

Les malaïgues - Ifremer

Introduction

En été, la lagune de Thau est parfois soumise à des crises anoxiques désignées localement par le terme « malaïgues » qui signifie « mauvaises eaux ». Il s'agit d'une chute de la teneur en oxygène de l'eau pendant des périodes de calme et de chaleur. Des foyers d'anoxie se développent avec production d'hydrogène sulfuré. Les eaux prennent une couleur blanc laiteux due aux processus bactériens anaérobies. Le milieu devient toxique pour les animaux et les végétaux qui s'y trouvent. Depuis 1975, année où la malaïgue a touché l'ensemble de la lagune et entraîné de nombreuses pertes de coquillages, la malaïgue est réapparue en 1982, 1983, 1987, 1990 et 1997 avec une ampleur variable selon les années. En 1997 l'alerte a été donnée le 22 août lorsque la malaïgue a touché la zone conchylicole de Mèze. Ce n'est que fin août que la malaïgue a régressé, mais il a fallu attendre la mi-septembre pour que la saturation en oxygène remonte à 80 % à la suite de vents plus soutenus. Le tonnage de coquillages perdus est estimé à 3500 t, soit près du tiers de la production annuelle de Thau.

Un modèle hydrodynamique en trois dimensions reproduit la circulation dans la lagune en fonction du vent et de la température de l'eau. Il est couplé à un modèle de l'oxygène, de la matière organique et des sulfures afin de simuler le déroulement des malaïgues. La formation de la malaïgue est liée à une dégradation massive de matière organique, associée à une forte demande en oxygène. Elle peut apparaître soit dans certaines zones-foyers, en bordure de la lagune, soit au fond à des profondeurs supérieures à 6 m, en cas de stratification thermique. Les foyers sont des lieux de fortes concentrations en matière organique. La matière organique se minéralise et induit une consommation d'oxygène. Quand tout l'oxygène est consommé, le métabolisme aérobie de dégradation cède la place à une dégradation anaérobie de la matière organique par réduction des sulfates (processus dominant la réduction des nitrates). Dans le modèle, l'hypothèse de départ est l'équilibre de l'ensemble de la lagune avec saturation en oxygène (les processus consommateurs équilibrant les processus producteurs d'oxygène). Après la création d'un déficit en oxygène par minéralisation de la matière organique au foyer, l'anoxie du foyer se propage par advection et diffusion, selon de la circulation hydrodynamique. Quand la concentration en oxygène devient inférieure à 1 % de la concentration à saturation en un point (ou dans une maille du modèle), le déséquilibre qui apparaît entraîne une mortalité d'individus ou de végétaux présents dans la maille et induit une demande supplémentaire en oxygène. Cette matière organique est présente au fond des zones conchylicoles formée par les biodépôts et les macrophytes, dans la colonne d'eau correspondant aux huîtres et aux épibiontes. Dans les fonds situés en dehors des zones conchylicoles la matière organique correspond aux tapis de macroalgues (Tournier et al., 1990). La réaération, processus tampon d'échanges entre l'oxygène de l'air et de l'eau, permet de réoxygéner la colonne d'eau, d'autant plus que l'intensité du vent est grande.

