



COMMISSION
OSPAR

Teneurs en oxygène dissous près du fond marin dans la mer du Nord au sens large, les mers celtiques et le golfe de Gascogne et la côte ibérique

Évaluation de l'Indicateur Commun



OSPAR

BILAN DE SANTÉ 2023

2022

Teneurs en oxygène dissous près du fond marin dans la mer du Nord au sens large, les mers celtiques et le golfe de Gascogne et la côte ibérique

OSPAR Convention

The Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic (the “OSPAR Convention”) was opened for signature at the Ministerial Meeting of the former Oslo and Paris Commissions in Paris on 22 September 1992. The Convention entered into force on 25 March 1998. The Contracting Parties are Belgium, Denmark, the European Union, Finland, France, Germany, Iceland, Ireland, Luxembourg, the Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland and the United Kingdom

Convention OSPAR

La Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est, dite Convention OSPAR, a été ouverte à la signature à la réunion ministérielle des anciennes Commissions d'Oslo et de Paris, à Paris le 22 septembre 1992. La Convention est entrée en vigueur le 25 mars 1998. Les Parties contractantes sont l'Allemagne, la Belgique, le Danemark, l'Espagne, la Finlande, la France, l'Irlande, l'Islande, le Luxembourg, la Norvège, les Pays - Bas, le Portugal, le Royaume - Uni de Grande Bretagne et d' Irlande du Nord, la Suède, la Suisse et l'Union européenne.

Contributeurs

Auteurs principaux : Michelle Devlin, Liam Fernand et Kate Collingridge

Avec le soutien des groupes suivants : Groupe de travail pour la révision et l'application de la Procédure commune, du Groupe intersessionnel par correspondance sur l'eutrophisation, du Groupe intersessionnel par correspondance sur la modélisation de l'eutrophisation et les substances dangereuses et du Comité Substances dangereuses et eutrophisation (HASEC).

Traduction : Isabelle Wojtyniak (MCIL, MITI). Quicksilver Language Services Ltd

Citation

Devlin, M., Fernand, L. et Collingridge, K. 2022. *Teneurs en oxygène dissous près du fond marin dans la mer du Nord au sens large, les mers celtiques et le golfe de Gascogne et la côte ibérique*. Dans : OSPAR, 2023 : Bilan de santé 2023 pour l'Atlantique du Nord-Est. Commission OSPAR, Londres. Disponible à l'adresse : oap.ospar.org/fr/evaluations-ospar/bilan-de-sante/2023/evaluations-des-indicateurs/teneurs-en-oxygene-dissous-pres-du-fond-marin/

Contents

Message clé	3
Contexte (version succincte)	3
Contexte (version étendue)	5
Méthode d'évaluation	7
Résultats (version succincte)	13
Résultats (version étendue)	14
Conclusion (version succincte)	29
Conclusion (version étendue)	29
Lacunes dans les connaissances (version succincte)	30
Lacunes dans les connaissances (version étendue)	30
Métadonnées d'évaluation	33

Message clé

Dans la plupart des zones évaluées, les teneurs en oxygène dissous près du fond marin sont supérieures à la valeur seuil de 6 mg/l. On a toutefois vu un appauvrissement en oxygène dans les zones Est de la mer du Nord, Côtes du Kattegat et Kattegat (grandes profondeurs), mais les niveaux des teneurs en oxygène dissous se sont améliorés dans les zones du Kattegat.

Contexte (version succincte)

L'objectif stratégique d'OSPAR, en ce qui concerne l'eutrophisation, consiste à lutter contre l'eutrophisation en limitant les apports de nutriments et de matières organiques à des niveaux qui n'entraînent pas d'effets néfastes pour le milieu marin, afin de réaliser la vision d'OSPAR : un Atlantique du Nord-Est propre, sain et biologiquement divers (OSPAR, 2021). La teneur en oxygène dissous fait partie d'une série [d'indicateurs d'eutrophisation](#) comprenant les apports de nutriments et les teneurs en nutriments, la teneur en chlorophylle et la teneur en oxygène dissous. Lorsque les indicateurs sont évalués et pris en compte ensemble, cette méthode en plusieurs étapes constitue la Procédure commune OSPAR de diagnostic de l'eutrophisation (**Figure 1**).

Un enrichissement excessif de l'eau de mer par les nutriments peut entraîner des proliférations d'algues (phytoplancton), ce qui risque d'avoir pour conséquence une perturbation indésirable de l'équilibre des organismes dans l'écosystème marin (**Figure 2**). Cette perturbation indésirable consiste, entre autres, en des changements dans la composition et l'étendue de la flore et de la faune et en un épuisement de l'oxygène dû à la décomposition des matières organiques accumulées produites par les communautés de phytoplancton ou d'algues au cours de leurs saisons de croissance. L'appauvrissement en oxygène peut entraîner des changements de comportement, voire la mort de poissons ainsi que de la faune et de la flore de fond. Les effets négatifs sur la faune de fond réduisent la quantité de nourriture disponible pour les poissons, et donc la productivité des populations de poissons. On considère que des teneurs en oxygène supérieures à 6 mg/l sont favorables à la vie marine et causent peu de problèmes, tandis que des teneurs inférieures à 2 mg/l (hypoxie, c.-à-d. insuffisance d'oxygène) sont à l'origine de problèmes graves (Best et al., 2007 ; Levin et al., 2009). Les observations en mer Baltique montrent que lorsque la teneur en oxygène des eaux de fond est très faible, les seuls organismes capables de prospérer sont les bactéries qui vivent sur et dans le fond marin.



Figure 1 : Prélèvement d'échantillons d'eau de mer pour déterminer la teneur en oxygène dissous (© Mike Best, Environment Agency, Royaume-Uni)

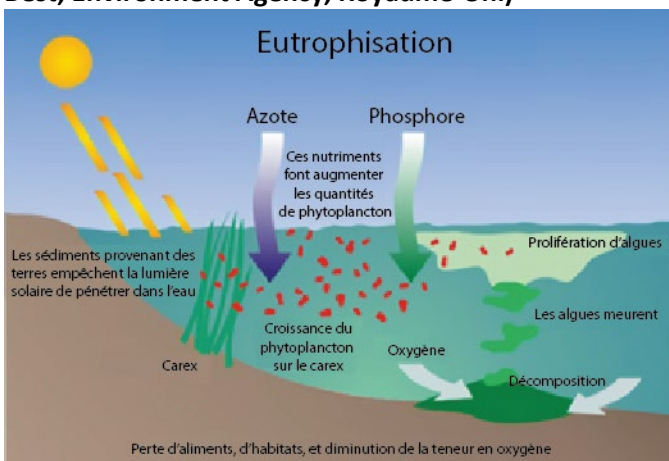


Figure 2 : Représentation schématique des conditions eutrophes. La teneur en oxygène dissous augmente considérablement pendant la journée, mais elle est fortement réduite après la tombée de la nuit, par les algues qui respirent et par les micro-organismes qui se nourrissent de la masse croissante d'algues mortes. Lorsque les niveaux d'oxygène dissous diminuent au point d'atteindre des niveaux hypoxiques, les poissons et les autres animaux marins suffoquent.

Contexte (version étendue)

[La Stratégie pour le milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est \(NEAES\) à l'horizon 2030](#) contient l'objectif stratégique de la Commission OSPAR, qui est de parvenir à des mers propres pour l'Atlantique du Nord-Est d'ici à 2030. Il s'agit notamment de lutter contre l'eutrophisation, « en limitant les apports de nutriments et de matières organiques à des niveaux qui n'entraînent pas d'effets néfastes pour le milieu marin » (OSPAR, 2021). Cet objectif stratégique exige que l'évaluation de l'eutrophisation soit fondée sur les conséquences écologiques de l'enrichissement en nutriments, et pas seulement sur l'enrichissement en nutriments ; en d'autres termes, il s'agit de trouver des preuves fiables d'une croissance accélérée des algues et/ou des macrophytes causée par un enrichissement anthropique en nutriments, entraînant des perturbations indésirables. L'eutrophisation est diagnostiquée à l'aide des critères harmonisés d'OSPAR concernant les apports, les concentrations et les ratios de nutriments, les concentrations de chlorophylle a, les espèces indicatrices de phytoplancton, les macrophytes, les niveaux d'oxygène dissous, l'incidence de la mortalité des poissons et les changements dans le zoobenthos (OSPAR, 2022). Comme il n'existe pas d'indicateur unique des perturbations causées par l'eutrophisation marine, OSPAR applique une méthode en plusieurs étapes utilisant les critères harmonisés.

La teneur en oxygène dissous a été évaluée en tant qu'indicateur des effets indirects de l'enrichissement en nutriments, et car c'est l'un des quatre indicateurs communs. De faibles niveaux d'oxygène (hypoxie) ou des niveaux d'oxygène nuls (anoxie) peuvent apparaître lorsque des quantités excessives de matières organiques sont décomposées par des micro-organismes, par exemple en cas de proliférations d'algues importantes. Au cours de ce processus de décomposition, de l'oxygène dissous dans l'eau est consommé, et il en résulte de faibles niveaux d'oxygène qui peuvent avoir un impact sur les organismes marins. De faibles niveaux d'oxygène apparaissent souvent au fond de la colonne d'eau et leurs impacts touchent principalement les organismes qui vivent dans les sédiments, bien qu'ils puissent avoir des répercussions sur tout le système marin.

L'appauvrissement saisonnier en oxygène peut être un processus naturel localisé, en particulier dans les endroits où il y a une stratification saisonnière de la colonne d'eau, de l'eau se retrouvant ainsi isolée en dessous des eaux oxygénées situées plus haut. Bien que l'appauvrissement en oxygène puisse être un effet direct de l'enrichissement en nutriments, d'autres pressions viennent souvent compliquer l'identification des liens de causalité entre les perturbations et l'enrichissement en nutriments. La température, la salinité et la profondeur sont considérées comme des cofacteurs qui déterminent la sensibilité d'une zone à des augmentations de l'apport de nutriments, les processus naturels pouvant être intensifiés par des apports supplémentaires de nutriments.

L'appauvrissement en oxygène résulte de la décomposition de matières organiques accumulées produites par les algues sous forme de phytoplancton ou les communautés de macroalgues. Les changements de la teneur en oxygène près du fond sont donc déterminés par la quantité de matières organiques apportée au fond marin, la vitesse de décomposition par les bactéries et le taux de renouvellement de l'eau, et l'apport de nutriments peut ainsi être un facteur clé dans la réduction de la teneur en oxygène. Les niveaux d'oxygène dissous connaissent des fluctuations périodiques, saisonnières et même dans le cadre de l'écologie quotidienne naturelle de la ressource aquatique, ce qui rend difficile la surveillance et la mesure des changements aigus.

La diminution de la teneur en oxygène dissous (dénommée ci-après OD) est une menace pour de nombreuses zones côtières et marines à travers le monde. L'hypoxie (teneur en oxygène dissous inférieure à 2 mg/l) et des teneurs en oxygène dissous moins sévèrement appauvries peuvent avoir des effets létaux et sublétaux sur divers organismes benthiques et poissons, ce qui peut entraîner une perte de biodiversité dans les écosystèmes impactés. L'augmentation de l'hypoxie induite par l'eutrophisation a produit des zones mortes, touchant des écosystèmes marins qui représentent une superficie de plus de 245 000 km² à travers le monde

(Diaz et Rosenberg, 2008). Il n'est pas toujours facile de montrer toute l'étendue de la diminution de la teneur en oxygène, et la modélisation peut être une méthode utile pour indiquer les endroits où un appauvrissement en oxygène dissous est susceptible de se produire. Des mesures telles que l'indice d'insuffisance d'oxygène (*Oxygen Deficiency Index* (ODI) fondé sur des paramètres clés (profondeur, période de stratification et production primaire nette) permettent d'identifier les zones susceptibles d'être appauvries en oxygène dissous (Grosse et al., 2016). Les zones stratifiées peu profondes sont les plus sensibles à l'appauvrissement en oxygène, car elles comportent un volume limité d'eau sous la thermocline, qui peut être appauvri en oxygène au cours de la période estivale, avant que les tempêtes d'automne ne fragmentent la thermocline. Ces zones comprennent par exemple l'Est de la mer du Nord (ENS), et ce sont des zones sensibles à l'appauvrissement en oxygène (**Figure a**).

Les pressions anthropiques qui s'exercent sur les masses d'eau peuvent créer de nouvelles zones d'appauvrissement en oxygène, ou aggraver la situation dans des zones où les teneurs en oxygène ont naturellement tendance à être basses. Par exemple, l'augmentation des apports de nutriments dissous a produit une région dans laquelle, sous l'effet des pressions anthropiques, la teneur en oxygène dissous est inférieure à 2 ml/l (2,9 mg/l) dans de vastes zones (70 000 km²) de la mer Baltique (Conley et al., 2002). D'importantes quantités de nutriments ont été déversées dans la mer Noire, et 90 % du volume de celle-ci est classé dans la catégorie « anoxique » (Mee, 1992). On voit apparaître de nouvelles zones d'hypoxie dans le monde entier (Chan et al., 2008).



Figure a : Évaluation modélisée des zones susceptibles de présenter une insuffisance d'oxygène, avec au moins un jour par an en dessous de 6 mg/l. Extrait de Ciavatta 2016.

Les apports de nutriments ont toujours été considérés comme un facteur clé de l'insuffisance en oxygène dans l'Atlantique du Nord-Est. Les apports de nutriments provenant de régions adjacentes de la mer du Nord et de l'Atlantique du Nord-Est ont contribué à la progression de l'hypoxie dans les années 1980 (Brockmann et Eberlein, 1986 ; Brockmann et al., 1988 ; Artioli et al., 2008 ; Gröger et al., 2013). On a également constaté que les dépôts atmosphériques d'azote étaient liés aux teneurs en oxygène près du fond dans le sud-est de la mer du Nord. En mer du Nord, les conditions hypoxiques des années 1980 ont causé la mort d'espèces benthiques et démersales (von Westernhagen et Dethlefsen, 1983, Peeters et al., 1995).

L'océan Atlantique du Nord-Est est une vaste zone dynamique, comportant certaines zones plus sensibles à l'insuffisance d'oxygène. En appliquant un modèle physico-biogéochimique, Große et al. (2016) ont établi un lien entre la stratification thermique saisonnière distincte dans la mer du Nord méridionale et la présence de couches sous-thermoclines minces dans la région de profondeur intermédiaire, une production primaire nette (PPN) locale élevée près de la surface jouant un rôle clé dans cette sensibilité. Différentes études ont montré que l'apparition de ces conditions correspondant à de faibles niveaux d'OD changeait au cours de la stratification saisonnière (Peeters et al., 1995), sous l'effet de l'eutrophisation résultant de charges excessives en nutriments dans les fleuves (Brockmann et Eberlein, 1986 ; Brockmann et al., 1988 ; Peeters et al., 1995). Les sources d'azote influencent fortement la dynamique de l'oxygène dans la mer du Nord méridionale et dans le sud-est de la mer du Nord.

À l'avenir, au cours du changement climatique, si les niveaux de température, de CO₂ et d'hypoxie changent simultanément, cela fera augmenter la sensibilité aux extrêmes environnementaux, comparativement à un changement d'une seule de ces variables. Au fur et à mesure que les quantités de dioxyde de carbone libéré augmentent, en intensifiant l'effet de serre, une grande partie de la chaleur est absorbée par les océans. L'eau ainsi réchauffée peut alors contenir moins d'oxygène. Les scientifiques estiment qu'entre 1960 et 2010, la quantité du gaz dissous dans les océans a diminué de 2 %. Des preuves expérimentales indiquent que lorsque les températures s'élèvent au-dessus des optima thermiques, le seuil de la teneur en oxygène (en pourcentage de saturation) correspondant à l'hypoxie augmente, en raison de la forte élévation de la demande respiratoire. Les périodes de sursaturation peuvent apporter des ressources supplémentaires pour faire face aux périodes durant lesquelles la teneur en oxygène est faible et les températures sont plus élevées. Des travaux réalisés récemment dans la mer Rouge ont démontré qu'une hyperoxie pendant les heures les plus chaudes de la journée améliorerait la capacité de survie d'animaux marins en présence de températures d'eau élevées à extrêmes (Giomi et al., 2019). L'interaction entre la température et l'oxygène doit être prise en compte lors de l'évaluation des changements à long terme dans les eaux situées au large. Cependant, dans les eaux côtières, les processus biologiques sont généralement le principal facteur influençant la teneur en oxygène, plus que la diminution de la solubilité de l'oxygène au fur et à mesure que la température augmente (Meire et al., 2013), et les différentes conditions doivent être prises en compte lors de l'évaluation allant des eaux côtières aux eaux situées au large.

