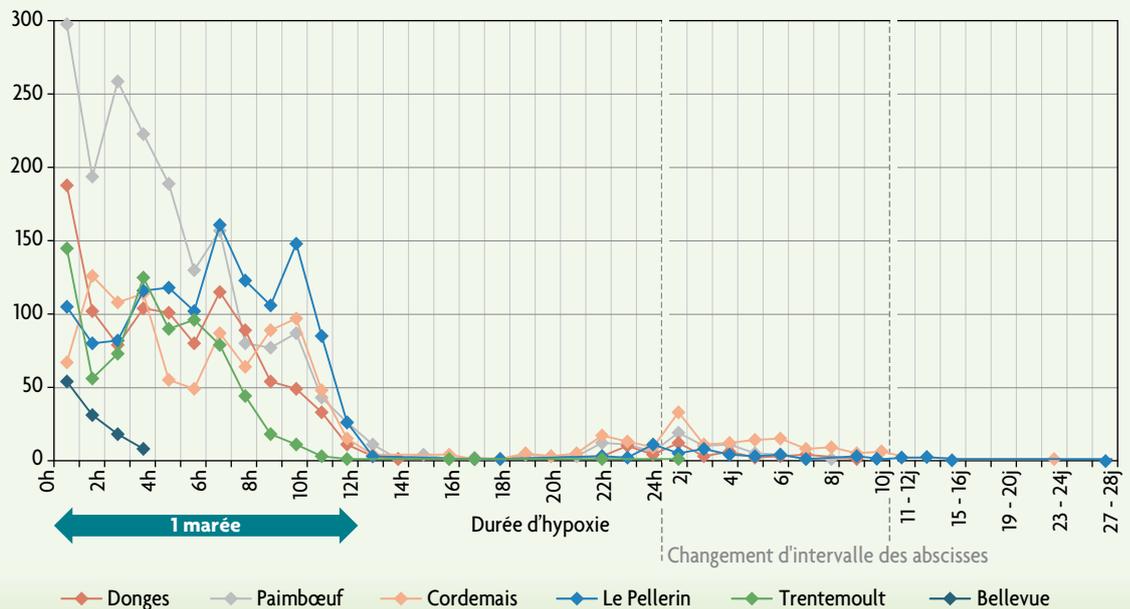
Sources : EDF/GIP Loire Estuaire

**Cordemais et Le Pellerin sont les stations où les plus longues périodes d'hypoxies sont mesurées.** Lors de l'été 2018, la concentration en oxygène est restée 7 semaines presque sans interruption (dont près d'un mois en continu) en-dessous de 5 mg/l au Pellerin et plus d'un mois à Cordemais. C'est généralement en 2018 que les hypoxies les plus longues sont observées, notamment à Cordemais, où les durées maximales sont le plus souvent mesurées (à noter que les données 2017 pour cette station sont indisponibles). Ce phénomène est lié au faible débit estival cette année-là et surtout aux températures particulièrement élevées.

GRAPHIQUE L2 A1 - 2

Nombre d'hypoxies < 5mg/l en fonction de leur durée en heure(s) ou jour(s)

Nombre de périodes d'hypoxie



Changement d'intervalle des abscisses

- Donges
- Paimbœuf
- Cordemais
- Le Pellerin
- Trentemoult
- Bellevue

Sources : EDF/GIP Loire Estuaire

Même pour les espèces de poissons adoptant un comportement d'évitement, des hypoxies aussi longues ont potentiellement des conséquences importantes, comme un retard migratoire pouvant avoir un impact sur la reproduction. Des études menées dans l'estuaire de la Loire par le Muséum National d'Histoire Naturelle ont notamment montré que l'enclenchement de la migration vers l'amont des aloses et des anguilles est lié à l'augmentation des teneurs en oxygène dissous dans l'eau.

La plupart des périodes d'hypoxie ont une durée inférieure à un cycle de marée soit 12 heures. Si elles sont plus longues, elles durent alors la plupart du temps au moins une journée entière. C'est à Paimbœuf que le plus grand nombre de périodes d'hypoxie est mesuré, mais celles-ci sont en général de courte durée. À partir d'une durée supérieure à 6h et jusqu'à un cycle de marée, les crises d'hypoxie sont plus fréquentes à la station du Pellerin, alors que Cordemais est la station où se produisent la majorité des hypoxies de plusieurs jours consécutifs.

