

DDTM34
DML- Unité: navigation professionnelle et de
plaisance
34207 SETE Cedex

Objet : Expertise sur les mortalités constatées durant le mois d'août 2018 sur l'étang de Thau au moment de la canicule et de la malaïgue

Sète, le 05/10/2018

N/Réf. ODE/UL/LERLR 18/22

V/Réf. Saisine DDTM34 du 19/09/2018 CM01-2018

Par votre courrier du 19/09/2018, vous sollicitez l'expertise de l'Ifremer sur les mortalités constatées durant le mois d'août sur l'étang de Thau, sur toutes les espèces autres que les moules et les huîtres. Votre sollicitation porte sur les questions suivantes : (i) des seuils anormaux de mortalités ont-ils été observés par nos soins et ces mortalités sont-elles imputables à la malaïgue ? (ii) De manière générale, les fortes chaleurs sont-elles de nature à provoquer des mortalités supérieures à la moyenne ?

Vous trouverez ci-dessous les éléments contextuels ainsi qu'une revue bibliographique en lien avec les épisodes anoxiques.

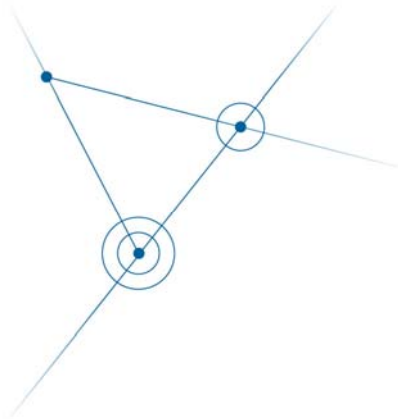
1. Contexte météorologique

Les chaleurs atmosphériques de caractère exceptionnel, enregistrées par Météo-France entre le 24 juillet et le 8 août 2018, associées à une période de vent faible majoritairement inférieur à 20 km.h⁻¹, ont favorisé le développement du phénomène de stress hypoxique et anoxique¹ connu localement sous le nom de « malaïgue ». Les températures élevées ont induit : i) une augmentation excessive de la température de l'eau (supérieure à 29°C du 2 au 8 août - Figure1) ; ii) une diminution de la solubilité de l'oxygène dissous dans l'eau². En outre, l'absence de vent a limité la circulation et le

¹ Etat du milieu en fonction des concentrations en oxygène (mgO₂.L⁻¹)

Anoxie (malaïgue)	Hypoxie	Stress biologique	Etat satisfaisant
< 0.05 mgO ₂ .L ⁻¹	0.05 << 2 mg O ₂ .L ⁻¹	2 << 5 mg O ₂ .L ⁻¹	> 5 mg O ₂ .L ⁻¹

² La solubilité de l'oxygène dans l'eau (généralement appelée « saturation ») correspond à la concentration d'équilibre, en oxygène dissous, lorsque l'atmosphère et l'eau sont en contact. En l'absence de processus biologiques (qui peuvent produire ou consommer de l'oxygène) la valeur de saturation dépend principalement de la température de l'eau : la quantité d'oxygène disponible dans l'eau décroît avec l'augmentation de la température.



mélange des masses d'eau dans la lagune ainsi que les processus de ré-oxygénation de la colonne d'eau par l'air.

Ces conditions exceptionnelles se sont également cumulées à celles d'un début d'année pluvieux : le cumul des précipitations sur les six premiers mois de l'année 2018 est équivalent au cumul annuel moyen - de l'ordre de 544 mm.an^{-1} sur la période 1994-2016 (Bec *et al.*, 2018).