Méthode d'évaluation

On considère que des teneurs en oxygène > 6 mg/l près du fond marin causent peu de problèmes à la vie marine (Best et al., 2007), tandis que des teneurs < 2 mg/l (hypoxie) sont à l'origine de problèmes graves (Levin et al., 2009). Pour les évaluations, les pays d'OSPAR appliquant la Procédure commune (OSPAR 2013-8) ont utilisé des niveaux de 2 à 6 mg/l, appliqués sur des périodes d'évaluation spécifiées. Pour la quatrième application de la Procédure commune (OSPAR 2022-07), cette période s'étend de 2015 à 2020 et, ici encore, on utilise la valeur seuil commune de 6 mg/l. La période d'évaluation comprend la période comprise entre juillet et octobre inclusivement, et donc la période critique de forte croissance biologique. Le processus d'évaluation est illustré dans la **Figure b**. Les données sont d'abord filtrées de façon à inclure uniquement les teneurs en oxygène près du fond marin, dans des eaux où la profondeur est inférieure à 500 m ; en effet, il est peu probable que l'appauvrissement en oxygène dans les eaux plus profondes résulte de l'eutrophisation. Dans le cadre de ce processus d'évaluation, on sélectionne l'échantillon le plus profond dans chaque station et on utilise uniquement les données collectées à moins de 10 m du fond marin. Pour environ un tiers des données, la profondeur de colonne d'eau n'est pas indiquée, et cette lacune est comblée en utilisant les données bathymétriques d'EMODNET comme approximation de la profondeur de l'eau. Un calcul du 5^{ème} centile est appliqué à l'échelle de la zone d'évaluation.

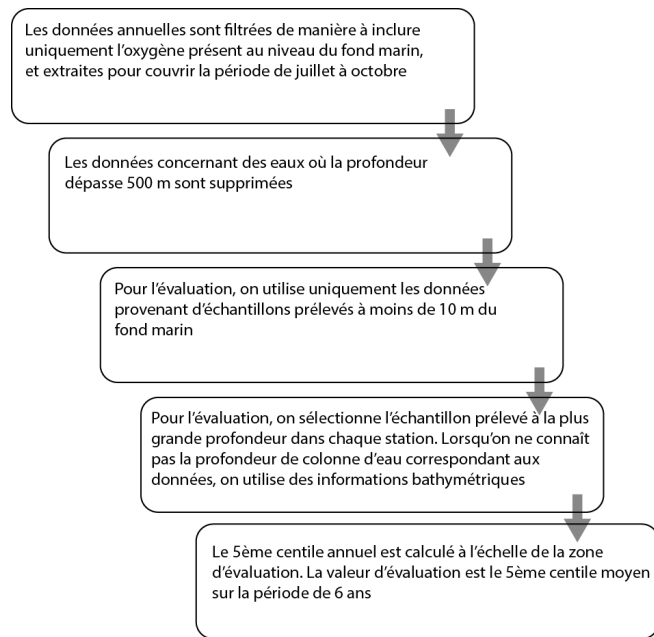


Figure b : Processus de sélection des données sur l'oxygène dissous à l'aide de l'outil COMPEAT.

Les paramètres individuels sont évalués par rapport à leurs niveaux d'évaluation spécifiques à la zone, en calculant un ratio de qualité écologique. Un ratio de qualité écologique (*Ecological Quality Ratio* (EQR)) pour l'oxygène dissous est calculé à partir de la valeur d'évaluation mesurée (OD, moyenne du 5^{ème} centile). Alors que les EQR pour les nutriments et la chlorophylle sont obtenus en divisant les données d'évaluation par la concentration de référence respective, c'est l'inverse pour l'oxygène dissous : la condition de référence est divisée par la valeur d'évaluation. Les EQR sont ensuite mis à l'échelle sur une échelle uniforme (**Figure c**).

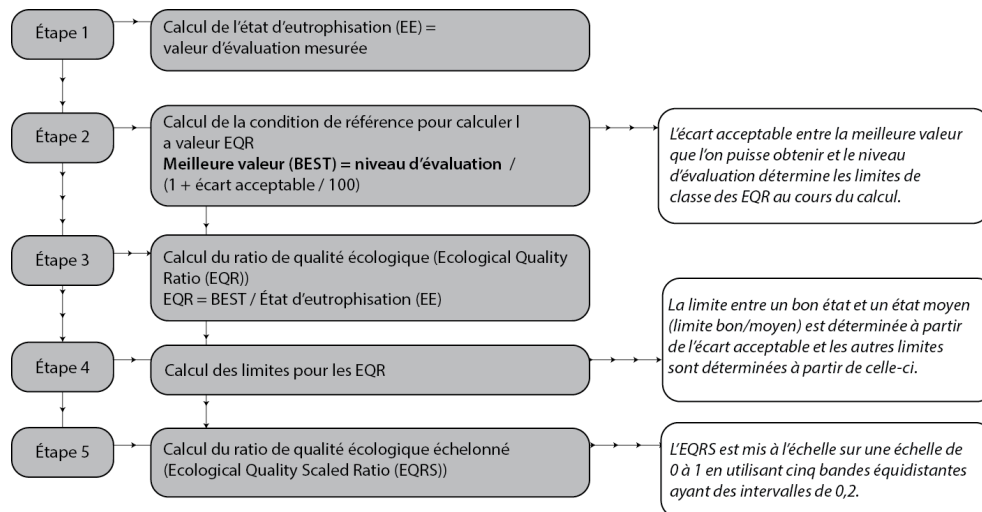


Figure c : Calcul du ratio de qualité écologique échelonné (EQRS) pour la valeur d'évaluation finale.

De plus, lorsque suffisamment de données correspondant à la période de 1990 à 2020 étaient disponibles, des séries chronologiques de la statistique d'évaluation pour chaque année ont été construites et utilisées pour évaluer la direction du changement (augmentation ou diminution de la teneur en oxygène) au moyen d'évaluations des tendances. Les données correspondant à la période de 1990 à 2020 ont été utilisées pour tracer les tendances, afin d'identifier les zones préoccupantes où les niveaux d'oxygène sont en diminution, même dans des zones sans problème, en l'absence de dépassement de la valeur seuil.

On a en outre utilisé des ratios de qualité écologique (EQR) pour examiner des grilles à plus petite échelle à l'intérieur de chaque zone d'évaluation. Cela a permis d'étudier certaines zones plus en détail, dans le cadre du processus de fourniture de données à l'appui. L'évaluation à plus petite échelle aide à identifier les zones à haut risque, en particulier dans les zones d'évaluation plus étendues.

Période d'évaluation de la COMP4

Pour la période correspondant à la quatrième application de la Procédure commune (2015-2020), les données sur les teneurs en oxygène ont été analysées par zone d'évaluation d'OSPAR (Tableau a). La moyenne des teneurs en oxygène au 5^{ème} centile au cours des 7 années de l'évaluation a été calculée sous la forme d'une valeur EQR pour chaque zone d'évaluation, en utilisant cinq plages équidistantes pour les valeurs EQRS (0,2, 0,4, 0,6 et 0,8), représentant un état « mauvais », « médiocre », « moyen », « bon » ou « très bon ». Ces valeurs EQR sont récapitulées sur des cartes pour chaque zone d'évaluation.

Données

Les données sur les teneurs en oxygène dissous pour la période de 1990 à 2020 et toutes les informations à l'appui (p. ex., latitude, longitude, profondeur de colonne d'eau, profondeur de prélèvement des échantillons, température, salinité) ont été obtenues après du [CIEM \(Figure d\)](#). Les ensembles de données ont été extraits de COMPEAT (CIEM) en juin 2022, de 35N à 63N et de 13W à 16E (pour englober la zone maritime d'OSPAR). Les données ont été filtrées pour l'évaluation. Seules les données provenant d'échantillons prélevés à moins de 10 m du fond marin dans les eaux marines pendant la saison de stratification (du 1^{er} juillet au 31 octobre) ont été extraites ; l'échantillon le plus profond a ensuite été sélectionné pour les analyses. Le pourcentage de saturation en oxygène dissous a été calculé à partir des teneurs en oxygène, de la température et de la salinité en suivant la méthode de Benson (Montgomery et al., 1964). Les échantillons prélevés dans la colonne d'eau à plus de 500 m de profondeur n'ont pas été inclus dans les analyses. L'évaluation n'inclut pas les eaux côtières à moins de 1 mile nautique, car les zones visées par la Directive cadre sur l'eau (DCE) n'ont pas été évaluées dans COMPEAT, mais le CIEM possède des données pour certaines Parties contractantes.

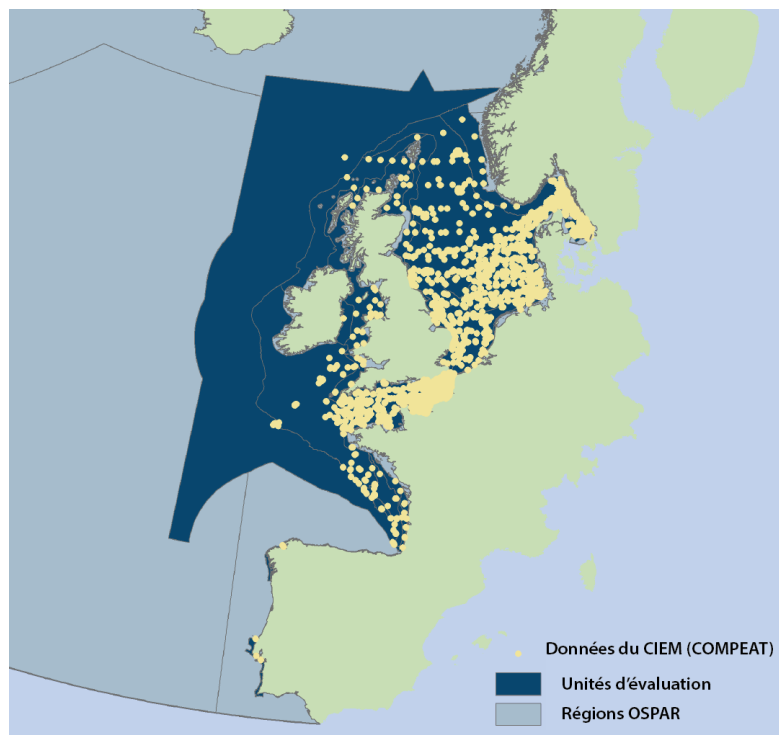


Figure d : Zone évaluée indiquant les sites pour lesquels des données du CIEM étaient disponibles pour la période de 2015 à 2020, filtrées par saison (échantillons prélevés pendant la saison de stratification du 1^{er} juillet au 31 octobre), et par profondeur (échantillons prélevés à moins de 10 m du fond marin), pour obtenir les données spécifiques requises pour les évaluations.

Zones d'évaluation

Deux échelles d'agrégation des données ont été adoptées pour l'évaluation : les zones d'évaluation communes à grande échelle, et un maillage rectangulaire à plus petite échelle.

Les teneurs en oxygène dissous ont été évaluées dans toutes les zones d'évaluation de la COMP4 dans les Régions II, III et IV d'OSPAR (Mer du Nord au sens large, Mers celtiques, et Golfe de Gascogne et côte ibérique). Pour la quatrième application de la Procédure commune, de nouvelles zones d'évaluation harmonisées représentant des zones pertinentes sur le plan écologique ont été définies dans les Régions II, III et IV d'OSPAR. Ces zones d'évaluation peuvent être classées en quatre différents types présentant des caractéristiques distinctes : les panaches fluviaux, les eaux côtières, les zones du plateau continental, et les zones océaniques. Les panaches fluviaux sont des zones situées à proximité et en aval de l'embouchure des grands fleuves, dont la salinité est en général relativement faible et variable, et ils sont fortement influencés par les débits fluviaux. Les eaux côtières sont des zones autres que les panaches fluviaux, et leur salinité moyenne est $\leq 34,5$. Les zones du plateau continental sont des zones ayant une salinité moyenne $> 34,5$ et des profondeurs < 200 m, tandis que les eaux océaniques sont des zones situées au large du plateau continental où la profondeur est > 200 m. Les nouvelles zones d'évaluation (**Figure e**) sont décrites en détail dans OSPAR (2022).

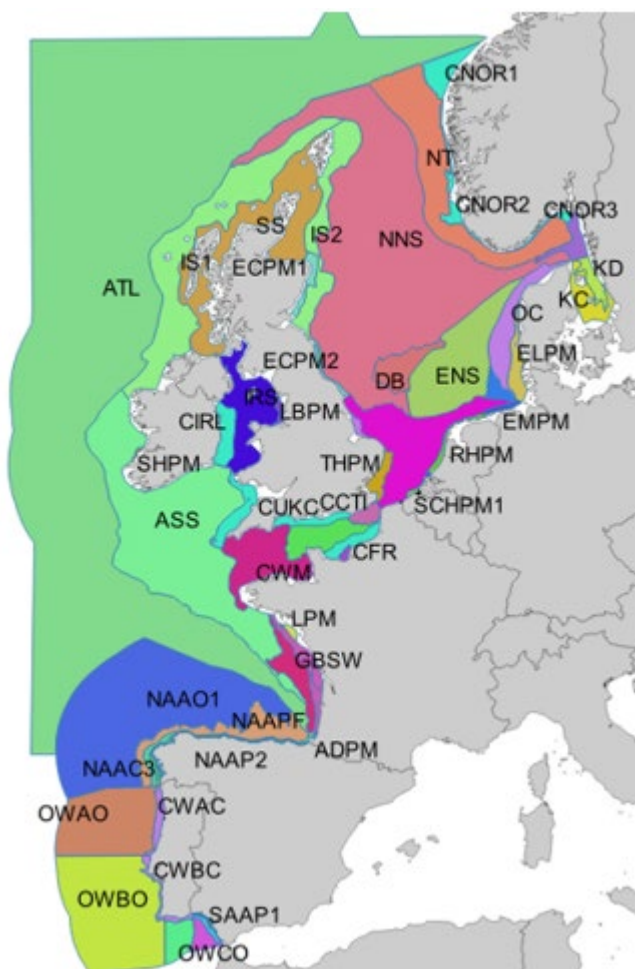


Figure e : Vue d'ensemble des zones d'évaluation pertinentes sur le plan écologique, délimitées d'après la durée de stratification, la salinité de surface moyenne, la profondeur, les particules en suspension et la production primaire. Les codes et les noms des zones d'évaluation sont présentés dans le Tableau a. Disponible via : https://odims.ospar.org/en/submissions/ospar_comp_au_2023_01/

Tableau a : Informations sur les unités d'évaluation de la COMP4. Chaque zone d'évaluation a été classée en quatre grandes catégories qui seront utilisées pour établir des comparaisons entre les évaluations thématiques.

