



## La dynamique de la vie

L'eau support de vie

# L'oxygène de l'eau

# L'oxygène de l'eau

## Résumé

Les déficits en oxygène dissous (hypoxies) dans la Loire sont majoritairement observés en aval de Nantes, toujours pour un débit inférieur à 970 m<sup>3</sup>/s entre 2007 et 2010. Les plus intenses sont mesurés pendant les vives eaux estivales lorsque la température de l'eau est élevée et que la matière organique est massivement remise en suspension.

L'oxygène est indispensable aux organismes aquatiques ; les hypoxies leur sont donc préjudiciables. Les poissons ont une capacité de résistance variant selon les espèces. Certaines adoptent un comportement d'évitement dès que la concentration en oxygène est inférieure à 5 mg/l, mais quand elle passe sous 1 mg/l, la survie de toutes les espèces, même à court terme, est menacée.



## Objectif définition

L'oxygène est présent dans l'eau sous forme dissoute, d'autant plus que les eaux sont froides et douces : la salinité et surtout la température régissant la capacité de l'eau à emmagasiner de l'oxygène. L'oxygène est indispensable à la respiration des animaux et des végétaux aquatiques. Quand il vient à manquer (hypoxie), les conditions de vie pour les organismes aquatiques deviennent défavorables, surtout pour les poissons (ichtyofaune), plus sensibles que le macrobenthos (mollusques, vers puis crustacés). **Ces déficits sont liés à une consommation de l'oxygène due**

**à la dégradation de grandes quantités de matière organique (MO) contenues dans la masse turbide de l'estuaire.** Les températures élevées favorisent cette dégradation et augmentent aussi la demande biologique en oxygène des poissons.

La matière organique végétale produit de l'oxygène en présence de lumière (photosynthèse), mais la turbidité des eaux de l'estuaire, causée par la remise en suspension de l'ensemble des matières solides, limite la photosynthèse, réduisant ainsi la production d'oxygène.

	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
	de 1 à 2 mg/l	Mortalité pour la plupart des espèces
Seuil léthal	moins de 1 mg/l	

Pour une même espèce de poisson, les seuils critiques et létaux varient en fonction de son stade de développement, les juvéniles étant plus sensibles que les adultes.

Par ailleurs, l'oxygène intervient dans de nombreuses réactions chimiques. Par exemple, les hypoxies favorisent la transformation des nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) en ammoniacque dont la forme gazeuse (NH<sub>3</sub>) est toxique pour les organismes aquatiques. Or, plus l'hypoxie est sévère, plus la toxicité de l'ammoniacque augmente.

La première édition de la fiche indicateur (2002) présente, des Ponts-de-Cé à Saint-Nazaire, le suivi des concentrations en oxygène dissous de 1996 à

2000. Les données mensuelles sont fournies par les réseaux de surveillance de la qualité des eaux. Des campagnes de mesures ponctuelles réalisées en 2000 ont également été exploitées pour appréhender le fonctionnement de l'estuaire en aval de Nantes (variabilité longitudinale, stratification).

L'objectif de la présente fiche est de mettre à jour le suivi des variations d'oxygène dissous dans la Loire, de la Maine à la mer, de 1996 à 2010, et de caractériser les hypoxies, préjudiciables à l'ichtyofaune, dans le secteur aval, grâce aux données haute fréquence produites par le réseau SYVEL depuis 2007.