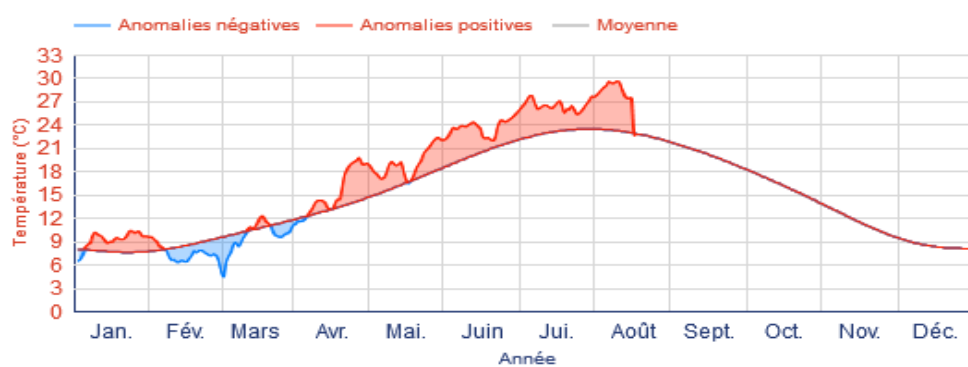


Figure 1 : Courbe de température de l'eau (moyennes journalières) du 1 janvier 2018 au 12 août 2018 avec une comparaison de la température moyenne des 15 dernières années. Les données sont acquises dans le cadre de l'observatoire Ifremer Ecoscopa/Velyger sur la table expérimentale de l'Ifremer en zone de Marseillan.

Les apports d'azote et de phosphore en provenance des bassins versants lors des événements pluvieux et les températures printanières supérieures à la moyenne (Figure 1) ont augmenté la productivité du milieu et ont vraisemblablement favorisé la production de macroalgues.

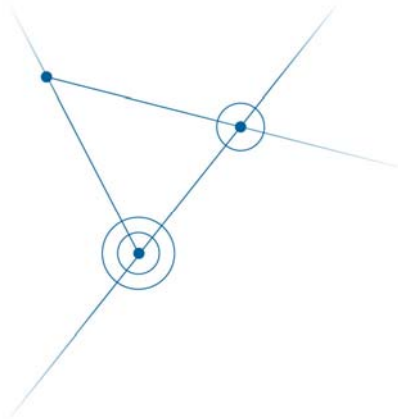
2. Observations *in situ*

Dans ces conditions, la demande en oxygène a fortement augmenté durant l'été en lien avec les processus de respiration des organismes vivants et de dégradation, puis de minéralisation de la matière organique. Les processus de production d'oxygène dans la colonne d'eau étant limités, ils n'ont pu compenser cette demande et le stock d'oxygène disponible dans la colonne s'est épuisé durant l'été.

Le suivi préventif malaïgue porté par le SMBT³ a mis en évidence dès le 3 août 2018 des concentrations en oxygène dissous au fond inférieures à $0.5 \text{ mgO}_2.L^{-1}$ sous les tables conchylicoles situées à terre et en milieu de colonnes des zones de Bouzigues, Mèze et Marseillan (cf. documents joints : Tableau du Suivi Malaïgue 2018, 3 août 2018, point 5, 5b, 6, 8, 20). Les 6 et 7 août, l'hypoxie a gagné la totalité de la colonne d'eau sur les bordures (points F, G, H, J) et au niveau des tables conchylicoles de Mèze (point 21) et de Marseillan (Point 5) illustrant l'épuisement progressif du stock d'oxygène disponible (cf. Tableau Cartes Suivi Malaïgue 2018, 6 et 7 août).

L'Ifremer n'a pas opéré durant l'été 2018 de suivi des communautés benthiques, toutefois, des campagnes d'échantillonnage ont eu lieu dans le cadre du projet de

³ <http://www.smbt.fr/content/le-suivi-pr%C3%A9ventif-mala%C3%AFgue>



recherche franco-japonais SAKURA. Durant ces campagnes, des zones appauvries en oxygène ont été observées sur les bordures de la lagune de Thau (Mourre Blanc). Des masses d'eau blanchâtres, caractéristiques de milieu anoxique, ont été observées au niveau des premières tables conchylicoles de Mèze entre le 6 et 10 août 18. Des mortalités d'oursins (Figure 2) et de poissons ont également été observées durant ces sorties.