## Plus les hypoxies sont étendues géographiquement, moins elles durent

Les hypoxies sont, certaines années, mesurées sur l'ensemble des 6 stations simultanément, mais toujours sur une durée courte, en lien avec le cycle de marée. **Les minima d'oxygène ne sont en effet pas observés au même moment du cycle selon les stations, concomitamment aux pics de turbidité** : autour de la basse mer en aval de Cordemais et autour de la pleine mer à l'amont.

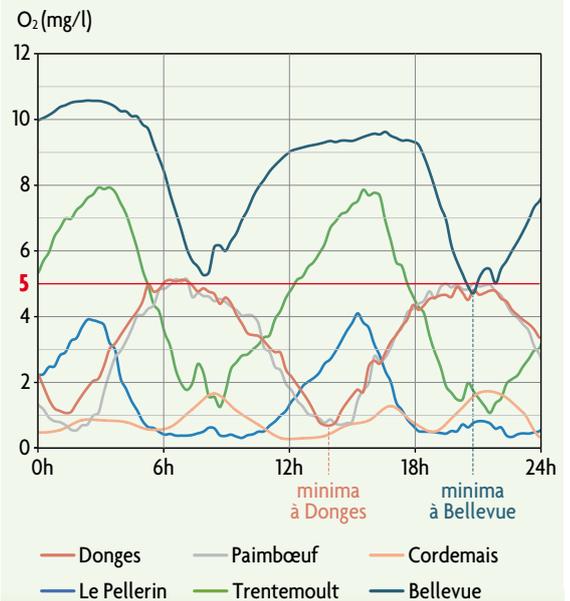
En aval de Nantes, des hypoxies plus longues, mais toujours d'une durée inférieure au cycle de marée, sont mesurées sur les 5 stations entre Trentemoult et Donges. La durée des hypoxies simultanées sur ces 5 stations est généralement comprise entre 4 et 5h lorsque que le débit est compris entre 150 m<sup>3</sup>/s et 200 m<sup>3</sup>/s.

**Des hypoxies dépassant la durée d'une marée, s'étendent du Pellerin à Donges parfois pendant plusieurs jours**, avec un maximum d'au moins 3 jours en août 2012 et 2018 (données partielles sur certaines stations).

En conditions de vives eaux et étiage à 250 m<sup>3</sup>/s, les hypoxies sont déjà moins étendues. Elles sont mesurées sur 3 stations en aval de Nantes (stations variables selon le moment de la marée) et durent moins d'une marée.

GRAPHIQUE L2 A1 - 3

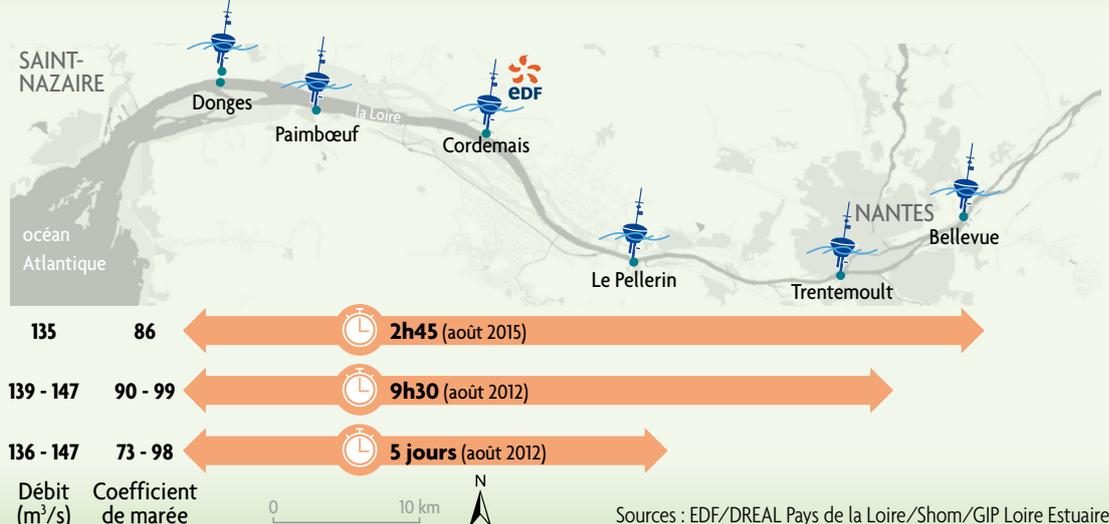
Concentrations en oxygène aux différentes stations SYVEL le 19 août 2012