Catégories	Code de la zone	Nom de la zone	Salinité de surface moyenne	Profondeur moyenne	Région d'OSPAR
Unités d'évaluation – panaches fluviaux	ADPM	Panache de l'Adour	34,4	87	IV
	ELPM	Panache de l'Elbe	30,8	18	II
	EMPM	Panache de l'Ems	31,4	19	II
	GDPM	Panache de la Gironde	33,5	34	IV
	HPM	Panache de l'Humber	33,5	16	II
	LBPM	Panache de la baie de Liverpool	30,6	15	III
	LPM	Panache de la Loire	33,8	38	IV
	MPM	Panache de la Meuse	29,3	16	II
	RHPM	Panache du Rhin	31,0	17	II
	SCHPM1	Panache de l'Escaut 1	31,4	13	II
	SCHPM2	Panache de l'Escaut 2	30,9	15	II
	SHPM	Panache du Shannon	34,1	61	III
	SPM	Panache de la Seine	31,8	25	II
	THPM	Panache de la Tamise	34,4	22	II
	Unités d'évaluation – zones côtières	CFR	Côtes de la Manche FR	34,2	33
CIRL		Côtes IRL 3	34,0	65	III
CNOR1		Côtes NOR 1	34,3	190	II
CNOR2		Côtes NOR 2	34,0	217	II
CNOR3		Côtes NOR 3	32,4	171	II
CUK1		Côtes Royaume-Uni 1	34,5	60	III
CUKC		Côtes de la Manche Royaume-Uni	34,8	37	II
CWAC		Eaux côtières AC	-	-	IV
CWBC		Eaux côtières BC	-	-	IV
CWCC		Eaux côtières CC	-	-	IV
ECPM1		Côte Est (mélange permanent) 1	34,8	73	II
ECPM2		Côte Est (mélange permanent) 2	34,5	43	II
GBC		Centre de la Baie d'Allemagne	33,4	39	II
IRS		Mer d'Irlande	33,7	65	III
KC		Côtes du Kattegat	25,7	21	II
KD		Kattegat (grandes profondeurs)	27,6	50	II
NAAC1A		Zone nord-atlantique NOR-NorC1	-	-	IV
NAAC1B		Zone nord-atlantique NOR-NorC1	-	-	IV
NAAC1C		Zone nord-atlantique NOR-NorC1	-	-	IV
NAAC1D		Zone nord-atlantique NOR-NorC1	-	-	IV
NAAC2		Zone nord-atlantique NOR-NorC2	-	-	IV
NAAC3		Zone nord-atlantique NOR-NorC3	-	-	IV
OC		Extérieur des côtes DEDK	-	-	II
SAAC1		Zone sud-atlantique SUD-C1	-	-	IV
SAAC2		Zone sud-atlantique SUD-C2	-	-	IV
SAAP2		Zone sud-atlantique SUD-P2	-	-	IV
SNS	Mer du Nord méridionale	34,3	32	II	
	ASS	Atlantique, stratification saisonnière	35,2	134	III, IV

Unités d'évaluation – plateau continental	CCTI	Plateau continental de la Manche, sous l'influence des marées	34,8	40	II
	CWM	Manche, bon mélange	35,1	77	II, III
	CWMTI	Manche, bon mélange, sous l'influence des marées	35,0	59	II
	DB	Dogger Bank	35,1	28	II
	ENS	Est de la mer du Nord	34,8	43	II
	GBCW	Eaux côtières du golfe de Gascogne	34,6	53	IV
	GBSW	Eaux du plateau continental du golfe de Gascogne	34,9	107	IV
	IS1	Stratification intermittente 1	35,3	138	II, III
	IS2	Stratification intermittente 2	35,1	102	II
	NAAP2	Zone nord-atlantique NOR-NorP2	-	-	IV
	NAAPF	Zone nord-atlantique NOR-Plataforma	-	-	IV
	NNS	Mer du Nord septentrionale	35,0	121	II
	NT	Fosse norvégienne	34,1	349	II
	SAAP1	Zone sud-atlantique SUD-P1	-	-	IV
	SK	Skagerrak	31,8	134	II
SS	Mer d'Écosse	35,1	89	II, III	
Unités d'évaluation – zones océaniques	ATL	Atlantique	35,3	2 291	II, IV, V
	NAAO1	Zone nord-atlantique NOR-NorO1	-	-	IV
	OWAO	Eaux océaniques AO	-	-	IV
	OWBO	Eaux océaniques BO	-	-	IV
	OWCO	Eaux océaniques CO	-	-	IV
	SAAOC	Zone sud-atlantique SUD-OCEAN	-	-	IV

À l'intérieur de chaque zone d'évaluation, des grilles à plus petite échelle (10, 30 ou 60 km selon la taille de la zone d'évaluation) aident à identifier des zones localisées qui peuvent être caractérisées par de faibles niveaux d'oxygène (« points chauds »). L'évaluation de la teneur en OD a été appliquée à chaque section de la grille, en utilisant des données collectées entre juillet et octobre et en calculant le 5^{ème} centile de l'échantillon le plus profond à moins de 10 m du fond marin. Les valeurs EQR moyennes ont été calculées pour chaque année, puis la moyenne au cours de la période d'évaluation a été calculée afin d'obtenir une valeur EQR finale pour chaque carré de la grille. Le résultat par zone est récapitulé sur une carte indiquant la valeur EQR moyenne calculée à partir d'une moyenne des valeurs EQR annuelles.

Évaluations des tendances

Pour la série chronologique complète (1990-2020), les moyennes du 5^{ème} centile des données, par saison de stratification et par année, ont été utilisées pour identifier les tendances dans les données. Les tendances ont été évaluées à l'aide du test non paramétrique d'analyse des tendances de Mann-Kendall (Mann, 1945 ; Kendall, 1975). Le progiciel R d'Emon a été utilisé (Barry et Maxwell, 2015). Lorsque $p < 0,05$, on a supposé qu'il y avait une tendance significative. Lorsque $p > 0,05$, aucune tendance n'a pu être dégagée statistiquement.

Une évaluation des tendances a été réalisée à la fois pour les teneurs en oxygène dissous et pour la saturation en oxygène dissous. Le nombre de points de données disponibles pour les teneurs en oxygène dissous après l'application des filtres est récapitulé pour les quatre périodes d'évaluation dans le **Tableau b**.

Tableau b : Nombre de points de données pour les mesures de la teneur en oxygène dissous, pour chaque période de la COMP et pour chaque zone d'évaluation, après l'application de filtres pour la profondeur et la saison

Description	1990-2000	2001-2006	2006-2014	2015-2020
Panache de l'Adour				1
Atlantique, stratification saisonnière	56	8	68	170
Atlantique	273	20	28	26

Plateau continental de la Manche, sous l'influence des marées		2	3	67
Côtes de la Manche FR		2	1	161
Côtes IRL 3	9			1
Côtes NOR 1		1		
Côtes NOR 2	1	4		
Côtes NOR 3	1	8	1	4
Extérieur des côtes DEDK	464	259	215	340
Côtes Royaume-Uni 1	3		11	11
Côtes de la Manche Royaume-Uni			5	34
Eaux côtières BC (D5)	1			3
Manche, bon mélange	6	6	13	141
Manche, bon mélange, sous l'influence des marées		6	4	134
Dogger Bank	29	101	33	68
Côte Est (mélange permanent) 2				1
Panache de l'Elbe	455	272	213	149
Panache de l'Ems	33	47	84	65
Est de la mer du Nord	211	323	329	678
Centre de la Baie d'Allemagne	83	121	125	233
Eaux côtières du golfe de Gascogne				11
Eaux du plateau continental du golfe de Gascogne				20
Panache de la Gironde				2
Panache de l'Humber				5
Mer d'Irlande	23		19	17
Stratification intermittente 1	41	6	20	26
Stratification intermittente 2	2	18	14	35
Côtes du Kattegat	730	405	517	440
Kattegat (grandes profondeurs)	524	314	372	324
Panache de la baie de Liverpool		1	1	1
Panache de la Meuse	4	31	34	25
Zone nord-atlantique NOR-NorC2(D5)	7			23
Zone nord-atlantique NOR-NorC3(D5)	34			12
Zone nord-atlantique NOR-NorO1(D5)	2			
Zone nord-atlantique NOR-NorP2(D5)	27			
Zone nord-atlantique NOR-Plataforma	23			
Mer du Nord septentrionale	356	743	449	125
Fosse norvégienne	78	54	74	102
Eaux océaniques AO (D5)	4	1		
Eaux océaniques CO (D5)	2	3		
Panache du Rhin	27	17	37	23
Zone sud-atlantique SUD-C1(D5)	4	1		
Zone sud-atlantique SUD-P2(D5)	2			
Panache de l'Escaut 1	23	15	32	32
Panache de l'Escaut 2		4		3
Skagerrak	203	147	167	193
Mer du Nord méridionale	84	201	233	489
Panache de la Seine		13	1	34
Mer d'Écosse	7	26	56	98
Panache de la Tamise		4	26	22

Résultats (version succincte)

Toutes les zones d'évaluation, sauf sept, ont été classées dans les catégories d'état « bon » ou « très bon », la valeur moyenne de la teneur en OD au 5^{ème} centile étant supérieure ou égale à une valeur seuil de 6,0 mg/l pour la période de 2015 à 2020. Pour sept zones d'évaluation, les valeurs moyennes de la teneur en OD au 5^{ème} centile sont inférieures à 6,0 mg/l, comme il est indiqué ci-dessous : Panache de l'Adour (4,4 mg/l), Côtes du Kattegat (3,92 mg/l), Kattegat (grandes profondeurs) (4,70 mg/l), Est de la mer du Nord (5,69 mg/l), Panache de la Gironde (5,3 mg/l), Eaux côtières du golfe de Gascogne (5,56 mg/l) et Eaux du plateau continental du golfe de Gascogne (5,86 mg/l) (**Figure 3**).

Pour les sept zones d'évaluation où le niveau était en dessous de la limite bon/moyen, l'analyse des tendances de Mann Kendall n'indique aucune tendance statistiquement significative, à l'exception de la région Côtes du Kattegat, qui présente une tendance à la hausse ($p < 0,05$), tout comme la région Kattegat (grandes profondeurs), bien que cette tendance ne soit pas statistiquement significative ($p < 0,1$).

Cependant, dans les zones qui ont été classées dans les catégories d'état « bon » ou « très bon », cinq zones d'évaluation ont présenté une diminution statistiquement significative des teneurs en oxygène. Il s'agit notamment des zones Atlantique (ATL), Atlantique, stratification saisonnière (ASS), Panache de la Meuse (MPM), Fosse norvégienne (NT) et Panache de l'Escaut (SCHPM1).

L'utilisation de la saturation, plutôt que de la teneur, compense les tendances de la teneur en oxygène dues à la température. Après une correction en fonction des températures, les zones Panache de la Meuse (MPM), Atlantique (ATL), Fosse norvégienne (NT) et Panache de l'Escaut (SCHPM1) présentent toutes encore une tendance négative statistiquement significative. En outre, la zone Mer du Nord septentrionale (NNS) présente aussi une tendance négative de diminution de la teneur en oxygène.

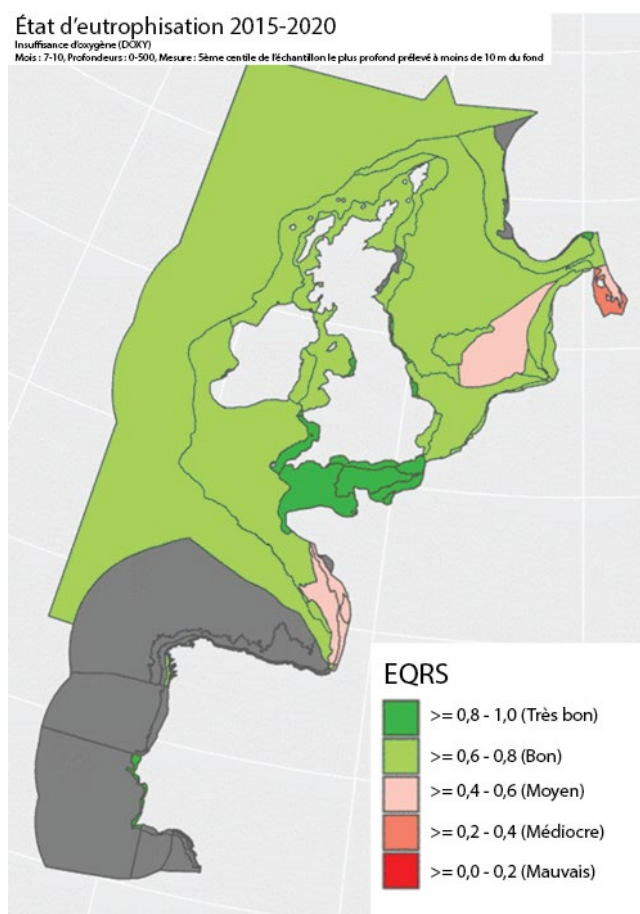
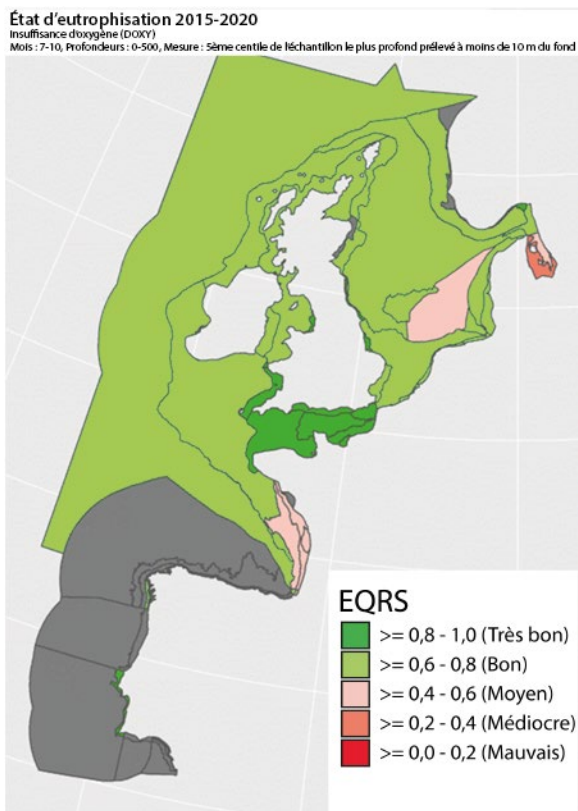


Figure 3 : Résultats de l'évaluation de la teneur en oxygène dissous pour la COMP4. Disponible via : https://odims.ospar.org/en/submissions/ospar_dissolved_oxygen_eqrs_2020_06/

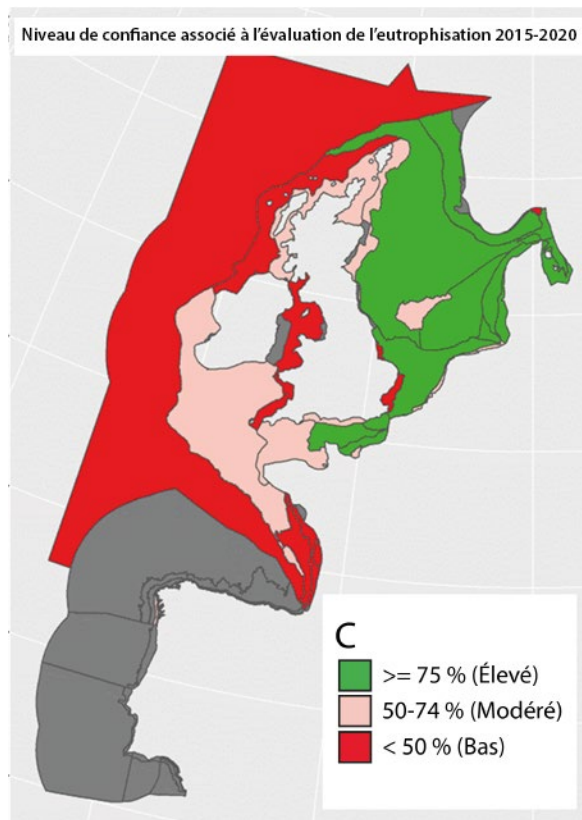
Résultats (version étendue)

Les résultats de l'évaluation de l'indicateur commun « teneur en oxygène dissous » sont présentés à côté du calcul du niveau de confiance pour chaque zone d'évaluation (**Figure f**). Les résultats sont également récapitulés plus en détail dans le **Tableau c**, dans lequel les valeurs EQR sont présentées pour chaque zone d'évaluation.