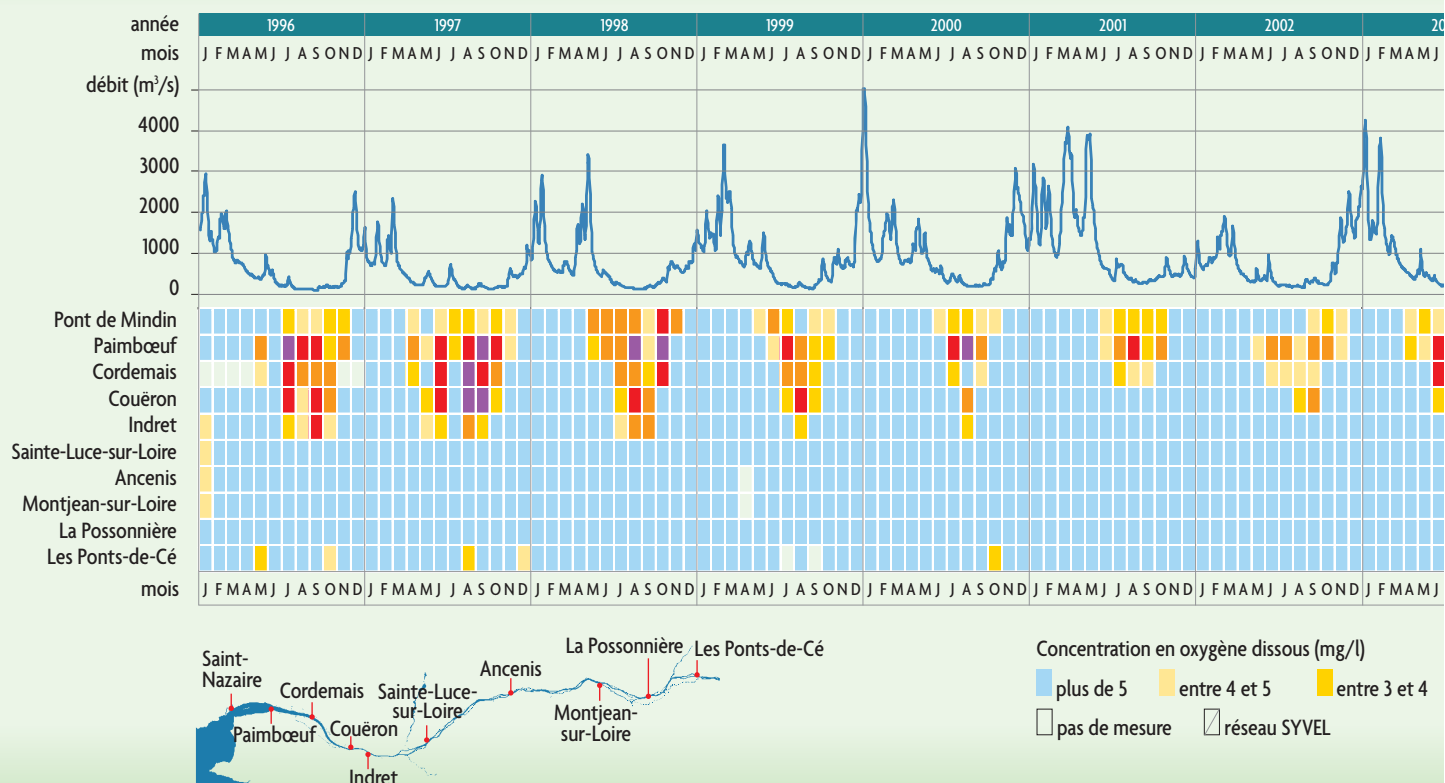
## Interprétation

### De la Maine à la mer, un suivi épars

De 1996 à 2010, en amont de Nantes, les concentrations en oxygène dissous sont généralement supérieures à 5 mg/l. Les poissons

d'eau douce comme la brème, le gardon, la perche franche ou encore le hotu disposent de conditions satisfaisantes à l'accomplissement de leur cycle

Evolution des concentrations en oxygène



**de vie. Les hypoxies, préjudiciables à l'ichtyofaune, sont régulièrement mesurées entre Indre et Paimbœuf.**

De 1996 à 2004, la situation paraît s'améliorer. Les trois premières années de suivi, les étiages (périodes de basses eaux) sont longs et/ou sévères avec des hypoxies marquées. Par la suite, les déficits en oxygène sont de moindre intensité, de plus courte durée et d'emprise géographique plus restreinte, l'étiage caniculaire de 2003 faisant exception. En effet, en août 2003, l'hypoxie ne touche plus seulement l'estuaire. Elle est mesurée de Montjean-sur-Loire à Saint-Nazaire. L'étiage prolongé et les températures élevées de l'eau de la Loire (25°C dès le mois de juin et 29°C en août) expliquent l'étendue et la durée de la crise d'hypoxie - proche de 1 mg/l dès juin à Paimbœuf et Cordemais - renforcée par une eutrophisation marquée (surproduction algale) en secteur fluvial.

Au-delà de 2004, la fragmentation des données, imputable à la réorganisation des réseaux de surveillance de la qualité des eaux, rend l'interprétation difficile. Les stations de Paimbœuf et Couëron n'étant plus suivies, la chronique est ici complétée avec les données du réseau SYVEL aux stations de Paimbœuf et Le Pellerin.

Ainsi, après 2004, deux périodes se distinguent :

- En 2005 et 2006, les étiages sévères provoquent des déficits en oxygène ponctuellement importants entre Nantes et Saint-Nazaire. Des concentrations inférieures à 1 mg/l sont enregistrées en juillet à Cordemais.
- A partir de 2007, la pluviométrie estivale plus importante et les étiages plus courts et peu marqués limitent la durée et l'intensité des hypoxies. Les températures sont aussi plus basses et ne dépassent pas 23°C.