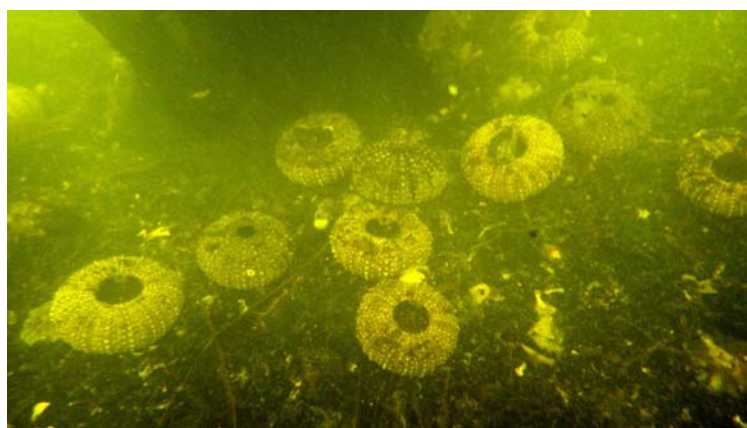


Figure 2 : photographie prise sous la table de l'Ifremer dans la zone de Marseillan le 07/08/18 (@ Masakazu Hori)

3. Revue bibliographique sur les phénomènes d'hypoxie et leur impact sur les organismes marins

Nous vous proposons ci-dessous une synthèse bibliographique sur les impacts écologiques associés au phénomène d'hypoxie.

L'effet de l'hypoxie sur les organismes marins est largement étudié (Diaz & Rosenberg 1995, Diaz 2001, Gray *et al.*, 2002, Vaquer-Sunyer & Duarte 2008, Riedel *et al.*, 2012, 2014), ces phénomènes ne cessant d'être répertoriés à travers le monde (Figure 2 issue de Diaz & Rosenberg 2011).

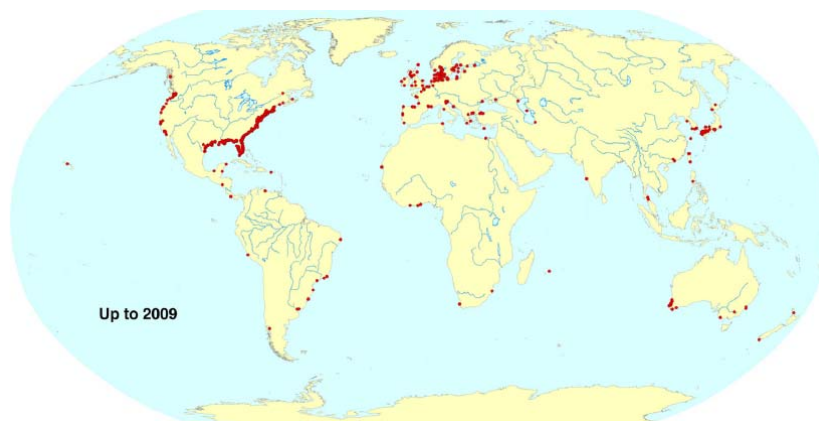


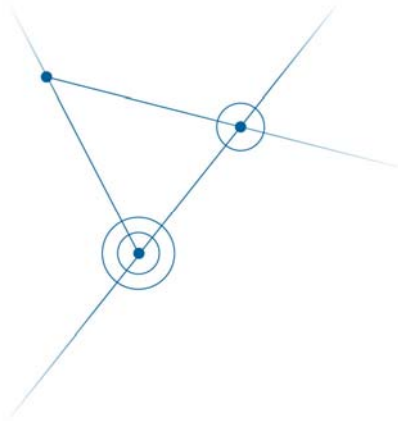
Figure 3. Distribution mondiale des cas d'hypoxie répertoriée depuis 2009 en relation avec les activités humaines. Source : Diaz et Rosenberg 2011, adapté de Rabelais *et al.* 2010.

Institut français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer
Établissement public à caractère industriel et commercial

Station de Sète
Avenue Jean Monnet
CS 30171
34203 Sète cedex - France
+33 (0)4 99 57 32 00

Siège Social
155, rue Jean-Jacques Rousseau
92138 Issy-les-Moulineaux Cedex
France
R.C.S. Nanterre B 330 715 368
APE 7219Z
SIRET 330 715 368 00297
TVA FR 46 330 715 368
+33 (0)1 46 48 21 00

www.ifremer.fr



Des modèles de successions de communautés benthiques selon un gradient d'oxygène ont pu être définis (Figure 4). La sensibilité des organismes à un épisode hypoxique dépend de leur capacité de mobilité, de leur physiologie, de leur relation avec le sédiment et de leur régime trophique.