Disponible via :

https://odims.ospar.org/en/submissions/ospar_dissolved_oxygen_eqrs_2020_06/



Disponible via :

https://odims.ospar.org/en/submissions/ospar_dissolved_oxygen_conf_2020_06/

Figure f : Résultats de l'évaluation et calcul du niveau de confiance pour la teneur en oxygène dissous, pour la COMP4

Les zones d'évaluation pour lesquelles les valeurs sont en dessous de la limite bon/moyen sont représentées en rouge clair (**Tableau c**). Le tableau récapitulatif contient aussi les résultats de l'analyse de Mann Kendall pour toute la période de 1990 à 2020. La dernière colonne est la valeur p, représentée en rouge foncé quand elle est statistiquement significative. Le signe de la statistique MK indique la direction du changement, une valeur négative (-ve) indiquant une diminution des teneurs en OD. Le classement de sept zones d'évaluation indique que celles-ci n'ont pas atteint un bon état, la valeur moyenne de la teneur en OD au 5^{ème} centile étant inférieure à une valeur seuil de 6,0 mg/l pour la période de 2015 à 2020. Pour sept zones d'évaluation, les valeurs moyennes de la teneur en OD au 5^{ème} centile sont inférieures à 6,0 mg/l, comme il est indiqué ci-dessous : Panache de l'Adour (4,4 mg/l), Côtes du Kattegat (3,92 mg/l), Kattegat (grandes profondeurs) (4,70 mg/l), Est de la mer du Nord (5,69 mg/l), Panache de la Gironde (5,3 mg/l), Eaux côtières du golfe de Gascogne (5,56 mg/l) et Eaux du plateau continental du golfe de Gascogne (5,86 mg/l). Toutes les autres zones d'évaluation ont atteint un état « bon » ou « très bon ». Cependant, à côté des sept zones d'évaluation qui n'ont pas atteint un bon état, il y a aussi cinq zones d'évaluation qui présentent une tendance statistiquement significative à la baisse de la teneur en oxygène, nommément les zones Atlantique (ATL), Atlantique, stratification saisonnière (ASS), Panache de la Meuse (MPM), Fosse norvégienne (NT) et Panache de l'Escaut (SCHPM1) (**Tableau c**).

Tableau c : Pour chaque zone, la valeur finale de la teneur en OD au 5^{ème} centile et la valeur EQR calculée lorsque les zones d'évaluation se trouvent en dessous de la limite entre un bon état et un état moyen (limite bon/moyen) (0,6) sont indiquées en rose. Les statistiques de Mann Kendall (MK) sont également présentées, avec le nombre d'années, la statistique MK et la valeur P, pour indiquer la tendance. Une statistique MK -ve indique une tendance à la baisse de la teneur en oxygène, et les valeurs p < 0,05 indiquant une tendance statistiquement significative sont indiquées en rouge.

Code	Zone d'évaluation	5 ^{ème} centile	Nbre	EQR	Nbre d'années	Stat Mk	Valeur P
ADPM	Panache de l'Adour	4,44	1	0,44	1	0	1
ATL	Atlantique	6,64	26	0,66	22	-115	< 0,01
ASS	Atlantique, stratification saisonnière	6,29	170	0,63	18	-63	0,02
CCTI	Plateau continental de la Manche, sous l'influence des marées	9,73	67	0,96	8	14	0,1
CWM	Manche, bon mélange	7,99	141	0,79	10	6	0,66
CWMTI	Manche, bon mélange, sous l'influence des marées	9,31	134	0,93	8	16	0,06
CFR	Côtes de la Manche FR	9,62	161	0,95	7	9	0,25
CIRL	Côtes IRL 3	6,60	1	0,66	2	-1	1
CNOR1	Côtes NOR 1				1	0	1
CNOR2	Côtes NOR 2				3	-1	1
CNOR3	Côtes NOR 3	8,14	4	0,81	6	7	0,28
CUK1	Côtes Royaume-Uni 1	7,90	11	0,79	6	1	1
CUKC	Côtes de la Manche Royaume-Uni	9,11	34	0,9	6	-5	0,47
CWBC	Eaux côtières BC	8,78	3	0,88	2	1	1
DB	Dogger Bank	7,53	68	0,75	27	-70	0,14
ECPM2	Côte Est (mélange permanent) 2	7,79	1	0,78	1	0	1
ENS	Est de la mer du Nord	5,69	678	0,57	30	-30	0,6
ELPM	Panache de l'Elbe	6,93	149	0,69	32	69	0,26
EMPM	Panache de l'Ems	6,84	65	0,68	25	35	0,41
GBC	Centre de la Baie d'Allemagne	6,54	233	0,65	29	6	0,91
GDPM	Panache de la Gironde	5,30	2	0,53	2	1	1
GBCW	Eaux côtières du golfe de Gascogne	5,56	11	0,56	3	3	0,34
GBSW	Eaux du plateau continental du golfe de Gascogne	5,86	20	0,59	5	0	1
HPM	Panache de l'Humber	8,25	5	0,83	2	-1	1
IS1	Stratification intermittente 1	7,12	26	0,71	16	-15	0,51
IS2	Stratification intermittente 2	7,73	35	0,77	18	-5	0,85
IRS	Mer d'Irlande	7,52	17	0,75	10	3	0,86
KC	Côtes du Kattegat	3,92	440	0,39	32	125	0,04
KD	Kattegat (grandes profondeurs)	4,70	324	0,47	32	113	0,07
LBPM	Panache de la baie de Liverpool	8,37	1	0,84	3	2	0,33
MPM	Panache de la Meuse	6,23	25	0,62	22	-116	0
NAAC2	Zone nord-atlantique NOR-NorC2	7,00	23	0,7	7	13	0,07
NAAC3	Zone nord-atlantique NOR-NorC3	6,69	12	0,67	7	7	0,38
NAAO1	Zone nord-atlantique NOR-NorO1				1	0	1
NAAP2	Zone nord-atlantique NOR-NorP2				4	-4	0,33
NAAPF	Zone nord-atlantique NOR-Plataforma				5	-2	0,82

NNS	Mer du Nord septentrionale	6,55	1 252	0,66	32	-18	0,77
NT	Fosse norvégienne	7,68	102	0,77	32	-131	0,03
OWAO	Eaux océaniques AO				2	-1	1
OWCO	Eaux océaniques CO				2	-1	1
CODEDK	Extérieur des côtes DEDK	6,11	340	0,61	31	-52	0,39
RHPM	Panache du Rhin	7,43	23	0,74	20	-39	0,21
SCHPM1	Panache de l'Escaut 1	6,55	32	0,66	22	-81	0,03
SCHPM2	Panache de l'Escaut 2	6,74	3	0,67	4	-2	0,75
SS	Mer d'Écosse	7,51	98	0,75	23	-15	0,69
SPM	Panache de la Seine	9,66	34	0,96	11	-2	0,88
SK	Skagerrak	6,82	193	0,68	32	-11	0,86
SNS	Mer du Nord méridionale	7,08	489	0,71	29	-79	0,14
SAAC1	Zone sud-atlantique SUD-C1				1	0	1
SAAOC	Zone sud-atlantique SUD-OCEAN				1	0	1
SAAP2	Zone sud-atlantique SUD-P2				1	0	1
THPM	Panache de la Tamise	7,52	22,0	0,75	11	-24	0,07

Trois zones d'évaluation (pour lesquelles on possédait des données à long terme) n'ont pas atteint un bon état : Est de la mer du Nord (ENS), Côtes du Kattegat (KC) et Kattegat (grandes profondeurs) (KD). Les valeurs d'évaluation, calculées à partir de données issues de la période d'évaluation (2015-2020), se situent toutes en dessous de la limite bon/moyen (EQR = 0,6). La zone Est de la mer du Nord a une valeur d'évaluation mesurée (OD au 5^{ème} centile) de 5,69 mg/l, ce qui produit une valeur EQR de 0,565, calculée à partir de 678 échantillons ; un niveau de confiance modéré à élevé est associé à l'ensemble des mesures ayant donné lieu à la classification. Pour la zone Côtes du Kattegat, la valeur d'évaluation mesurée (OD au 5^{ème} centile) est de 3,92 mg/l, ce qui produit une valeur EQR de 0,363, calculée à partir de 440 échantillons ; un niveau de confiance élevé est associé à l'ensemble des mesures ayant donné lieu à la classification. Pour la zone Kattegat (grandes profondeurs), la valeur d'évaluation mesurée (OD au 5^{ème} centile) est de 4,70 mg/l, ce qui produit une valeur EQR de 0,452, calculée à partir de 324 échantillons ; un niveau de confiance élevé est associé à l'ensemble des mesures ayant donné lieu à la classification.

Quand on considère les valeurs d'évaluation mesurées et les valeurs EQRS au cours des quatre périodes d'évaluation (1990-2000, 2001-2006, 2006-2014 et 2015-2020) pour les zones Kattegat (grandes profondeurs) et Côtes du Kattegat, on voit des valeurs basses pour la teneur en OD et des valeurs EQR inférieures à la limite bon/moyen pour toutes les périodes (**Figure g**). En ce qui concerne la zone Est de la mer du Nord, les valeurs d'évaluation mesurées pour toutes les années sont inférieures au seuil de 6 mg/l (**Figure g**), les valeurs EQR étant inférieures à la limite bon/moyen de 0,6 (**Figure g**).

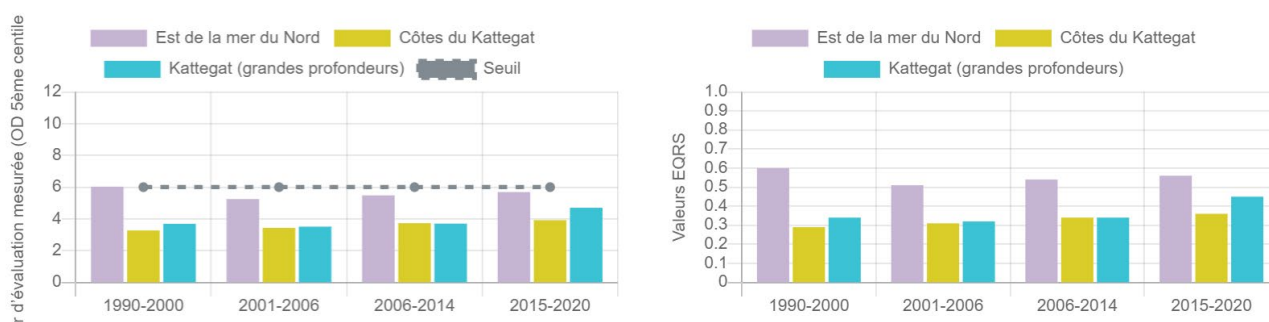


Figure g : Valeurs d'évaluation mesurées et valeurs EQRS sur les quatre périodes de la COMP pour les zones Est de la mer du Nord (ENS), Côtes du Kattegat (KC) et Kattegat (grandes profondeurs) (KD)

D'autres zones d'évaluation n'ont pas atteint un bon état : Panache de la Gironde (GDPM), Panache de l'Adour (ADPM), Eaux côtières du golfe de Gascogne (GBCW), et Eaux du plateau continental du golfe de Gascogne (GBSW). Les valeurs d'évaluation, calculées à partir de données issues de la période d'évaluation (2015-2020), se situent toutes en dessous de la limite bon/moyen (0,6).

Pour la zone Panache de la Gironde, la valeur d'évaluation mesurée (OD au 5^{ème} centile) est de 5,3 mg/l, ce qui produit une valeur EQRS de 0,520, calculée à partir de seulement 2 échantillons ; un niveau de confiance bas est donc associé à la classification. Le faible nombre d'échantillons (N = 2) n'est pas suffisant pour évaluer la zone. Pour la zone Eaux côtières du golfe de Gascogne, la valeur d'évaluation mesurée (OD au 5^{ème} centile) est de 5,56 mg/l, ce qui produit une valeur EQRS de 0,550, calculée à partir de 11 échantillons. La valeur mesurée est proche de la limite bon/moyen ; un niveau de confiance bas est donc associé à la classification. Pour la zone Eaux du plateau continental du golfe de Gascogne, la valeur d'évaluation mesurée (OD au 5^{ème} centile) est de 5,86 mg/l, ce qui produit une valeur EQRS de 0,584, calculée à partir de 20 échantillons. La valeur mesurée est proche de la limite bon/moyen ; un niveau de confiance bas est donc associé à la classification. Bien qu'il n'y ait pas suffisamment de données à long terme pour examiner les quatre périodes précédentes de la COMP, la **Figure h** indique le 5^{ème} centile pour les zones Eaux du plateau continental du golfe de Gascogne, Eaux côtières du golfe de Gascogne et Panache de la Gironde.



Figure h : Valeurs annuelles de trois zones d'évaluation qui sont descendues en dessous de la limite bonne/moyenne

Pour la zone Panache de l'Adour, la valeur d'évaluation mesurée (OD au 5^{ème} centile) est de 4,44 mg/l, ce qui produit une valeur EQRS de 0,422, calculée à partir d'un seul échantillon ; un niveau de confiance bas est donc associé à la classification. Le faible nombre d'échantillons (N = 1) n'est pas suffisant pour évaluer la zone.

Évaluations des tendances

Les séries chronologiques ne sont présentées que pour les régions qui se situent en dessous de la limite bon/moyen (**Figure i**). Des données à long terme sont disponibles à partir de 1990 pour les zones Est de la mer du Nord, Côtes du Kattegat et Kattegat (grandes profondeurs). Ces données indiquent que la teneur en oxygène dissous reste faible, toutefois les zones Côtes du Kattegat et Kattegat (grandes profondeurs)

présentent toutes les deux une tendance à la hausse sur l'ensemble de la période de 1990 à 2020. Pour les sept zones d'évaluation où le niveau était en dessous de la limite bon/moyen, l'analyse des tendances de Mann Kendall n'indique aucune tendance statistiquement significative, à l'exception de la région Côtes du Kattegat, qui présente une tendance à la hausse ($p < 0,05$), tout comme la région Kattegat (grandes profondeurs), bien que cette tendance ne soit pas statistiquement significative ($p < 0,1$). Cependant, cette évolution positive est absente au cours de la dernière décennie, en accord avec les résultats similaires obtenus pour les autres indicateurs. La zone Est de la mer du Nord semble aussi présenter une certaine amélioration au cours des dernières années, mais celle-ci n'est pas significative et des observations supplémentaires seront nécessaires pour déterminer la direction de la tendance (**Figure i**).

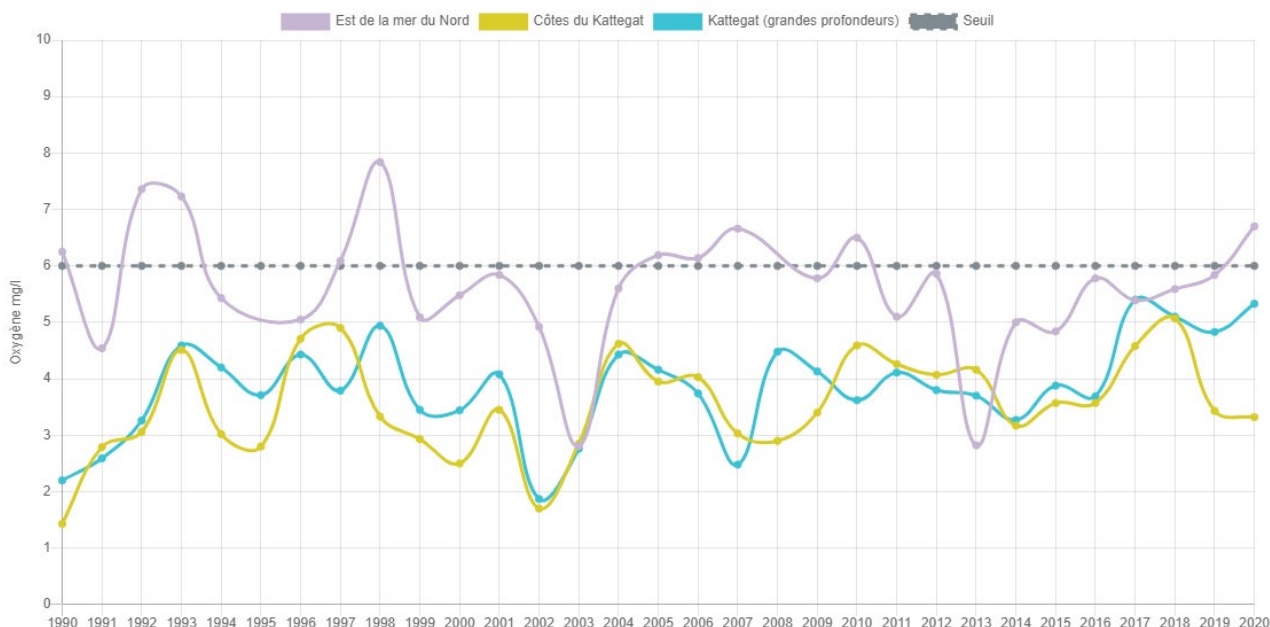


Figure i : Tendance à long terme des teneurs en oxygène dissous dans les zones Est de la mer du Nord, Kattegat (grandes profondeurs) et Côtes du Kattegat.