**Des hypoxies estivales localisées dans la partie aval de l'estuaire**

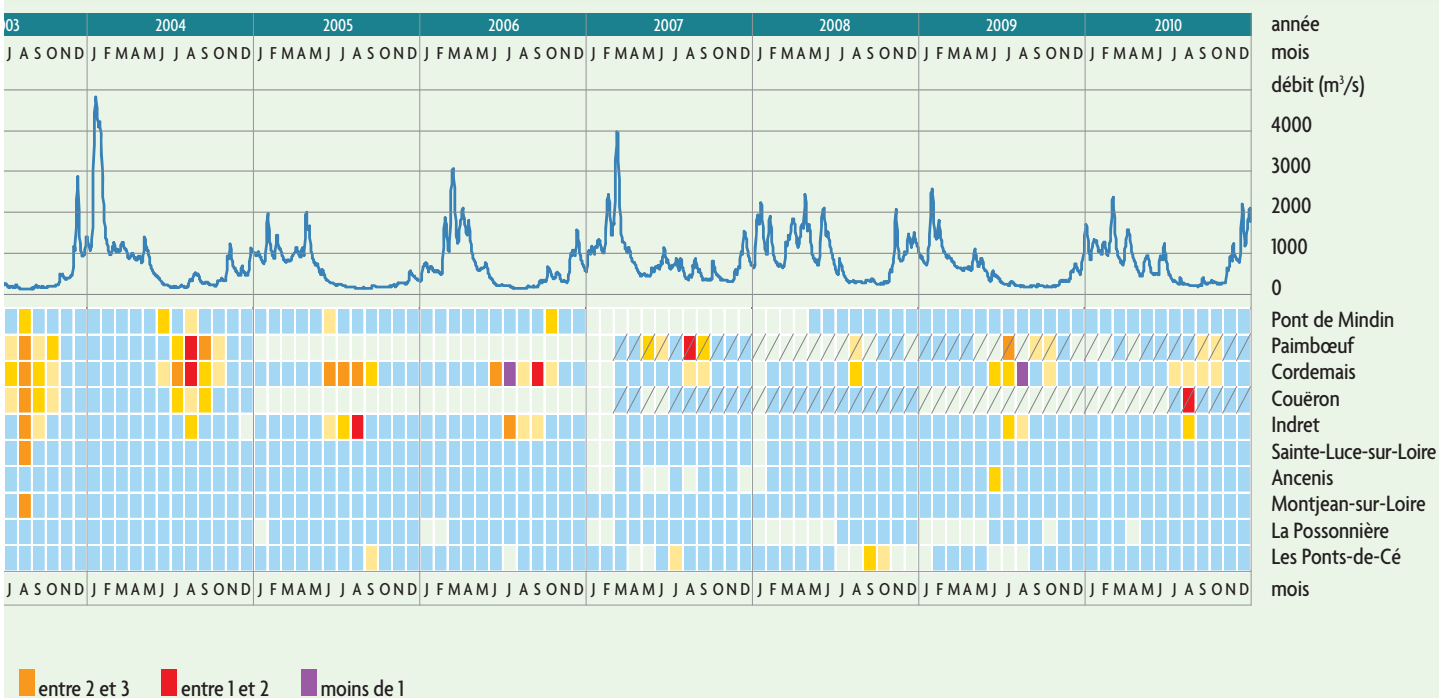
La variabilité saisonnière des teneurs en oxygène dissous est en relation avec les apports en eau douce dans l'estuaire.

En période de hautes eaux - hiver et printemps - le renouvellement des eaux (diminution du temps de résidence des particules dans l'estuaire) et dans une moindre mesure l'agitation (aération de la colonne d'eau) favorisent l'oxygénation. A cela s'ajoute l'effet des températures basses à cette période.

Néanmoins, chaque pic de crue entraîne une légère baisse des teneurs en oxygène dissous, liée au lessivage des sols et à la remise en suspension de la MO.

**Les hypoxies sont fréquentes en été et en automne lorsque les températures sont plus élevées. Elles sont particulièrement marquées lors des forts coefficients de marée (vives eaux) qui remobilisent davantage la vase et la MO déposées sur le fond de la Loire.**