Comme illustré dans le modèle de Gray (1992), les poissons réagissent rapidement à la diminution des teneurs en oxygène (<40 % : Fig. 3). Les plus gros organismes vagiles quittent la zone pour des milieux plus oxygénés. Les petits poissons (petites espèces ou juvéniles) sont plus impactés par l'hypoxie en relation avec leur faible capacité nataoire. Passé le seuil des 2 mgO₂.L⁻¹, l'activité de nage des daurades (*Sparus aurata*) décline indiquant une augmentation du stress métabolique (Remen *et al.*, 2015). La mortalité de poissons a été répertoriée autour du monde en lien avec des phénomènes d'hypoxies lorsque ces derniers ne pouvaient pas éviter ou échapper aux zones impactées (Diaz & Rosenberg 2011). Ainsi en 50 ans, 383 millions de poissons ont été tués par ces phénomènes le long du Texas (Thronson & Quigg 2008).

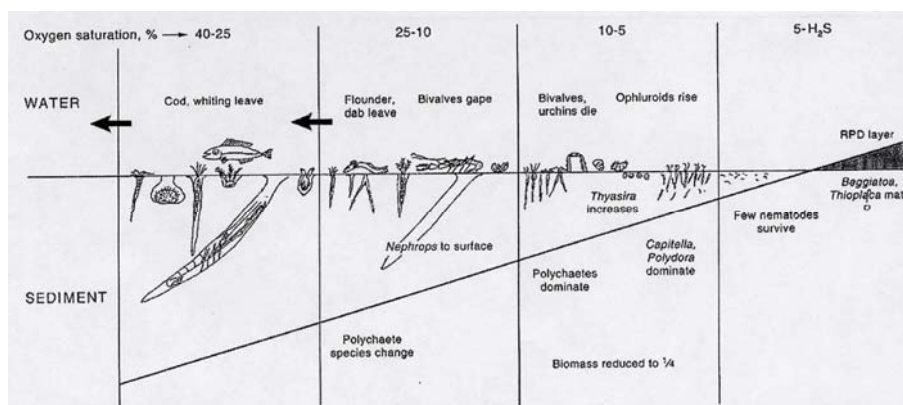
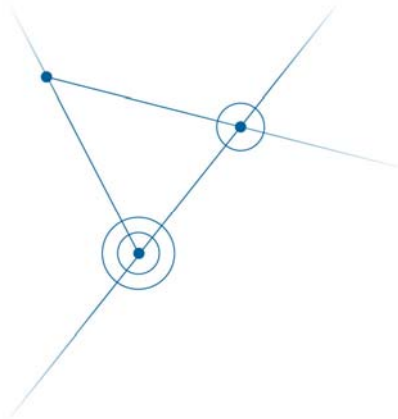


Figure 4 : Modèle général de la distribution de la faune benthique, comportements des différentes espèces selon un gradient de saturation en oxygène, d'après Gray, 1992

En ce qui concerne les invertébrés, ces derniers deviennent sensibles aux variations d'oxygène lorsque le pourcentage de saturation en oxygène est inférieur à 25%. De nombreuses études rapportent que les crustacés sont les moins tolérants à l'hypoxie, suivis des polychètes et des mollusques (Diaz & Rosenberg 1995, Gray *et al.* 2002). Stickle *et al.* (1989) indiquent qu'une mortalité importante se produit chez les jeunes crabes et crevettes, à des stades du cycle biologique durant lesquels les organismes sont incapables d'éviter les masses d'eau hypoxique. Les activités de nutrition, de croissance et de reproduction des organismes benthiques diminuent avec l'hypoxie (Diaz et Rosenberg, 1995). L'activité de ventilation de certains vers polychètes est interrompue.

La bioturbation s'affaiblit et le remaniement du sédiment est moins important. L'oxygène pénètre de manière moins importante dans le sédiment. Sous le seuil des 10% de saturation en oxygène, les crustacés et les échinodermes, plus sensibles à la perturbation, meurent les premiers (Figure 4). Lorsque l'hypoxie s'intensifie et persiste, les espèces de polychètes les plus tolérantes périssent à leur tour.