D'autres zones d'évaluation se situent en dessous de la limite bon/moyen : Panache de la Gironde, Panache de l'Adour, Eaux côtières du golfe de Gascogne et Eaux du plateau du golfe de Gascogne. Cependant, les données à long terme pour toutes ces zones sont limitées, si bien qu'il est difficile de tirer des conclusions quelconques sur les tendances à long terme (**Figure j**). Compte tenu du faible nombre d'échantillons et des données limitées à long terme, un niveau de confiance bas est associé à la classification de ces zones dans un état moyen. Il faudra impérativement poursuivre la surveillance de ces zones et réaliser un travail de modélisation supplémentaire les concernant pour déterminer l'ampleur des problèmes et l'orientation de la tendance de la teneur en OD au fond dans ces quatre zones.

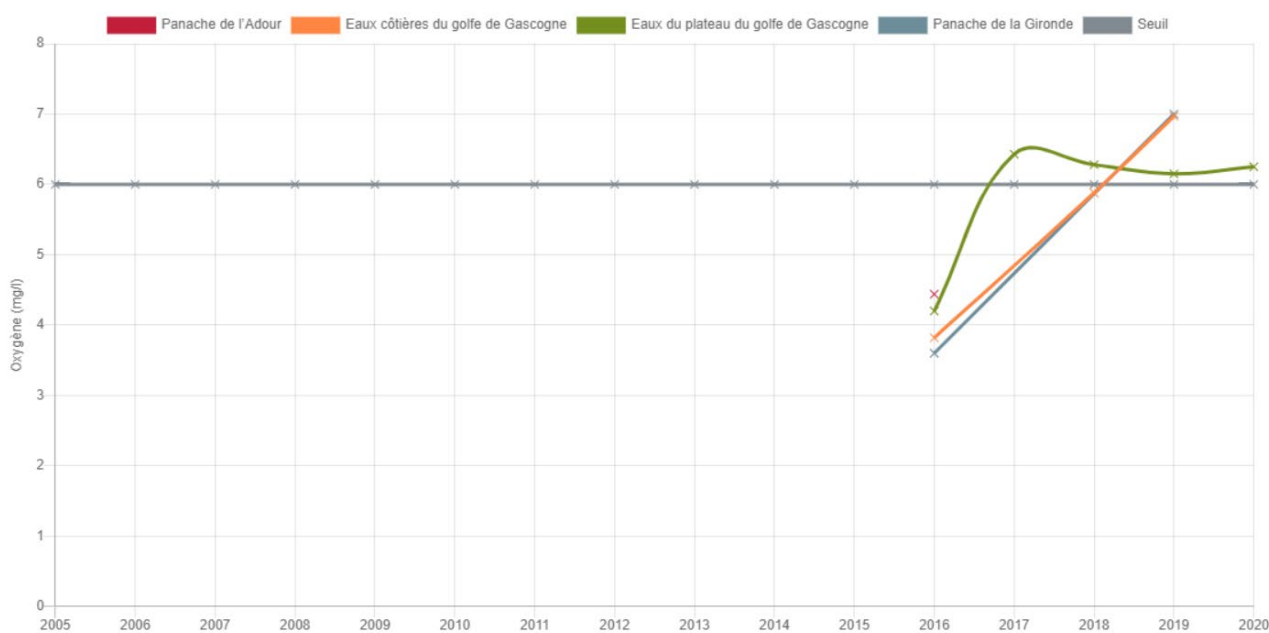


Figure j : Tendance à long terme des teneurs en oxygène dissous pour les zones Panache de la Gironde, Panache de l'Adour, Eaux côtières du golfe de Gascogne et Eaux du plateau du golfe de Gascogne.

Régions présentant des tendances négatives statistiquement significatives

Certaines régions présentent une tendance négative statistiquement significative, entre autres : Atlantique, stratification saisonnière (ASS), Atlantique (ATL), Panache de la Meuse (MPM), Fosse norvégienne (NT) et Panache de l'Escaut 1 (SCHPM1). Bien qu'elles aient toutes été classées dans les catégories d'état « bon » ou « très bon », toutes ces régions ont présenté des tendances négatives statistiquement significatives dans le 5^{ème} centile annuel ($p < 0,05$) au cours de la période d'évaluation (**Figure k**). Les régions Kattegat (grandes profondeurs) et Côtes du Kattegat présentent des tendances à la hausse significatives, soit 90 % et 95 %, respectivement (**Tableau c**).

La couverture des données pour les zones Atlantique, stratification saisonnière (ASS) et Atlantique (ATL) est limitée dans l'espace ; le niveau de confiance spatiale est donc bas pour ces deux zones, et cela entraîne une réduction du niveau de confiance associé à l'évaluation globale des tendances (**Figure k**). Cependant, on voit une diminution de l'indicateur au 5^{ème} centile au cours des deux dernières périodes d'évaluation par rapport aux deux premières périodes d'évaluation, mais cela pourrait être lié aux données limitées qui sont disponibles pour ces vastes zones situées au large (**Figure k**). Les valeurs d'évaluation et les valeurs EQR diminuent également pour les zones Panache de la Meuse, Fosse norvégienne et Panache de l'Escaut 1 (**Figure l**).

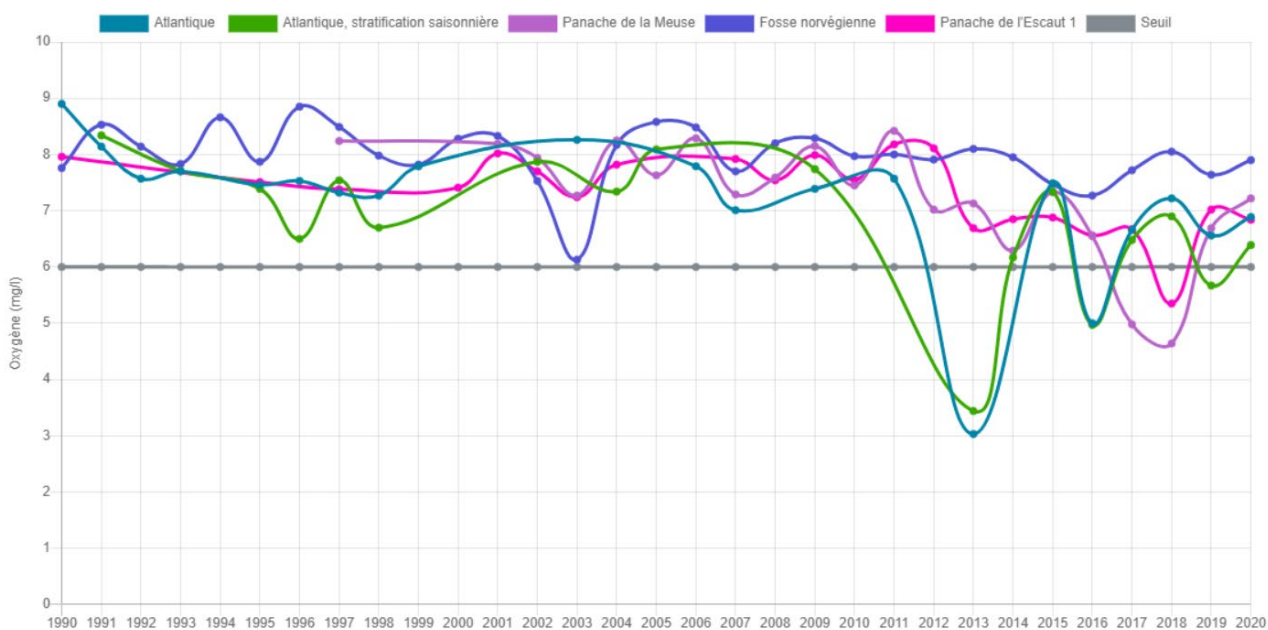


Figure k : Tendence à long terme des teneurs en oxygène dissous pour les zones Atlantique, stratification saisonnière (ASS), Atlantique (ATL), Panache de la Meuse (MPM), Fosse norvégienne (NT) et Panache de l'Escaut 1 (SCHPM1). Toutes ces zones présentent une tendance statistiquement significative.

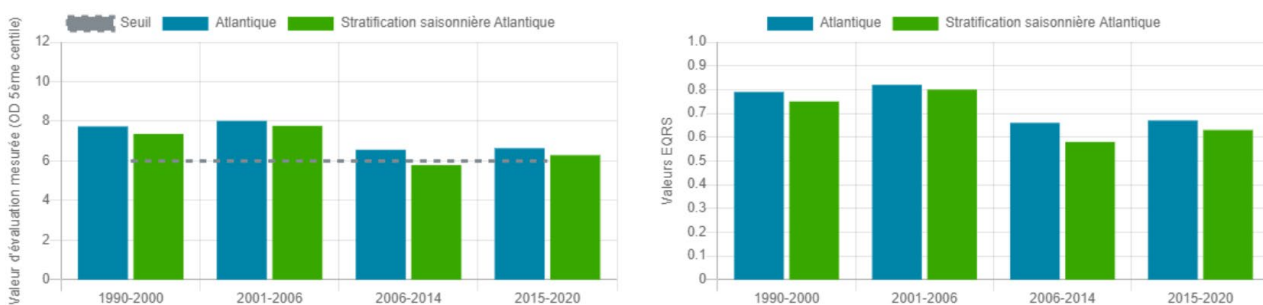


Figure l : Valeurs d'évaluation mesurées et valeurs EQRS pour les zones Atlantique, stratification saisonnière et Atlantique

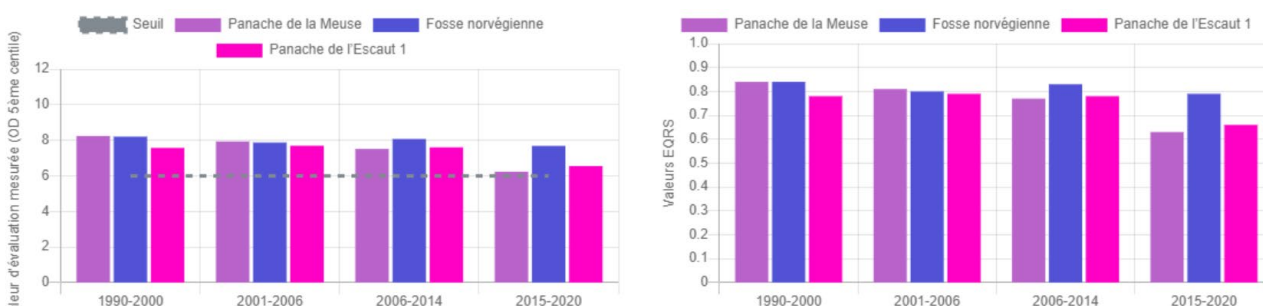


Figure m : Valeurs d'évaluation mesurées et valeurs EQRS pour les zones Panache de la Meuse, Fosse norvégienne et Panache de l'Escaut 1 au cours des quatre périodes d'évaluation

Saturation en oxygène

Pour certaines espèces, la saturation en oxygène est une limite à la fréquence respiratoire car elle contrôle les échanges chimiques, par exemple l'absorption à travers les branchies. Les tendances de la saturation en oxygène ont donc été prises en compte en plus de la teneur en OD. La saturation a pour avantage de compenser les tendances de la solubilité de l'oxygène en fonction de la température.

La saturation a été calculée à partir des teneurs in situ en oxygène dissous, de la température, de la salinité et de la pression. Quand on observe les tendances de la saturation en oxygène, qui tiennent compte de l'effet de la température et de la salinité sur la solubilité de l'oxygène, on voit que les zones Panache de la Meuse, Atlantique, Fosse norvégienne et Panache de l'Escaut 1 présentent toujours une tendance négative statistiquement significative, cependant la zone Mer du Nord septentrionale (NNS) présente aussi une tendance négative. Conjointement avec les tendances de la teneur en oxygène, ces résultats pour les tendances (**Tableau d**) permettent d'évaluer les composantes dues au réchauffement. La diminution de la solubilité en fonction de la température a été le principal facteur de la diminution de la teneur en oxygène dissous seulement dans la région Atlantique, stratification saisonnière (ASS). Pour la zone Mer du Nord septentrionale, c'est l'inverse, le taux de diminution de la saturation est supérieur à celui de la teneur en OD. La statistique MK pour la zone Panache de la Meuse est similaire pour les deux méthodes, ce qui indique que les effets de la température ne sont pas importants dans cette tendance.

La région Côtes du Kattegat présente de nouveau une tendance positive, démontrant des améliorations observables de la teneur en oxygène dissous au fond. En ce qui concerne les zones voisines, Kattegat (grandes profondeurs) et Est de la mer du Nord, bien que l'évaluation de la teneur en OD y ait produit un état moins que moyen, ces zones ne présentent pas de tendance statistiquement significative.

Tableau d : Régions présentant une tendance statistiquement significative lorsqu'on utilise la saturation (caractères gras à 95 %). Toutes les tendances sont à la baisse, sauf pour les régions Côtes du Kattegat et Manche, bon mélange, qui présentent une tendance à la hausse.

Code	Description	Nbre d'années	Stat Mk	Valeur P
MPM	Panache de la Meuse	21	-130	1,00E-04
ATL	Atlantique	21	-102	0,0015
NT	Fosse norvégienne	30	-111	0,048
SCHPM1	Panache de l'Escaut 1	22	-87	0,016
NNS	Mer du Nord septentrionale	31	-135	0,023
KC	Côtes du Kattegat	31	129	0,029
SK	Skagerrak	31	-115	0,053
CWM	Manche, bon mélange	9	18	0,074
EMPM	Panache de l'Ems	23	65	0,092

Les valeurs d'évaluation mesurées et les valeurs EQRS au cours des périodes d'évaluation indiquent une légère amélioration par rapport à la valeur mesurée pour les zones Mer du Nord septentrionale, Skagerrak et Panache de l'Ems, bien que les valeurs d'évaluation mesurées restent proches du seuil de 6 mg/l (**Figure n**).