## Évolution des débits et des hypoxies entre 1996 et 2010



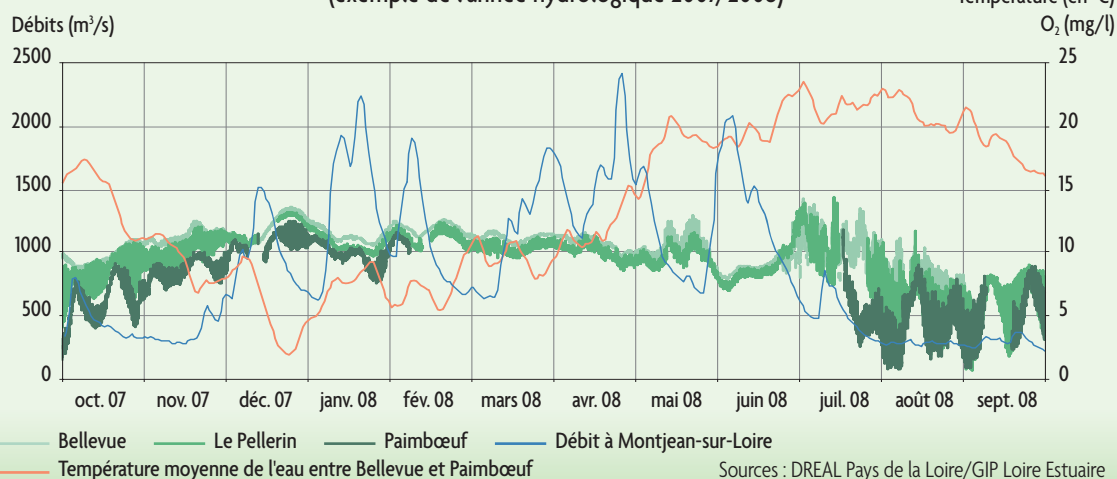
Sources : réseaux de surveillance (DDASS 44/DDASS 49/ARS 49/IFREMER/SMN-CQE/DDTM 44/Conseil Général 44)/DREAL Pays de la Loire/GIP Loire Estuaire

**Les hypoxies ne se produisent pas toute l'année et pas en tout point de l'estuaire.** De 2007 à 2010, quel que soit le coefficient de marée, **les hypoxies sont mesurées en-deçà d'un débit de 970 m<sup>3</sup>/s,**

**jamais au-delà.** En année moyenne, ces conditions hydrologiques s'observent près d'un tiers du temps, au cours duquel il n'y a potentiellement pas de phénomène d'hypoxie entre Nantes et Saint-Nazaire.

### GRAPHIQUE L2 A1 - 2

Evolution des concentrations en O<sub>2</sub> dans l'estuaire en relation avec le débit et la température de l'eau (exemple de l'année hydrologique 2007/2008)



Sources : DREAL Pays de la Loire/GIP Loire Estuaire

A Paimbœuf et Cordemais, la concentration en oxygène dissous est toujours inférieure à 5 mg/l lorsque 3 conditions sont réunies, à savoir : un coefficient de marée supérieur à 90, une température de l'eau au-dessus de 19°C et un débit inférieur à 350 m<sup>3</sup>/s. Au Pellerin, les conditions sont différentes. Des teneurs en

oxygène supérieures à 5 mg/l ont été mesurées pour des températures supérieures à 23°C et des débits inférieurs à 300 m<sup>3</sup>/s lors de vives eaux. Pour ces 3 stations, des températures inférieures à 11,5°C à Paimbœuf, 12°C à Cordemais et 15,7°C au Pellerin garantissent une oxygénation de l'eau supérieure à 5 mg/l.

La période 2007-2010 est marquée par une succession d'étés humides, exception faite de l'été 2009 pour lequel les données ne sont que très partiellement disponibles.

**Les hypoxies sont plus fréquentes au mois d'août.** Elles sont surtout mesurées aux stations du Pellerin, de Cordemais et de Paimbœuf. A Cordemais, où les déficits sont le plus souvent enregistrés, les teneurs en oxygène dissous sont inférieures à 5 mg/l pendant 66% du mois d'août, en moyenne sur 2007-2010, et 88% sur la période de mesure effective. Le seuil léthal est atteint pendant 5% du mois (7% sur la période de mesure effective).

Les stations les plus amont (Bellevue et Trentemoult) n'enregistrent qu'à de rares occasions, au mois d'août, des concentrations inférieures à 5 mg/l.