En condition d'anoxie, les processus de minéralisation de la matière organique sont régis par des processus anaérobie, utilisant différents agents oxydants contenus dans le



sédiment et les eaux interstitielles. La réduction des nitrates (NO_3^-), des oxydes de manganèse (MnO_4), des oxydes de fer (FeOH), des sulfates (SO_4^{2-}) puis du dioxyde de carbone (CO_2) sont ainsi utilisés comme voie de dégradation de la matière organique. Les produits de ces réactions sont, entre autres, l'ammonium (NH_4^+), de phosphate (PO_4^{2-}), les sulfures (HS^-) voir le méthane (CH_4) (Diaz & Rosenberg 1995). Tandis que les relargages d'ammonium et de phosphates à l'interface eau-sédiment peuvent favoriser une efflorescence de microalgues, le relargage de sulfures sous forme de sulfure d'hydrogène (H_2S) peut être mortel pour les organismes vivants, tout du moins pour les métazoaires. Les mortalités en condition anoxique peuvent découler d'un effet combiné d'asphyxie et d'empoisonnement par les sulfures sous le seuil des $0.5 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ (Gray et al. 2002). En condition anoxique, le sédiment devient azoïque et peut être recouvert de bactéries oxydatrices d'hydrogènes sulfures. Les émissions d'hydrogènes sulfures sont à l'origine de la décoloration des eaux au moment des malaïgues.

Les effets de l'hypoxie, de l'anoxie et des sulfures ont été testés expérimentalement sur quarante espèces de la macrofaune benthique (Riedel et al. 2012). Trente-trois espèces sont mortes durant l'anoxie, majoritairement des crustacés, des échinodermes et des polychètes, les mollusques paraissant plus tolérants. L'épifaune (située sur le sédiment) s'est montré plus vulnérable que l'endofaune (située dans le sédiment), les suspensivores et les déposivores plus tolérants que les prédateurs (Riedel et al. 2012). Parmi eux, le gastéropode *Hexaplex trunculus*, appelé « poivre » sur l'étang de Thau, résiste à l'hypoxie (Riedel et al. 2012, 2014). Passé le seuil des $2 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$, cette espèce essaye de s'échapper de la zone d'hypoxie et cherche un refuge en hauteur (Riedel et al. 2014). Les mortalités apparaissent après 50 heures d'anoxie et à des concentrations de 100 à 200 $\mu\text{M H}_2\text{S}$ (Riedel et al. 2012, 2014).