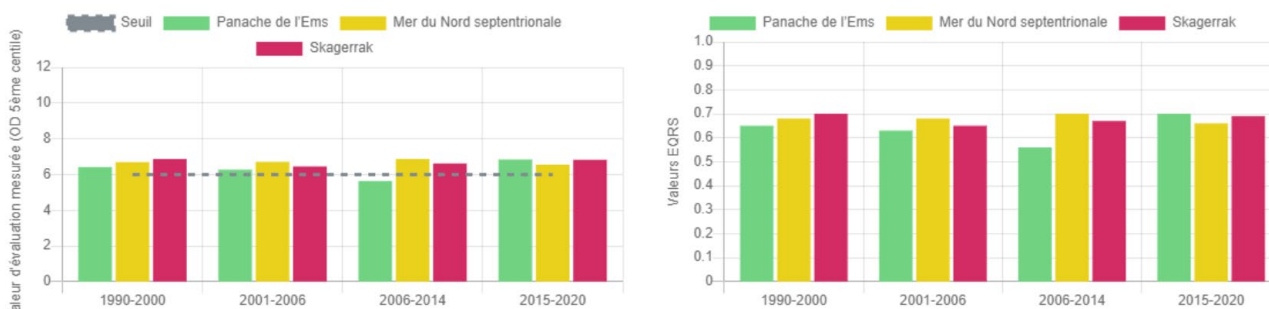


Figure n : Valeurs d'évaluation mesurées et valeurs EQRS pour les zones Mer du Nord septentrionale, Skagerrak et Panache de l'Ems au cours des quatre périodes de la COMP

Niveau de confiance

Trois types de niveaux de confiance sont calculés pour l'évaluation de la teneur en OD, concernant la confiance spatiale, la confiance temporelle et l'exactitude. Ces niveaux de confiance sont combinés pour produire le niveau de confiance global. Pour évaluer le niveau de confiance associé à la couverture temporelle des données de surveillance, on examine la variation de cette couverture d'une année à l'autre et la continuité des observations au cours des saisons d'évaluation spécifiques du paramètre. En ce qui concerne la représentabilité spatiale, pour évaluer le niveau de confiance, on tient compte d'un aspect général et d'un aspect spécifique de la confiance spatiale, en utilisant une approche maillée dans les deux cas. L'exactitude du résultat pour le paramètre indique le degré de certitude de l'évaluation relativement à la variabilité des données. En ce qui concerne les niveaux de confiance combinés, pour calculer le niveau de confiance final, on calcule la moyenne ou la moyenne pondérée des niveaux de confiance concernant la confiance temporelle, la confiance spatiale et l'exactitude (**Figure o** et **Tableau e**)

Niveau de confiance associé à l'évaluation de l'eutrophisation

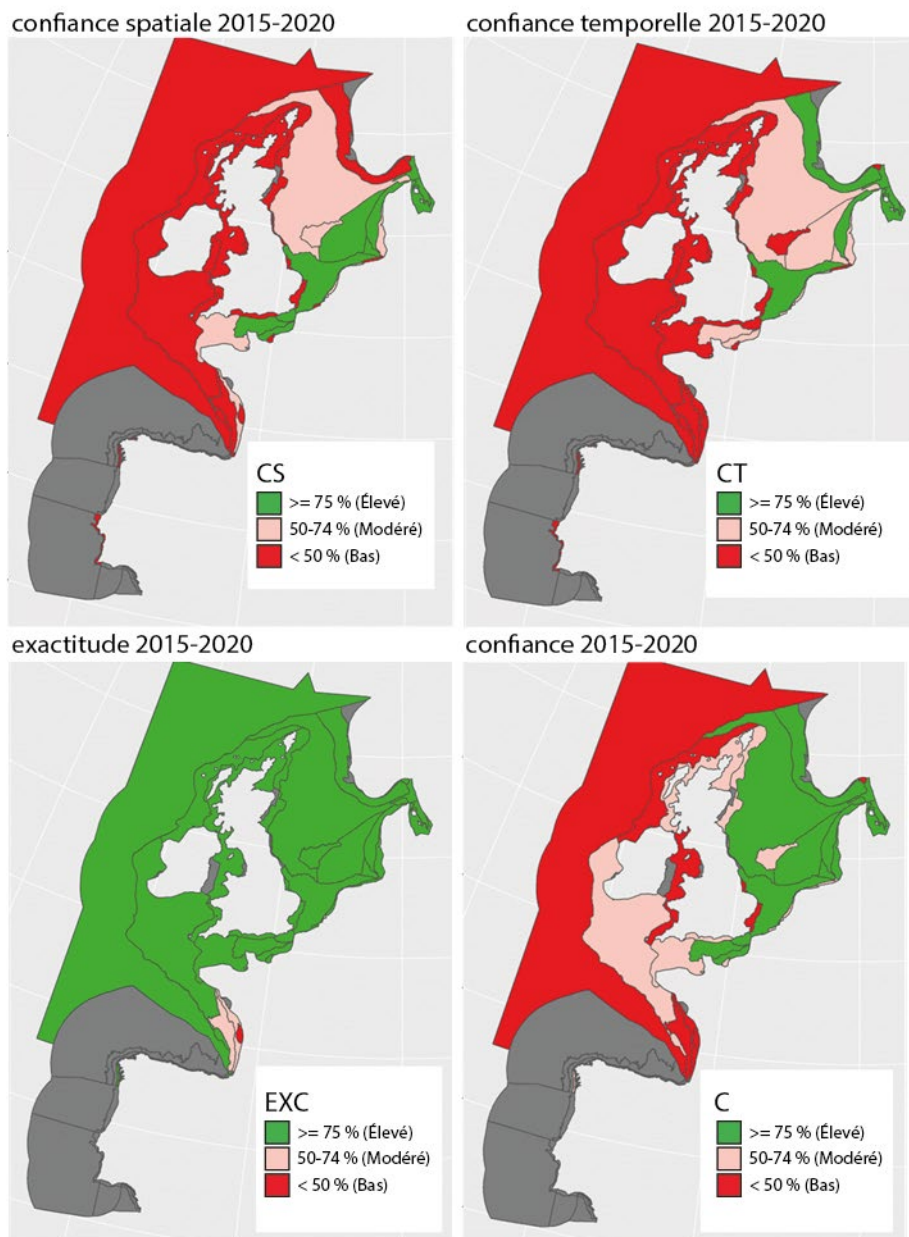


Figure o : Niveaux de confiance concernant la confiance spatiale, la confiance temporelle et l'exactitude et niveau de confiance final pour les zones d'évaluation de la COMP4, pour l'évaluation de la teneur en OD couvrant la période de 2015 à 2020.

Tableau e : Résultats de l'évaluation de la teneur en OD, comprenant les mesures des niveaux de confiance concernant la confiance temporelle (CT), la confiance spatiale (CS), l'exactitude (EXC) et le niveau de confiance associé à la classification (C)

Code	État d'entr.	ET	EQR	Nbre d'obs.	CT	CS	EXC	C
ADPM	4,4		0,4	1	Bas	Bas		
ASS	6,3	0,9	0,6	170	Bas	Bas	Élevé	Modéré
ATL	6,6	0,9	0,7	26	Bas	Bas	Élevé	Bas
CCTI	9,7	0,8	1,0	67	Bas	Élevé	Élevé	Élevé
CFR	9,6	0,8	0,9	161	Modéré	Élevé	Élevé	Élevé
CIRL	6,6		0,7	1	Bas	Bas		
CNOR3	8,1	0,1	0,8	4	Bas	Bas	Élevé	Bas
CODEDK	6,1	0,7	0,6	340	Élevé	Élevé	Élevé	Élevé
CUK1	7,9	1,1	0,8	11	Bas	Bas	Élevé	Bas
CUKC	9,1	1,1	0,9	34	Bas	Bas	Élevé	Modéré
CWBC	8,8		0,9	3	Bas	Bas		
CWM	8,0	1,6	0,8	141	Bas	Modéré	Élevé	Modéré
CWMTI	9,3	1,1	0,9	134	Modéré	Élevé	Élevé	Élevé
DB	7,5	0,4	0,8	68	Bas	Modéré	Élevé	Modéré
ECPM2	7,8		0,8	1	Bas	Bas		
ELPM	6,9	0,5	0,7	149	Modéré	Modéré	Élevé	Élevé
EMPM	6,8	0,5	0,7	65	Bas	Bas	Élevé	Modéré
ENS	5,7	0,6	0,6	678	Modéré	Élevé	Élevé	Élevé
GBC	6,5	0,3	0,7	233	Modéré	Élevé	Élevé	Élevé
GBCW	5,6	1,6	0,6	11	Bas	Modéré	Modéré	Bas
GBSW	5,9	0,9	0,6	20	Bas	Bas	Modéré	Bas
GDPM	5,3	2,4	0,5	2	Bas	Bas	Bas	Bas
HPM	8,2	0,8	0,8	5	Bas	Bas	Élevé	Bas
IRS	7,5	0,9	0,8	17	Bas	Bas	Élevé	Bas
IS1	7,1	0,2	0,7	26	Bas	Bas	Élevé	Bas
IS2	7,7	0,3	0,8	35	Bas	Bas	Élevé	Modéré
KC	3,9	0,7	0,4	440	Élevé	Élevé	Élevé	Élevé
KD	4,7	0,7	0,5	324	Élevé	Élevé	Élevé	Élevé
LBPM	8,4		0,8	1	Bas	Bas		
MPM	6,2	1,1	0,6	25	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré
NAAC2	7,0	0,3	0,7	23	Bas	Modéré	Élevé	Modéré
NAAC3	6,7	0,1	0,7	12	Bas	Bas	Élevé	Modéré
NNS	6,5	0,5	0,7	1 252	Modéré	Modéré	Élevé	Élevé
NT	7,7	0,3	0,8	102	Élevé	Bas	Élevé	Élevé
RHPM	7,4	0,2	0,7	23	Modéré	Modéré	Élevé	Modéré
SCHPM1	6,6	0,6	0,7	32	Modéré	Bas	Élevé	Modéré
SCHPM2	6,7	0,8	0,7	3	Bas	Modéré	Élevé	Modéré
SK	6,8	0,4	0,7	193	Élevé	Élevé	Élevé	Élevé
SNS	7,1	0,2	0,7	489	Élevé	Élevé	Élevé	Élevé
SPM	9,7	0,7	1,0	34	Bas	Bas	Élevé	Modéré
SS	7,5	0,3	0,8	98	Bas	Bas	Élevé	Modéré

THPM	7,5	0,2	0,8	22,0	Bas	Bas	Élevé	Bas
------	-----	-----	-----	------	-----	-----	-------	-----

Évaluation à l'échelle des grilles

Deux échelles d'agrégation des données ont été adoptées pour l'évaluation : les zones de la COMP4 d'OSPAR, et des grilles plus petites. L'échelle plus petite des rectangles aide à identifier des zones localisées qui peuvent être caractérisées par de faibles niveaux d'oxygène (« points chauds »). L'évaluation de la teneur en OD a été appliquée à chaque section de la grille en utilisant des données collectées entre juillet et octobre et en calculant le 5^{ème} centile de l'échantillon le plus profond à moins de 10 m du fond marin. Les valeurs EQR moyennes ont été calculées pour chaque année, puis on a calculé la moyenne afin d'obtenir la valeur EQR finale. Les analyses ont montré que les teneurs en oxygène moyennes près du fond dans le 5^{ème} centile des données, pendant la saison de stratification estivale, étaient de > 6 mg/l dans la plupart des mailles de grille dans chaque région, sauf dans les régions Panache de l'Adour (1 maille), Atlantique, stratification saisonnière (4 mailles), Atlantique (2 mailles), Est de la mer du Nord (1 maille), Côtes du golfe de Gascogne (7 mailles), Eaux du plateau continental du golfe de Gascogne (6 mailles), Panache de la Gironde (1 maille), Côtes du Kattegat (15 mailles) et Kattegat (grandes profondeurs) (10 mailles) (**Figure p**). Les évaluations du niveau de confiance indiquent clairement que l'évaluation à l'échelle des grilles est problématique, en raison de nombreuses lacunes dans les données à cette échelle spatiale plus petite (**Figure q**).

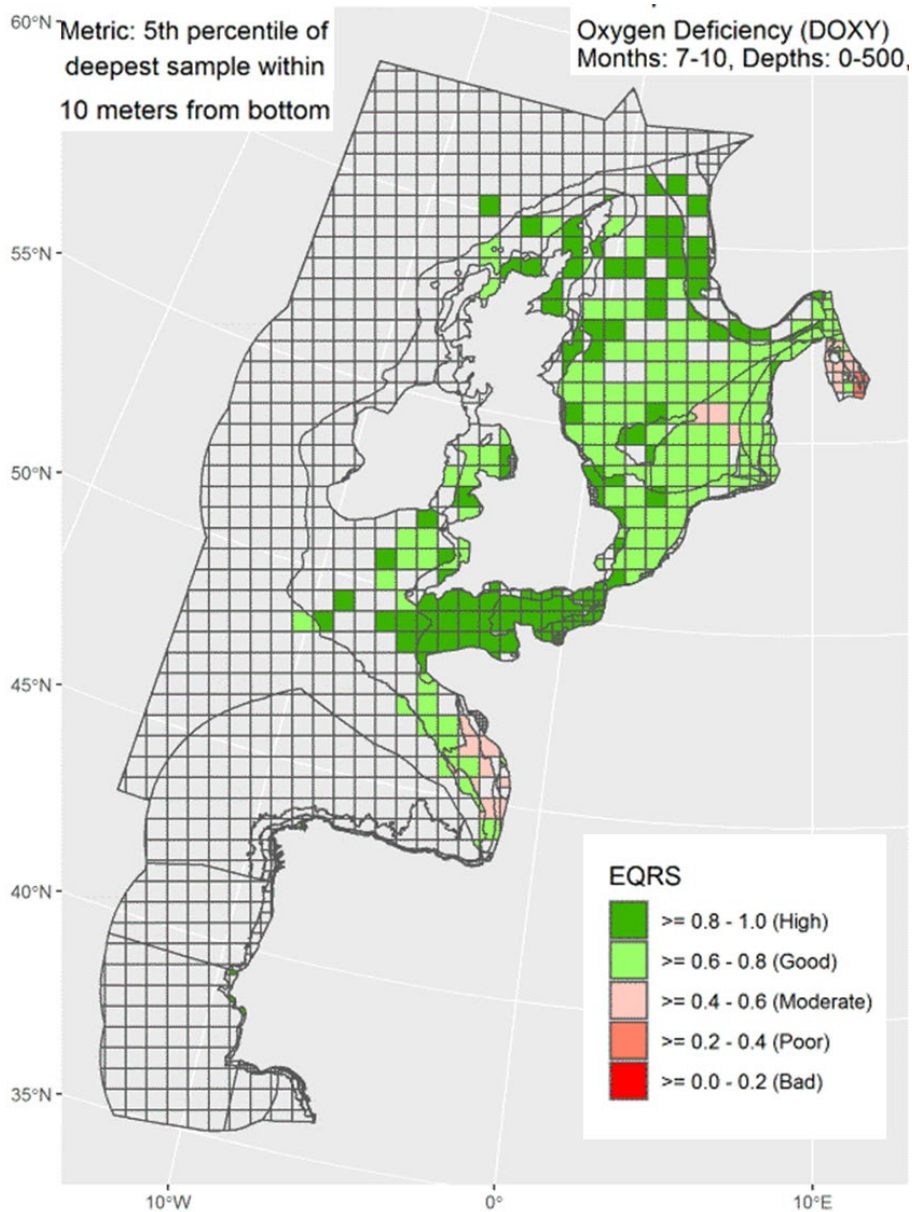


Figure p : Évaluation de la teneur en oxygène dissous à des échelles spatiales plus petites.

Eutrophication Temporal Confidence 2015-2020 Eutrophication Accuracy Class Confidence Eutrophication Confidence 2015-2020

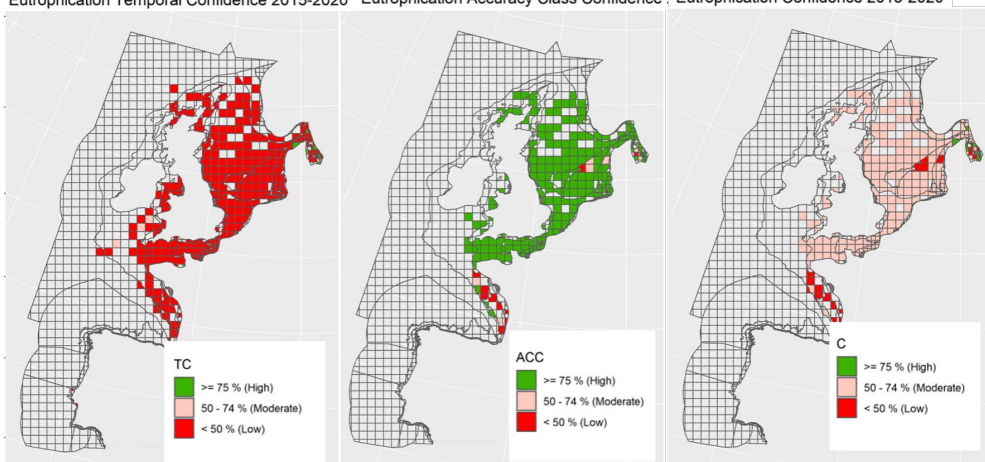


Figure q : Niveaux de confiance concernant la confiance temporelle et l'exactitude et niveau de confiance global associé à la classification, pour l'évaluation de la teneur en OD à l'échelle des grilles

QSR 2023

L'identification de catégories communes de zones d'évaluation que l'on peut faire correspondre facilitera aussi bien la réalisation de l'évaluation thématique que celle du QSR. Quatre catégories de types d'eaux (panaches fluviaux, zones côtières, zones du plateau continental et zones océaniques) seront utilisées pour le QSR 2023, en associant des unités d'évaluation spécifiques de la COMP4 aux catégories d'intégration pour l'eutrophisation, les habitats pélagiques et les réseaux trophiques, afin d'assurer la cohérence entre les évaluations et de cadrer avec les exigences de la DCSMM. Comme pour les indicateurs communs concernant les nutriments et la Chl-1, les résultats des tendances de la teneur en OD sont classés dans chaque grande catégorie (panaches fluviaux, zones côtières, zones du plateau continental et zones océaniques) (**Tableau f**).