Sources : EDF/GIP Loire Estuaire

FIGURE L2 A1 - 4

Durée maximale des hypoxies les plus étendues entre 2007 et 2018



Sources : EDF/DREAL Pays de la Loire/Shom/GIP Loire Estuaire

## Sources & Méthodes

Le réseau de mesures en continu SYVEL (Système de Veille dans l'Estuaire de la Loire) est composé de 6 stations (5 jusqu'en 2010) : Bellevue, Trentemoult, Le Pellerin, Cordemais (appartenant à EDF), Paimbœuf et Donges. Elles mesurent toutes les 10 à 15 min depuis 2011 (toutes les heures pour Cordemais) la conductivité (salinité), la turbidité (concentration en matières en suspension), la concentration en oxygène dissous et la température de l'eau en sub-surface (- 1 m). La station de Donges, installée en 2011, est équipée d'un deuxième point de mesures à 4 m sous la surface, dont les données ne sont pas présentées dans ce suivi. Sur la période 2007 - 2018,

**le pourcentage de temps avec des données exploitables est de 75% en moyenne sur l'ensemble des stations.**

Les réseaux de surveillance effectuent des mesures mensuelles de suivi de la qualité des eaux, à basse mer, sur lesquelles se basent ce suivi. Seules les mesures acquises dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) par l'Ifremer depuis 2008 sont réalisées autour de la pleine mer. Quant à la station de Montjean-sur-Loire, les mesures sont trimestrielles de janvier à avril et bimensuelles de mai à décembre. C'est également à cette station qu'est mesuré, par la DREAL Pays de la Loire, le débit de la Loire utilisé dans cette synthèse.

## Des références

Les résultats des études du Muséum National d'Histoire Naturelle dans l'estuaire de la Loire sont présentés notamment dans deux articles publiés dans la revue « Estuarine, Coastal and Shelf Science » :

Tétard, S. et al., 2015. « Poor oxic conditions in a large estuary reduce connectivity from marine to freshwater habitats of a diadromous fish. »

Bultel, E. et al., 2013. « Migration behaviour of silver eels (*Anguilla anguilla*) in a large estuary of Western Europe inferred from acoustic telemetry. »

L'impact des hypoxies sur les poissons est évoqué par Jérôme de Watteville et Mario Lepage de l'INRAE (ex-IRSTEA) en 2013 dans leur « Étude bibliographique sur les causes de l'hypoxie et ses conséquences sur le vivant. Etude de cas : L'estuaire de la Garonne ».



UNION EUROPÉENNE  
Fonds Européen de  
Développement Régional

Cette opération est cofinancée par l'Union européenne. L'Europe s'engage sur le bassin de la Loire avec le Fonds Européen de Développement Régional.



Cette fiche appartient au CAHIER 2002 INDICATEURS édité par le GIP Loire Estuaire • 22, rue de la Tour d'Auvergne 44200 NANTES • Tél. : 02 51 72 93 65 • Télécopie : 02 51 82 35 67 • E-mail : [gip@loire-estuaire.org](mailto:gip@loire-estuaire.org) • Rédaction : GIP Loire Estuaire • Maquette : Jean-Luc Hubiche • Réalisation / illustrations : Com'caféine, GIP Loire Estuaire • Crédits photo : Ph. Graindorge, GERPHO - Iglésias S.P., 2014. Handbook of the marine fishes of Europe and adjacent waters (A natural classification based on collection specimens, with DNA barcodes and standardized photographs), Volume II (Actinopterygians), Provisional version 10, 01 March 2014. 246p. <http://iccanam.mnhn.fr> - GIP Loire Estuaire • Impression : Offset 5 Edition • ISSN : en cours.