FIGURE L2 A1 - 1

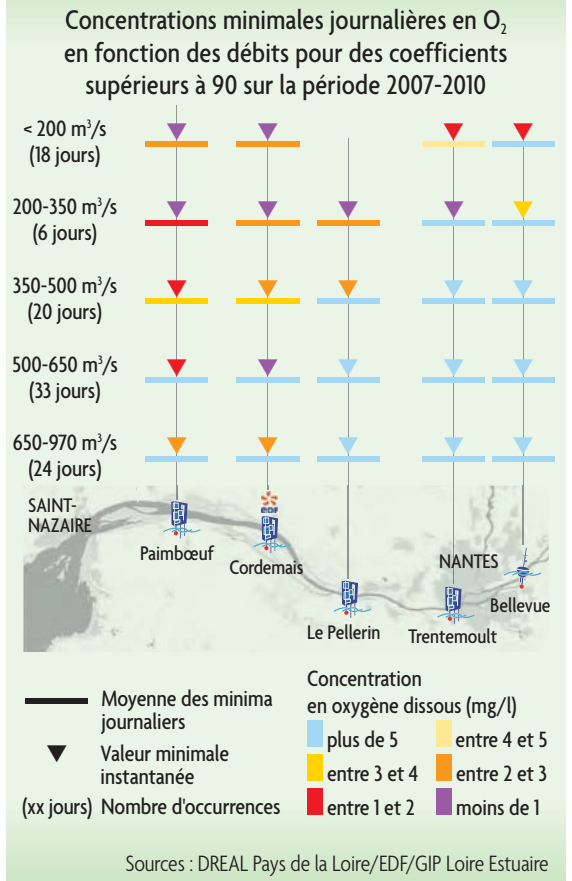
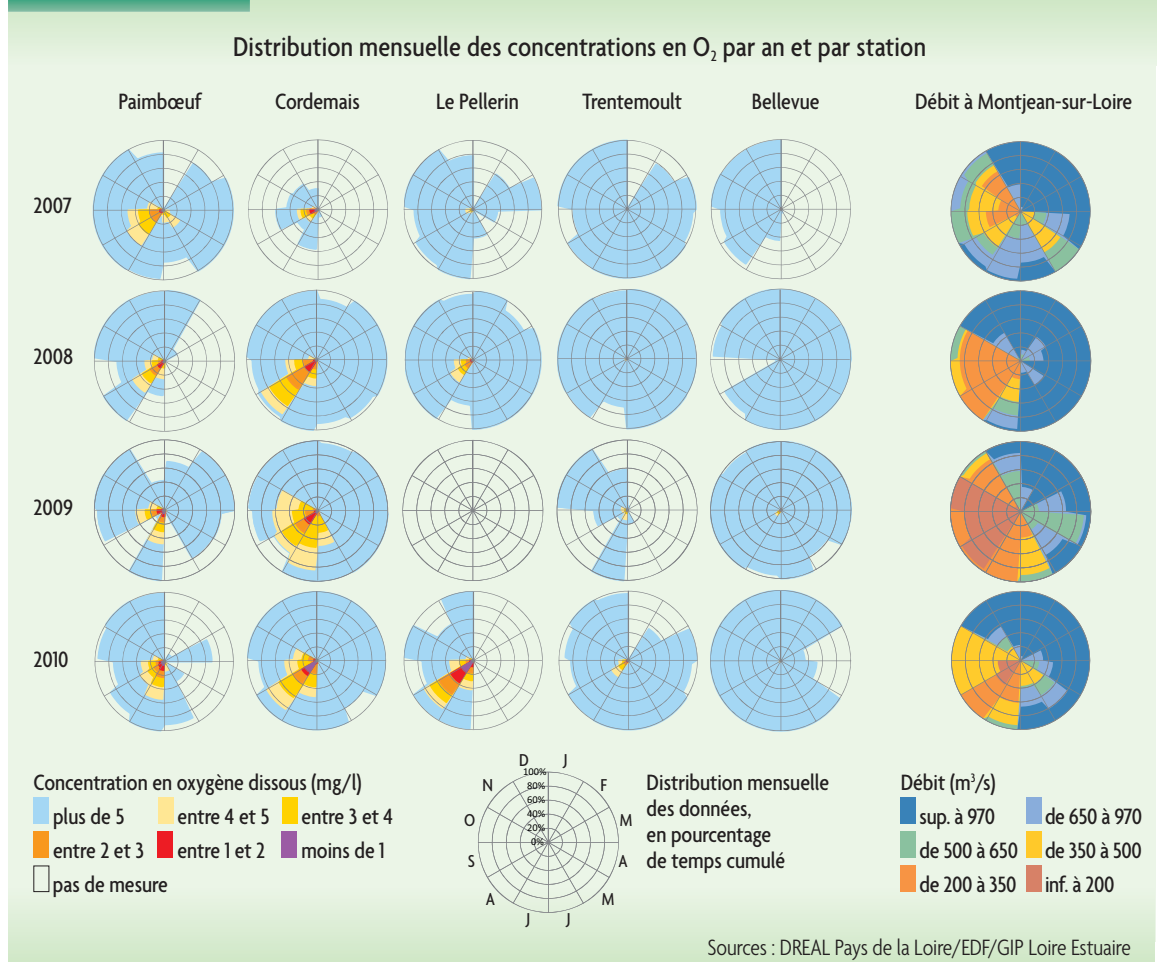


FIGURE L2 A1 - 2



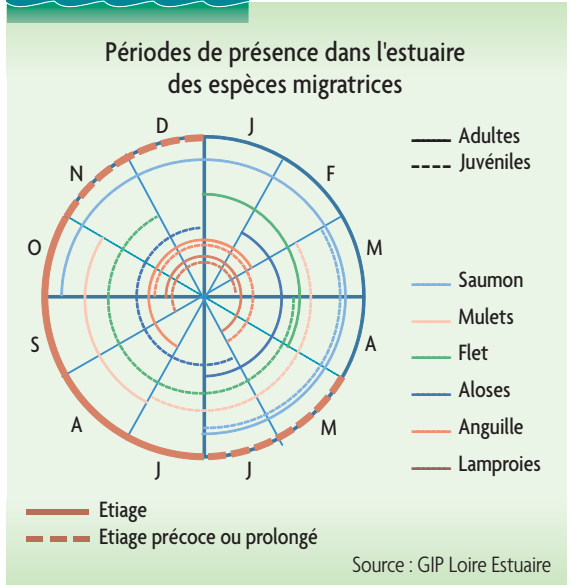
## La majorité des espèces de poissons potentiellement impactées par les hypoxies

Rares sont les espèces de poissons qui effectuent l'ensemble de leur cycle biologique dans les eaux estuariennes, mais beaucoup l'utilisent pour se nourrir, se réfugier ou transiter. Selon leur période de présence, elles sont plus ou moins impactées par les hypoxies.