Tableau f : Nombre de zones d'évaluation présentant une tendance à l'augmentation, une tendance à la baisse, ou ne présentant pas de tendance pour la teneur en oxygène dissous dans les panaches fluviaux, les zones côtières, les zones du plateau continental et les zones océaniques.

Catégorie de zones	Nbre de zones	Zones pour lesquelles des données sont disponibles	Classification COMP4	Tendance à la hausse	Pas de tendance	Tendance à la baisse
Panaches fluviaux	14	12	État moyen/médiocre/mauvais	0	2	0
			État très bon/bon	0	8	2
Zones côtières	27	19	État moyen/médiocre/mauvais	1	1	0
			État très bon/bon	0	17	0
Zones du plateau continental	17	16	État moyen/médiocre/mauvais	0	3	0
			État très bon/bon	0	11	2
Zones océaniques	6	5	État moyen/médiocre/mauvais	0	0	0
			État très bon/bon	0	4	1

L'analyse des tendances a été réalisée à partir de données correspondant à la période de 1990 à 2020. Pour de nombreuses zones d'évaluation (52 sur 64), on disposait de suffisamment de données à long terme pour pouvoir réaliser une évaluation des tendances. Sur ces 52 zones, une seule zone côtière a présenté une tendance à la hausse (Côtes du Kattegat). La teneur en oxygène dissous a présenté une tendance à la baisse dans deux panaches fluviaux (Panache de la Meuse, Panache de l'Escaut 1), deux zones du plateau continental (Fosse norvégienne, Atlantique, stratification saisonnière) et une zone océanique (Atlantique). La zone Panache de la Tamise a également présenté une tendance à la baisse, mais celle-ci n'était pas significative.

Comparaison des périodes d'évaluation de la COMP

Les résultats des évaluations couvrant les périodes précédentes de la COMP, réalisées en appliquant les seuils de la COMP4, sont présentés dans la **Figure r** avec le niveau de confiance associé à l'évaluation.

Au cours de la période COMP1 (1990-2000), 4 zones d'évaluation sur 36 ont été classées dans les catégories d'état « moyen », « médiocre » ou « mauvais ». Les zones d'évaluation présentant des problèmes d'eutrophisation se trouvent principalement dans la Région II d'OSPAR (Mer du Nord au sens large) ; il s'agit des zones Côtes du Kattegat et Kattegat (grandes profondeurs), de la zone nord-atlantique NOR-NorC2(D5), et de la zone sud-atlantique SUD-C1(D5). Toutefois, pour cette dernière zone, un niveau de confiance spatiale et temporelle bas est associé à l'évaluation.

Au cours de la période correspondant à la COMP2 (2001-2006), 5 zones d'évaluation sur 34 ont été classées dans les catégories d'état « moyen », « médiocre » ou « mauvais », entre autres les zones Côtes du Kattegat, Kattegat (grandes profondeurs), Est de la mer du Nord, Baie d'Allemagne et Côtes DEDK. Au cours de la période correspondant à la COMP3 (2006-2014), cela a été le cas pour 8 zones d'évaluation sur 31. On y trouve de nouveau les zones Côtes du Kattegat, Kattegat (grandes profondeurs), Est de la mer du Nord, Baie d'Allemagne et Côtes DEDK, avec en plus les zones Atlantique, stratification saisonnière), Manche, bon mélange, sous l'influence des marées, et Panache de l'Ems. En résumé, l'ensemble de la période de 1990 à 2020 a présenté une caractéristique constante : dans la Région II d'OSPAR, Mer du Nord au sens large, plusieurs zones d'évaluation ont été classées à plusieurs reprises dans les catégories d'état « moyen », « médiocre » ou « mauvais » au cours de toute cette période.

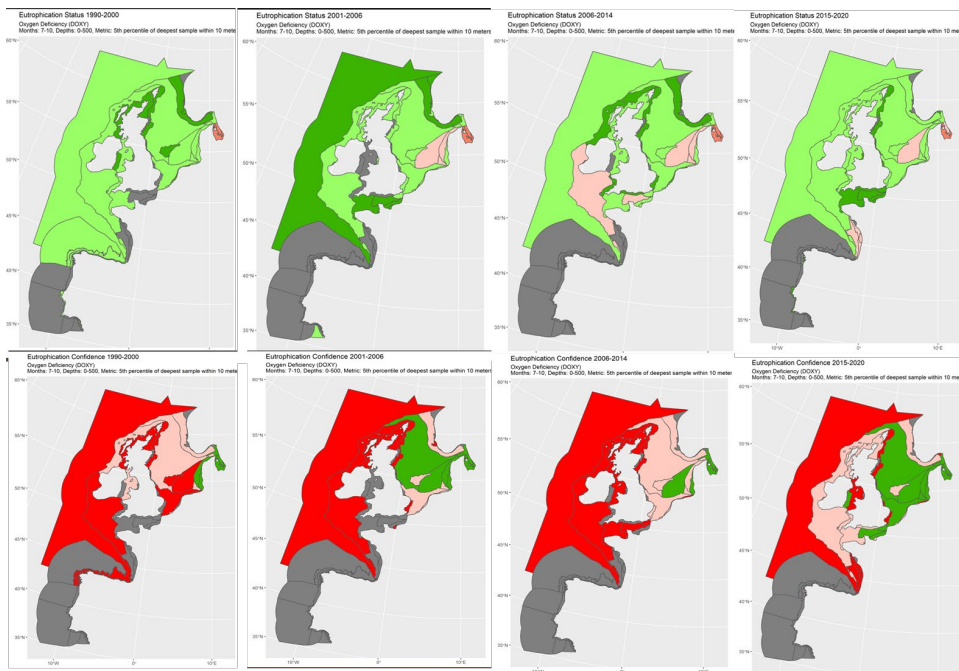


Figure 1 : Comparaison des résultats pour la teneur en OD au cours des quatre périodes d'évaluation. Le panneau du haut indique les résultats des évaluations, et le panneau du bas indique le niveau de confiance. Les quatre périodes d'évaluation sont la COMP1, la COMP2, la COMP3 et la COMP4.

Ces changements dans les résultats des évaluations concernent le nombre de zones d'évaluation classées dans les catégories d'état « moyen », « médiocre » ou « mauvais », et la superficie correspondant à ces zones, pour chacune des périodes de la COMP (**Figure s**). Le nombre de zones d'évaluation classées dans les catégories d'état « moyen », « médiocre » ou « mauvais » a augmenté entre la COMP1 et la COMP4 : il était de 4 pour la COMP1, 5 pour la COMP2, 8 pour la COMP3, et 7 pour la COMP4. La superficie couverte a également augmenté, en particulier entre la COMP1 (16 657 km²) et la COMP2 (98 318 km²), pour atteindre un maximum dans la COMP3 (337 696 km²), avant de connaître une diminution (110 261 km²) dans la COMP4 actuelle. Le maximum atteint dans la COMP3 résultait de l'inclusion d'une zone très étendue, nommément Atlantique, stratification saisonnière (valeur au 5^{ème} centile = 5,79 mg/l). Cependant, le niveau de confiance associé à l'évaluation dans cette zone est bas pour la COMP3.

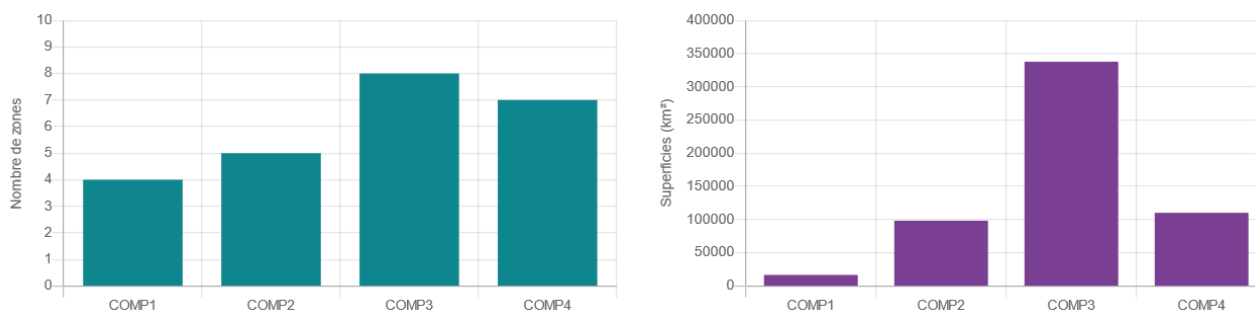


Figure s : Nombre de zones d'évaluation classées dans les catégories d'état « moyen », « médiocre » ou « mauvais » et superficies correspondant à ces zones au cours des quatre périodes de la COMP

La comparaison des quatre périodes d'évaluation de la COMP indique une diminution de la superficie correspondant aux panaches fluviaux et aux eaux du plateau continental, la proportion correspondant aux eaux côtières variant entre 10 % et 20 %. Les eaux océaniques ont toujours atteint un état « bon » ou « très bon » au cours des quatre périodes de la COMP (Figure t).

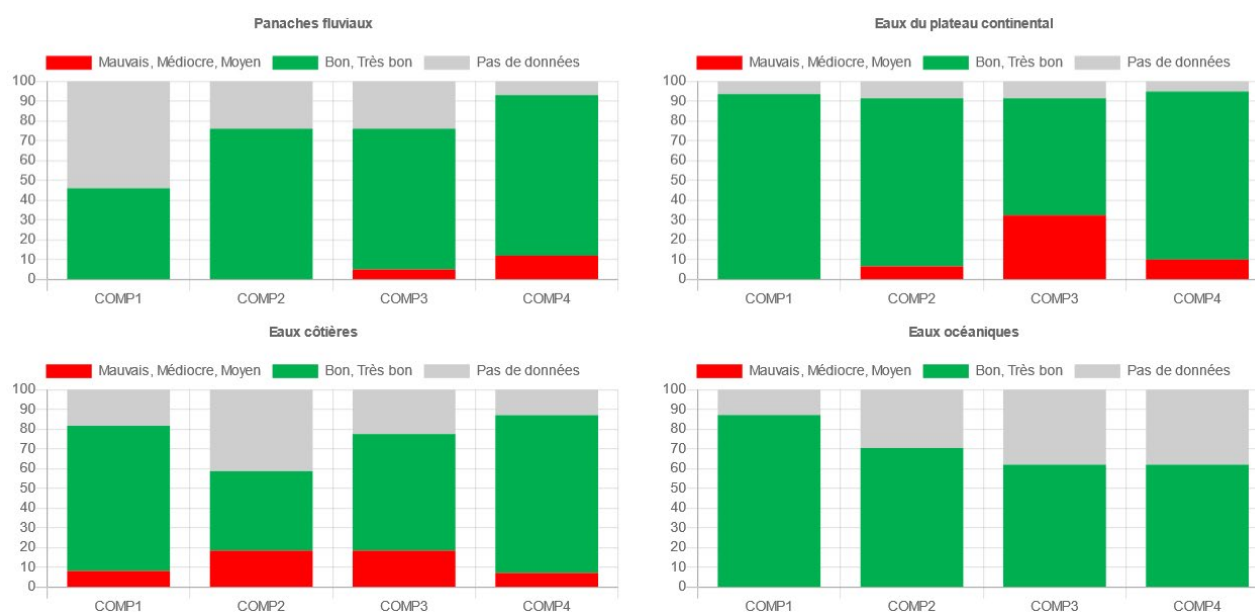


Figure t : Pourcentage de la superficie des panaches fluviaux, des eaux côtières, des eaux du plateau continental et des eaux océaniques classé dans les catégories d'état « mauvais », « médiocre » ou « moyen » (rouge) ou « bon » ou « très bon » (vert) au cours des périodes d'évaluation de la COMP1, de la COMP2, de la COMP3 et de la COMP4. Les barres grises indiquent les zones d'évaluation pour lesquelles il manque des données.

Conclusion (version succincte)

Dans la plupart des zones des Régions d'OSPAR évaluées pour la COMP, on n'a pas observé d'insuffisance d'oxygène généralisée. Des zones localisées d'insuffisance d'oxygène sont toutefois apparentes, en particulier dans les zones Est de la mer du Nord, Kattegat et Golfe de Gascogne. Les teneurs en oxygène et le pourcentage de saturation en oxygène s'améliorent dans le Kattegat, et se détériorent dans une zone localisée du sud-est de la mer du Nord. Le Skagerrak, le Kattegat et le Sund présentent des teneurs moyennes plus faibles, mais on y voit des améliorations au fil du temps.

Conclusion (version étendue)

Dans la plupart des zones des Régions d'OSPAR évaluées pour la COMP, on n'a pas observé d'insuffisance d'oxygène généralisée. Des zones localisées d'insuffisance d'oxygène sont toutefois apparentes, en

particulier dans les zones Est de la mer du Nord, Kattegat et Golfe de Gascogne. Les teneurs en oxygène et le pourcentage de saturation en oxygène s'améliorent dans le Kattegat, et se détériorent dans une zone localisée du sud-est de la mer du Nord. Le Skagerrak, le Kattegat et le Sund présentent des teneurs moyennes plus faibles, mais on y voit des améliorations au fil du temps.

Il existe des tendances statistiquement significatives à la diminution de la teneur en oxygène dans 5 régions (Atlantique, Atlantique, stratification saisonnière, Panache de la Meuse, Panache de l'Escaut, Fosse norvégienne), et à l'augmentation de la teneur en oxygène dans une région (Côtes du Kattegat). Sur ces régions, la région Atlantique, stratification saisonnière est la seule où la solubilité réduite due à l'augmentation de la température de la mer est l'effet dominant.

Changement climatique et oxygène dissous

Dans les mers du plateau continental européen, la plupart des zones (sauf la Baltique) présentent un bon mélange vertical en hiver chaque année, et les valeurs de surface des teneurs en oxygène sont ainsi restaurées. Comme la consommation d'oxygène est fortement dépendante de processus qui commencent sur le fond marin, les régions qui souffrent d'une faible teneur en oxygène sont celles qui ont un volume d'eau relativement faible sous la thermocline. Le changement climatique peut influencer la teneur en oxygène dissous de nombreuses façons, de toute évidence, par son effet direct sur la solubilité, mais il peut aussi faire augmenter la stratification, en inhibant ainsi l'apport d'eaux oxygénées à des niveaux inférieurs. L'augmentation des teneurs en CO₂ peut favoriser la croissance du phytoplancton au-dessus ou au niveau de la thermocline ; lorsque le phytoplancton se décompose et est consommé en dessous de la thermocline, cela peut faire diminuer les teneurs en oxygène. L'augmentation de la température de l'eau au niveau du fond peut aussi entraîner une augmentation de la consommation par les bactéries, en faisant ainsi baisser encore plus la teneur en oxygène.

Le climat et les océans sont très étroitement liés, le changement climatique ayant de graves effets sur les écosystèmes marins. On estime que la quantité du gaz dissous dans les océans a diminué de 2 % entre 1960 et 2010, bien qu'il existe de très fortes variations régionales, de nombreux facteurs entrant en jeu.

Lacunes dans les connaissances (version succincte)

L'importance relative des processus biologiques et des processus physiques (p. ex. le mélange et les courants) dans le contrôle de la dynamique de l'oxygène près du fond, ainsi que les impacts du changement climatique sur les processus physiques, l'insuffisance d'oxygène et la consommation d'oxygène, sont des aspects assez difficiles à maîtriser, en raison de multiples interactions entre les processus physiques et les processus biologiques.

Des travaux supplémentaires sur la profondeur du fond marin, visant à établir le niveau de profondeur qui convient le mieux, en cherchant à déterminer le niveau où se situerait la teneur minimale en OD, car il se peut que les méthodes actuelles ne permettent pas de détecter une très faible teneur en OD.

Nécessité de disposer de meilleures données pour saisir la grande variabilité spatiale et temporelle, par exemple à l'aide de dispositifs d'échantillonnage automatisés, avec une modélisation à l'appui.