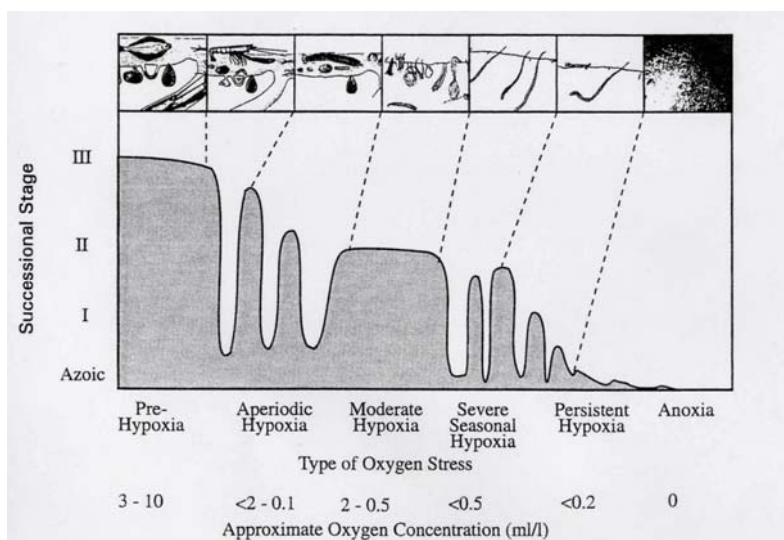


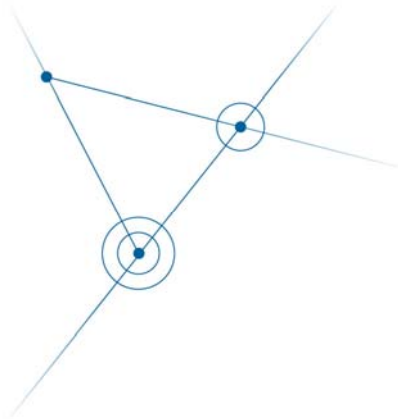
Figure 5 : Influence générale d'un gradient progressif d'hypoxie sur la variabilité et la succession des communautés benthiques. Stade III : communauté mature, stade II : communauté transitoire, Stade I : communauté d'opportunistes (stade succession de Pearson & Rosenberg, 1978, d'après Diaz et Rosenberg, 1995)

Institut français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer
Établissement public à caractère industriel et commercial

Station de Sète
Avenue Jean Monnet
CS 30171
34203 Sète cedex - France
+33 (0)4 99 57 32 00

Siège Social
155, rue Jean-Jacques Rousseau
92138 Issy-les-Moulineaux Cedex
France
R.C.S. Nanterre B 330 715 368
APE 7219Z
SIRET 330 715 368 00297
TVA FR 46 330 715 368
+33 (0)1 46 48 21 00

www.ifremer.fr



L'impact de l'hypoxie sur les organismes dépend de son intensité mais aussi de sa fréquence (épisodique ou continue). L'hypoxie aperiodique est le précurseur du développement de communautés résistantes, puisque les espèces les plus sensibles sont éliminées dès les premiers temps. L'hypoxie persistante induit la mortalité de nombreuses espèces, seules les espèces tolérantes subsistent. La persistance d'une hypoxie sévère ou même d'une anoxie, diminue les capacités de croissance et de reproduction des espèces, les espèces meurent et la zone se voit dépourvue d'organismes (Figure 5).

Diaz & Rosenberg (1995) et Diaz (2001) ont répertorié les conséquences d'épisodes d'hypoxie/anoxie observés sur les organismes de la faune benthique et les stocks d'espèces exploités au niveau d'une quarantaine de milieux côtiers autour du monde. Au-delà de l'impact écologique engendré par ces événements sur la faune benthique, les auteurs spécifient que des impacts ont également été observés sur les stocks de palourdes (New Jersey), de coques (France), de homards (Suède, Danemark) et de poissons démersaux (Mer Baltique, Mer Noire).

4. Interprétation de l'Ifremer

Les températures de l'eau de la lagune de Thau ont été exceptionnellement élevées au cours de la période du 01 juillet au 8 août 2018 par rapport à la moyenne des températures sur les dix dernières années. Ces conditions météorologiques ont favorisé le développement de malaïgue au niveau de la lagune de Thau, induisant les mortalités d'huîtres (30% du cheptel) de moules (100% du cheptel).

N'ayant pas opéré de suivi des communautés benthiques durant l'été 2018 nous **ne sommes pas en mesure de vous fournir une évaluation des mortalités** des autres organismes vivants dans la lagune. Toutefois, compte tenu de nos observations *in situ* durant le mois d'août et à la lumière de la revue bibliographique présentée, nous pouvons conclure que la malaïgue a également entraîné des mortalités de nombreux organismes benthiques (mollusques, polychètes, crustacés, échinodermes) et de poissons ne pouvant pas échapper aux zones impactées, ou ne pouvant accéder à des zones plus oxygénées.

Nous restons à votre disposition si de plus amples détails devaient être apportés sur la thématique des malaïgues en lagune méditerranéenne.

Je vous prie d'agréer, l'expression de mes salutations distinguées.

Le directeur de la Station Ifremer de Sète

**Institut français de Recherche
pour l'Exploitation de la Mer**
Établissement public à caractère
industriel et commercial

Station de Sète
Avenue Jean Monnet
CS 30171
34203 Sète cedex - France
+33 (0)4 99 57 32 00

Siège Social
155, rue Jean-Jacques Rousseau
92138 Issy-les-Moulineaux Cedex
France
R.C.S. Nanterre B 330 715 368
APE 7219Z
SIRET 330 715 368 00297
TVA FR 46 330 715 368
+33 (0)1 46 48 21 00

www.ifremer.fr