Les gobies, espèces exclusivement estuariennes, sont présents toute l'année. Les adultes d'éperlan remontent au-delà de Nantes, généralement entre octobre et janvier, pour se reproduire. Les juvéniles sont présents majoritairement entre avril et août pendant leur dévalaison. Le bar et la sole sont des espèces marines dont les juvéniles se nourrissent en estuaire, en aval de Cordemais. Ils sont présents principalement entre juin et novembre pour la sole et entre mai et septembre pour le bar.

**En été, à l'exception du saumon, toutes les espèces sont susceptibles d'être impactées par les déficits en oxygène dissous.**

FIGURE L2 A1 - 3



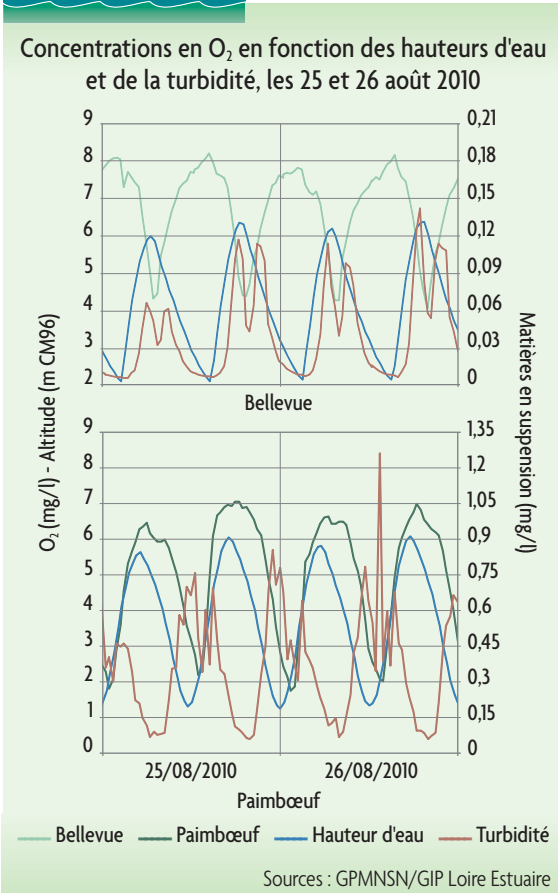
## Variabilité de l'oxygénation de l'eau à l'échelle de la marée

Les variations d'oxygène sont liées au cycle de marée et les minima ne sont pas observés au même moment du cycle selon les stations. Ce phénomène est principalement lié au transport de la masse d'eau : la consommation d'oxygène ayant lieu dans le bouchon vaseux situé la plupart du temps en

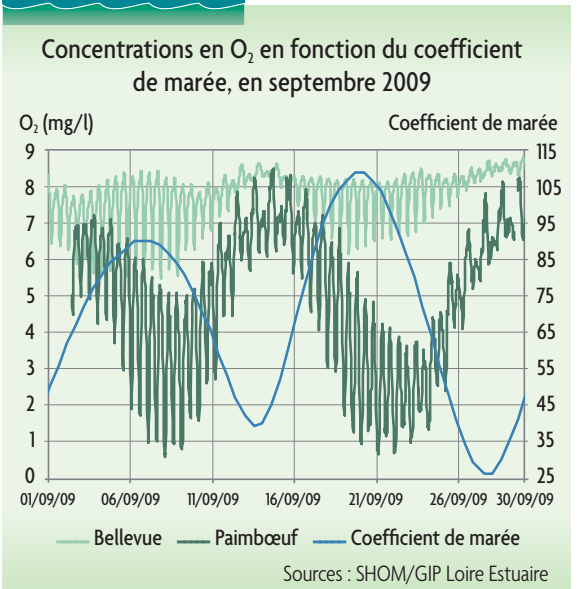
aval, le flot transporte la masse d'eau désoxygénée vers l'amont, ce qui entraîne une chute de l'oxygène à pleine mer locale. Alors que pour la station la plus aval, le déficit est maximal à basse mer locale, il l'est à pleine mer pour la station la plus amont, concomitamment aux pics de turbidité.