Développement des méthodes d'évaluation (p. ex. en incluant des modèles, en considérant le nombre de jours en dessous du seuil).

Lacunes dans les connaissances (version étendue)

L'importance relative des processus biologiques et des processus physiques (p. ex. le mélange et les courants) dans le contrôle de la dynamique de l'oxygène près du fond, ainsi que les impacts du changement climatique sur les processus physiques, l'insuffisance d'oxygène et la consommation d'oxygène, sont des aspects assez difficiles à maîtriser, en raison de multiples interactions entre les processus physiques et les processus biologiques. Des études récentes ont mis l'accent sur la distinction entre les effets de l'enrichissement en nutriments et les changements de température de l'eau de mer résultant du changement climatique. En outre, pour pouvoir réaliser des évaluations robustes de l'insuffisance d'oxygène, on a besoin d'une meilleure disponibilité de données pertinentes. Comme l'insuffisance d'oxygène est localisée et souvent de courte durée, la modélisation peut aider à identifier les points chauds (voir l'exemple ci-dessous).

La région Atlantique, stratification saisonnière, qui comprend une grande partie de la mer celtique, est une zone peu couverte par les observations. Les modèles biogéochimiques (Ciavatta, 2016 ; van Leeuwen et al., 2015), qui reproduisent bien les observations, montrent que des zones assez étendues présentant de faibles teneurs en oxygène peuvent apparaître, mais pas dans les régions où l'échantillonnage a actuellement lieu. Non seulement les modèles ont un rôle à jouer dans l'orientation des futurs programmes et stratégies d'échantillonnage afin de tirer le maximum des ressources, mais ils pourraient aussi à l'avenir, s'ils sont correctement validés, être utilisés pour apporter des preuves concernant des régions où peu d'échantillons sont prélevés à l'heure actuelle.

Les modèles biogéochimiques validés ont la capacité d'évaluer l'impact de scénarios de réduction ciblés sur les teneurs en oxygène dans les zones à problème ; notons qu'il existe souvent une déconnexion spatiale entre les sources de nutriments et les zones impactées (Lehmann et al., 2014). Le système comporte aussi des décalages temporels potentiellement importants ; la modélisation peut donc aider à déterminer pendant combien de temps une mesure de gestion devra rester en place avant qu'un résultat ne devienne apparent. Des travaux supplémentaires sur la profondeur du fond marin, visant à établir le niveau de profondeur qui convient le mieux, en cherchant à déterminer le niveau où se situerait la teneur minimale en OD, car il se peut que les méthodes actuelles ne permettent pas de détecter une très faible teneur en OD (Ærtebjerg et al., 2002 ; Erlandsson et al., 2006). Le nombre de données disponibles pour l'évaluation est aussi réduit. Des changements concernant le fond marin peuvent se produire près du fond, et une distance de 10 m pourrait être trop éloignée des endroits où les changements sont mesurés. La distance de 10 m a été choisie pour des raisons pragmatiques, afin de pouvoir inclure la partie inférieure des profils lorsqu'ils ne sont pas trop proches du fond marin. Nous devons donc nous assurer que cette méthode est suffisante pour détecter les problèmes de diminution de la teneur en OD correspondant à une courbe en sac. Les données issues des profils et des gliders nous permettront d'explorer cet aspect en détail. Il se peut que les méthodes actuelles ne permettent pas de détecter une très faible teneur en OD.

On manque de connaissances essentielles lorsqu'il s'agit de comprendre les impacts du changement climatique sur les processus hydrodynamiques et l'insuffisance d'oxygène. Il va falloir réaliser un travail de recherche supplémentaire (Greenwood et al., 2010 ; Queste et al., 2013, 2016 ; Topcu et Brockmann, 2015 ; Große et al., 2016 ; Hansen et al., 2013a, 2013b) et d'autres évaluations fondées sur les niveaux de saturation en oxygène pour mieux comprendre les impacts du changement climatique. Pour les évaluations fondées sur les niveaux de saturation, les mesures de la teneur en oxygène doivent être associées à des mesures de la température et de la salinité, pour permettre de calculer le pourcentage de saturation. Dans de nombreuses zones d'évaluation, pour pouvoir réaliser des évaluations robustes de l'insuffisance d'oxygène, on a besoin d'une meilleure disponibilité de données pertinentes. L'ensemble de données initial du Conseil international pour l'exploration de la mer (CIEM) présentait une bonne couverture spatiale et temporelle, cependant cet ensemble de données s'est retrouvé largement réduit une fois filtré pour obtenir les données spécifiques requises pour les évaluations, par exemple des données provenant d'emplacements proches du fond marin et couvrant toute la période de stratification (du 1^{er} juillet au 31 octobre).

La base de données du CIEM comprend des données provenant de mesures effectuées à toutes les profondeurs. L'application de filtres (p. ex. profondeur, saison et salinité) réduit considérablement l'ensemble de données, ce qui souligne la nécessité de pratiquer une surveillance ciblée pour les évaluations futures. Un grand nombre des points de données disponibles se trouvaient dans les eaux littorales, et cette observation souligne combien il est important d'améliorer la couverture spatiale afin d'améliorer la confiance dans les évaluations des zones marines. De plus, des publications récentes (p. ex. Greenwood et al., 2010 ; Queste et al., 2013, 2016 ; Topcu et Brockmann, 2015 ; Große et al., 2016) indiquent que des données supplémentaires, qui ne sont pas encore incluses dans la base de données du CIEM, sont disponibles ; il est donc nécessaire de télécharger dans la base de données du CIEM les données de surveillance et/ou de recherche existantes qui sont conservées dans des bases de données locales ou régionales. L'élaboration de la méthodologie a pris bien des années et elle a été affinée pour la présente évaluation. Il faut continuer de l'améliorer pour assurer la faisabilité et résoudre les aspects pratiques de la surveillance et de l'évaluation à proximité du fond.

Références

- Ærtebjerg G, Carstensen J, Axe P, et al (2002) The 2002 Oxygen Depletion Event in the Kattegat, Belt Sea and Western Baltic. *Baltic Sea Environment Proceedings* No. 90. Helsinki Comm 66 pp
- Artoli, Yuri, Jana Friedrich, Alison J. Gilbert, Abigail McQuatters-Gollop, Laurence D. Mee, Jan E. Vermaat, Fred Wulff, Christoph Humborg, Luca Palmeri, and Falk Pollehne. "Nutrient budgets for European seas: a measure of the effectiveness of nutrient reduction policies." *Marine Pollution Bulletin* 56, no. 9 (2008): 1609-1617.
- Barry J and Maxwell D (2015) Tools for environmental and ecological survey design and analysis. <https://r-forge.r-project.org/projects/emon/>
- Best M, Wither AW, Coates S (2007) Dissolved oxygen as a physico-chemical supporting element in the Water Framework Directive. *Mar Poll Bull* 55:53–64. doi: 10.1016/j.marpolbul.2006.08.037.
- Brockmann, U. H., and K. Eberlein. "River input of nutrients into the German Bight." In *The role of freshwater outflow in coastal marine ecosystems*, pp. 231-240. Springer Berlin Heidelberg, 1986.
- Brockmann, U., Billen, G. and Gieskes, W.W., 1988. North Sea nutrients and eutrophication. *Pollution of the North Sea: an assessment*, pp.348-389.
- Ciavatta, S., Kay, S., Saux-Picart, S., Butenschon, M. and Allen, J.I. (2016) Decadal reanalysis of biogeochemical indicators and fluxes in the North West European shelf-sea ecosystem. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. **121**, doi: 10.1002/2015JC011496
- Chan, Francis, J. A. Barth, J. Lubchenco, A. Kirincich, H. Weeks, William T. Peterson, and B. A. Menge. "Emergence of anoxia in the California current large marine ecosystem." *Science* 319, no. 5865 (2008): 920-920.
- Conley, D. J. (2002). Terrestrial ecosystems and the global biogeochemical silica cycle. *Global Biogeochemical Cycles*, 16(4), 68-1.
- European Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources
- ECJ 2009. European Court of Justice Judgment of the Court (Third Chamber) of 10 December 2009. *European Commission v United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland. Failure of a Member State to fulfil obligations – Environment – Directive 91/271/EEC – Urban waste water treatment - Article 3(1) and (2), Article 5(1) to (3) and (5) and Annexes I and II – Initial failure to identify sensitive areas – Concept of ‘eutrophication’ – Criteria – Burden of proof – Relevant date when considering the evidence – Implementation of collection obligations – Implementation of more stringent treatment of discharges into sensitive areas.* Case C-390/07 *European Court Reports* 2009 I-00214
- EPA and Marine Institute (2016) Ireland National Eutrophication Report under the Common Procedure, 2016. ICG EUT 17/4/Info.3. Compiled by the Environmental Protection Agency and the Marine Institute. 53 pp
- Erlandsson CP, Stigebrandt A, Arneborg L (2006) The sensitivity of minimum oxygen concentrations in a fjord to changes in biotic and abiotic external forcing. *Limnol Oceanogr* 51:631–638. doi: 10.4319/lo.2006.51.1_part_2.0631

- Greenwood N, Parker ER, Fernand L, et al (2010). Detection of low bottom water oxygen concentrations in the North Sea; implications for monitoring and assessment of ecosystem health. *Biogeosciences* 7:1357-1373
- Große F, Greenwood N, Kreuz M, et al (2016) Looking beyond stratification: a model-based analysis of the biological drivers of oxygen depletion in the North Sea. *Biogeosciences Discuss* 12:12543–12610. doi: 10.5194/bgd-12-12543-2015 <http://www.biogeosciences.net/13/2511/2016/>
- Gröger, Matthias, Ernst Maier-Reimer, Uwe Mikolajewicz, Andreas Moll, and Dmitry Sein. "NW European shelf under climate warming: implications for open ocean–shelf exchange, primary production, and carbon absorption." *Biogeosciences* 10, no. 6 (2013): 3767-3792.
- Hansen JLS, Bendtsen J (2013a) Increasing hypoxia in the North Sea – Baltic Sea transition zone in a future warmer climate. 2013.
- Hansen JLS, Bendtsen J (2013b) Parameterisation of oxygen dynamics in the bottom water of the Baltic Sea-North Sea transition zone. *Mar Ecol Prog Ser* 481:25–29. doi: 10.3354/meps10220
- Kendall, MG (1975) *Rank correlation methods*, 4th ed.; Charles Griffith: London.
- Lehmann A, Hinrichsen HH, Getzlaff K, Myrberg K (2014) Quantifying the heterogeneity of hypoxic and anoxic areas in the Baltic Sea by a simplified coupled hydrodynamic-oxygen consumption model approach. *J Mar Syst* 134:20–28. doi: 10.1016/j.jmarsys.2014.02.012
- Levin L, Ekau W, Gooday AJ, et al (2009) Effects of natural and human-induced hypoxia on coastal benthos. *Biogeosciences* 2063–2098. doi: 10.5194/bgd-6-3563-2009
- Mann HB (1945) Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, 13, 245-259.
- Meire LK, Soetaert KE, Meysman FJ. Impact of global change on coastal oxygen dynamics and risk of hypoxia. *Biogeosciences*. 2013 Apr 19;10(4):2633-53.
- Montgomery, HoAoCo, N. S. Thom, and A. Cockburn. "Determination of dissolved oxygen by the Winkler method and the solubility of oxygen in pure water and sea water." *Journal of Applied Chemistry* 14, no. 7 (1964): 280-296.
- Peeters, J. C. H., F. J. Los, R. Jansen, H. A. Haas, L. Peperzak, and I. De Vries. "The oxygen dynamics of the Oyster Ground, North Sea. Impact of eutrophication and environmental conditions." *Ophelia* 42, no. 1 (1995): 257-288.
- OSPAR Agreement 2010-03. The North-East Atlantic Environment Strategy. Strategy of the OSPAR Commission for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic 2010–2020
- OSPAR Agreement 2013-8. Common Procedure for the Identification of the Eutrophication Status of the OSPAR Maritime Area. Supersedes Agreements 1997-11, 2002-20 and 2005-3
- OSPAR (2022). Revision of the Common Procedure for the Identification of the Eutrophication Status of the OSPAR Maritime Area. OSPAR Agreement 2022-07.
- Queste BY, Fernand L, Jickells TD, Heywood KJ (2013). Spatial extent and historical context of North Sea oxygen depletion in August 2010. *Biogeochemistry* 113:53–68. doi: 10.1007/s10533-012-9729-9
- Queste BY, Fernand L, Jickells TD, et al (2016) Drivers of summer oxygen depletion in the central North Sea. *Biogeosciences Discuss* 12:8691–8722. doi: 10.5194/bgd-12-8691-2015
- SMHI (2007) Swedish National Report on Eutrophication Status in the Kattegat and the Skagerrak. OSPAR Assessment 2007. 103 pp.
- SMHI (2016) Swedish National Report on Eutrophication Status in the Skagerrak, Kattegat and the Sound. OSPAR Assessment 2016. ICG EUT 17/4/Info.6. 70 pp.
- Topcu HD, Brockmann UH (2015) Seasonal oxygen depletion in the North Sea, a review. *Mar Pollut Bull* 99:5–27. doi: 10.1016/j.marpolbul.2015.06.021
- van Leeuwen S, Tett P, Mills D, van der Molen J (2015) Stratified and non-stratified areas in the North Sea: Long-term variability and biological and policy implications. *J Geophys Res Ocean* 120:4670–4686. doi: 10.1002/2014JC010485

Métadonnées d'évaluation

Field	Type de données	
Type d'évaluation	Liste	Évaluation d'indicateur
Résumé des résultats	URL	https://odims.ospar.org/en/submissions/ospar_dissolved_oxygen_msfd_2022_06/
Indicateur ODD	Liste	14.1 D'ici à 2025, prévenir et réduire nettement la pollution marine de tous types, en particulier celle résultant des activités terrestres, y compris les déchets en mer et la pollution par les nutriments
Activité thématique	Liste	Eutrophisation
Documentation OSPAR pertinente	Texte	<p>OSPAR Agreement 2010-03 The North-East Atlantic Environment Strategy. Strategy of the OSPAR Commission for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic 2010–2020</p> <p>OSPAR Agreement 2021-01 North-East Atlantic Environment Strategy (replacing Agreement 2010-03). Strategy of the OSPAR Commission for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic 2030</p> <p>OSPAR Agreement 2013-08 Common Procedure for the Identification of the Eutrophication Status of the OSPAR Maritime Area</p> <p>OSPAR Agreement 2022-07 Common Procedure for the Identification of the Eutrophication Status of the OSPAR Maritime Area</p> <p>OSPAR Agreement 2016-01 OSPAR Coordinated Environmental Monitoring Programme (CEMP). Revised in 2017</p> <p>OSPAR Agreement 2016-05 CEMP Guidelines for coordinated monitoring for eutrophication, CAMP and RID. Revised in 2021</p>
Date de publication	Date	2022-06-30
Conditions d'accès et d'utilisation	URL	https://oap.ospar.org/fr/politique-de-donnees/
Instantané de données	Fichier Zip	https://odims.ospar.org/en/submissions/ospar_dissolved_oxygen_snapshot_2022_06/
Résultats des données	URL	https://odims.ospar.org/en/submissions/ospar_dissolved_oxygen_results_2022_06/
Source des données	URL	https://www.ices.dk/data/data-portals/Pages/DOME.aspx



COMMISSION
OSPAR

OSPAR Secretariat
The Aspect
12 Finsbury Square
London
EC2A 1AS
United Kingdom

t: +44 (0)20 7430 5200
e: secretariat@ospar.org
www.ospar.org

Notre vision est celle d'un océan Atlantique Nord-Est propre, sain et biologiquement diversifié, qui soit productif, utilisé de manière durable et résilient au changement climatique et à l'acidification des océans.

Publication: 1011/2022

© OSPAR Commission, 2022. Permission may be granted by the publishers for the report to be wholly or partly reproduced in publications provided that the source of the extract is clearly indicated.

© Commission OSPAR, 2022. La reproduction de tout ou partie de ce rapport dans une publication peut être autorisée par l'Editeur, sous réserve que l'origine de l'extrait soit clairement mentionnée.