Les déficits en oxygène et l'amplitude des variations sont plus importants pour des coefficients de marée élevés.

GRAPHIQUE L2 A1 - 3



GRAPHIQUE L2 A1 - 4



L'amplitude varie selon les saisons. Elle est plus importante en été, favorisée par des températures élevées, et s'explique par 2 phénomènes : d'une part, une production d'oxygène provenant de la forte productivité phytoplanctonique et d'autre

part, une consommation d'oxygène due à la dégradation de grandes quantités de MO consécutive à la mort des algues venant de l'amont ou produites localement. Lorsque la dégradation dépasse la production se crée alors un déficit en oxygène.

**L'amplitude de variation d'oxygène dissous maximale de la période d'enregistrement, de 2007 à 2010, atteint 7,5 mg/l, à la station du Pellerin le 6 août 2008, au cours d'une même marée de coefficient 75.** En comparaison, en Gironde, elle est de 2,63 mg/l pour un coefficient de 99.

TABLEAU L2 A1 - 1

Amplitude de variation des concentrations en O<sub>2</sub> (mg/l) en fonction du coefficient de marée\*

	Paimbœuf	Cordemais	Le Pellerin	Trentemoult	Bellevue
Mortes eaux (40-50)	0 à 4	0 à 3	0 à 2,5	0 à 4	0 à 4
Vives eaux (90-100)	1 à 5,5	0 à 6	0 à 7	0 à 6	0 à 6
Maximum (tous coef.)	6	6	7,5	6	7

\* à partir des données disponibles sur la période 2007-2010

Sources : EDF/GIP Loire Estuaire

## Caractérisation des hypoxies et risques pour les poissons

Peu d'études existent sur la capacité des poissons à adapter leur comportement aux crises d'hypoxies. Cependant, la durée de ces crises est un facteur essentiel ; des déficits continus de quelques heures ou de quelques jours auront un impact très différent, la capacité de résistance variant aussi selon l'espèce.

en cas d'hypoxie ou bien d'attente de conditions plus optimales dans le cas des migrateurs.

TABLEAU L2 A1 - 2

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

O <sub>2</sub> (mg/l)	Paimbœuf	Cordemais	Le Pellerin	Trentemoult	Bellevue
< 5	5,6	7,75	<b>14,9</b>	0,35	0,17
< 4	2,56	7,12	<b>7,17</b>	0,25	0,15
< 3	0,42	<b>5,71</b>	2,02	0,19	0,1
< 2	0,31	<b>3,08</b>	0,44	0,13	0,04
< 1	0,23	<b>1,5</b>	0,38	0,02	0

\* à partir des données disponibles sur la période 2007-2010

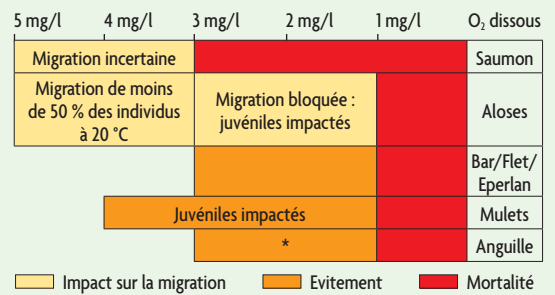
Sources : EDF/GIP Loire Estuaire

A partir des données disponibles, l'été 2010 est celui pour lequel les hypoxies sont les plus marquées. Elles sont centrées sur Cordemais pendant les quinze premiers jours d'août : une semaine quasiment continue en-dessous de 2 mg/l dont plus de 3 jours presque sans interruption sous le seuil légal. L'hypoxie est même visible jusqu'à Trentemoult avec des mesures inférieures à 2 mg/l quelques heures durant.

**Ces conditions peuvent être pénalisantes pour les poissons, les conséquences allant d'effets négatifs sur la croissance ou de retard migratoire, à la létalité.** Certaines espèces peuvent adopter un comportement d'évitement

FIGURE L2 A1 - 4

Conséquences des hypoxies sur certaines espèces de poissons par rapport à leur période de présence dans l'estuaire



Impact sur la migration (orange) Evitement (jaune) Mortalité (rouge)

\* L'évitement des zones hypoxiques entraîne un retard de migration potentiel pour l'anguille argentée.

Source : GIP Loire Estuaire

Le seuil sensible à 5 mg/l est souvent atteint en juin et octobre (bornes de la période de présence potentielle du saumon), parfois plusieurs semaines d'affilée.

L'évitement des juvéniles peut impacter la fonction de nourricerie de l'estuaire et donc la croissance des poissons tandis que le blocage de la migration les oblige à rester dans une zone éventuellement peu propice ou peu adaptée. Un retard trop important peut avoir un effet négatif sur la reproduction si les individus n'atteignent pas les zones de frai à temps.

De plus, même en condition d'hypoxie légère, toutes les fonctions métaboliques sont susceptibles d'être perturbées.

Le seuil critique est abaissé si l'acclimatation est progressive, mais les variations d'oxygène dissous au cours d'une marée sont à l'inverse plutôt rapides.

concentration en oxygène dissous et la température de l'eau en sub-surface. De 1983 à 2000, le GPMNSN et EDF gèrent 6 stations (réseau SYMEL), dont 3 au maximum ont fonctionné simultanément. Les paramètres suivis sont : température, pH, conductivité et oxygène dissous.

L'estuaire de la Gironde est équipé, depuis 2004, de 4 stations composant le réseau MAGEST géré par GEO-Transfert et financé par un consortium de 12 partenaires. Sur l'estuaire de la Seine, le GIP Seine Aval travaille à la mise

en place d'un nouveau réseau de mesures en continu.

Les réseaux de surveillance effectuent des mesures mensuelles de suivi de la qualité de l'eau, généralement à basse mer et en vives eaux. Seules les mesures acquises dans le cadre de la 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.

TABLEAU L2 A1 - 3

Réseaux fournisseurs des mesures d'oxygène dissous de la Maine à la mer

Station	pk	1997-2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Pont de Mindin/ Saint-Nazaire	2	SMN-CQE	SMN-CQE	SMN-CQE	SMN-CQE		DCE/IFREMER	DCE/IFREMER	DCE/IFREMER
Paimbœuf	15	SMN-CQE	SMN-CQE				SYVEL (GIPLÉ)		
Cordemais	25	SMN-CQE	SMN-CQE	SMN-CQE	SMN-CQE	CG 44	DCE/IFREMER* CG 44	DCE/IFREMER* CG 44	DCE/IFREMER* CG 44
Cordemais	26						SYVEL (GIPLÉ)		
Le Pellerin	38						SYVEL (GIPLÉ)		
Couëron	40	SMN-CQE	SMN-CQE						
Indret	45	SMN-CQE	SMN-CQE	SMN-CQE	SMN-CQE	CG 44	DCE/IFREMER* CG 44	DCE/IFREMER* CG 44	DCE/IFREMER* CG 44
Trentemoult	52						SYVEL (GIPLÉ)		
Bellevue	62						SYVEL (GIPLÉ)		
Sainte-Luce-sur-Loire	62	SMN-CQE	SMN-CQE	SMN-CQE	SMN-CQE	CG 44	DCE/IFREMER* CG 44	DCE/IFREMER* CG 44	DCE/IFREMER* CG 44
Ancenis/Saint-Géréon	89	DDASS 44 SMN-CQE	DDASS 44 SMN-CQE	DDASS 44 SMN-CQE	DDASS 44 SMN-CQE	CG 44	DCE/IFREMER* CG 44	DCE/IFREMER* CG 44	DCE/IFREMER* CG 44
Montjean-sur-Loire	117	SMN-CQE	SMN-CQE	SMN-CQE	SMN-CQE	SMN-CQE	SMN-CQE	SMN-CQE	DDTM 44
La Possonnière	132	SMN-CQE	SMN-CQE	SMN-CQE	SMN-CQE	SMN-CQE	SMN-CQE	SMN-CQE	DDTM 44
Les Ponts-de-Cé	147	DDASS 49	DDASS 49	DDASS 49	DDASS 49	DDASS 49	DDASS 49	DDASS 49	ARS 49

\* données non utilisées

Source : GIP Loire Estuaire

Des inventaires de l'ichtyofaune sont réalisés dans l'estuaire de la Loire (Masse d'Eau de Transition) en 2006, 2009, 2010, dans le cadre de la DCE, deux fois par an, au printemps et en automne. Le GIP Loire Estuaire a complété ces

données par un inventaire effectué en hiver 2010 afin d'avoir une idée plus précise de la présence des poissons dans l'estuaire tout au long de l'année.

Des références

Pour les relations entre la vie piscicole et l'oxygène, trois études sont à consulter : « La vie piscicole dans les masses d'eau de transition : proposition d'une grille de qualité pour la température, l'oxygène dissous, la salinité et la transparence » du CEMAGREF Bordeaux en 2009, « Les besoins en oxygène des poissons marins et leur comportement en conditions hypoxiques » de Person-Le Ruyet, en 1986, ainsi que « Oxygène dissous et toxicité de l'ammoniaque en zones estuariennes: seuils d'acceptabilité »

de Beaupoil et Bornens en 1997, qui étudie aussi les effets de l'ammoniaque sur les poissons.

Pour l'estuaire de la Loire, deux études menées au début des années 1990 sont à retenir : « Influence du bouchon vaseux sur les variations des concentrations en oxygène dissous. Cas de l'estuaire de la Loire » par Romana et al. en 1990, et « The influence of seasonal salinity and turbidity maximum variations on the nursery function of the Loire estuary » par Marchand en 1993.