Modélisation

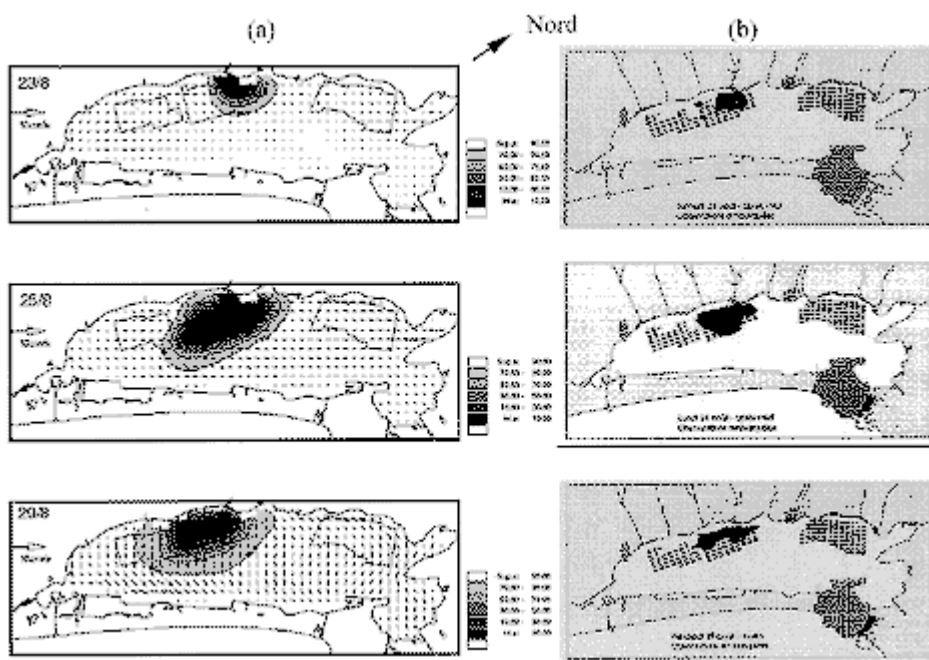
Le modèle hydrodynamique a été déjà partiellement décrit (Lazure, 1992). Il résout les équations tridimensionnelles de la mécanique des fluides, dans l'hypothèse hydrostatique, et les équations de conservation de la chaleur et du sel. Les discrétisations spatiales sont effectuées selon une grille horizontale régulière. Sur la verticale, un changement de coordonnées permet de conserver un nombre constant de mailles (coordonnées sigma). Pour

l'étang de Thau, une maille horizontale de 400 m et 10 niveaux sur la verticale sont utilisés. Le processus dynamique dominant est l'action du vent à la surface de l'étang. Selon la force et la direction du vent, la circulation s'organise en cellules horizontales et verticales contraintes par la bathymétrie. Les périodes de vents faibles ou nuls sont propices à la mise en place de stratifications d'autant plus importantes que les rivières environnantes sont en crue. Le modèle biologique comporte trois variables d'état : la matière organique (MO), exprimée en carbone, $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, l'oxygène (O_2) en $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ et les sulfures en $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-3}$. L'oxygène et les sulfures sont définis dans la colonne d'eau et transportés avec les courants. La matière organique est considérée comme fixe, soit dans la colonne d'eau (huîtres et épibiontes) soit sur le fond (macroalgues et biodépôts).

Malaïgue de 1997

Les concentrations initiales en oxygène sont calculées à saturation pour la température et la salinité. On considère qu'il n'y a pas de sulfures (pas de conditions anoxiques au fond). Les concentrations initiales en matière organique correspondent non pas à la matière organique détritique totale du sédiment mais à la matière organique supplémentaire qui peut être dégradée en cas d'anoxie. Il s'agit des huîtres dans la colonne d'eau, des macrophytes et des biodépôts au fond. La malaïgue démarre au foyer du Mourre Blanc le 16 août, veille du premier jour où elle a été observée (Souchu et al., 1998b). Le 16 août correspond également à la fin d'un épisode de calme (pas de vent supérieur à $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ dans les cinq jours précédents) et à un épisode pluvieux ayant entraîné un écoulement du cours d'eau, le Nègue Vaques. En l'absence de données sur les débits et les concentrations du Nègue Vaques, il est difficile et inutile de simuler son impact. Il sert juste d'indicateur du déclenchement de la crise. La simulation est lancée à partir du 10 août jusqu'au 15 septembre 1997. Le pas de simulation est de 1000 s et le pas de visualisation des résultats est d'un jour.

Les résultats de la simulation montrent que l'anoxie apparaît au fond dès le 18 août près du foyer du Mourre Blanc, puis s'étend jusqu'aux tables côté terre de la zone de Mèze.



(a) Simulation de l'oxygène en surface, été 1997, et (b) observations d'après Souchu et al. 1998a.

Ce même jour, des ostréiculteurs avaient constaté des mortalités d'huîtres sur les tables côté terre. Le 23 août, la simulation montre une extension des eaux anoxiques vers le nord de la zone de Mèze. Elle touche les tables côté terre en surface et une plus grande partie de la zone au fond. Les courants sont faibles en raison du peu de vent et ne permettent pas un mélange important des eaux. Les mesures du 23 août sur l'étang montrent une extension de la malaïgue depuis le Mourre Blanc vers le centre et le nord de la lagune sur toute la colonne d'eau. La température de l'eau simulée avoisine 30 °C. Des températures in situ de 29,5 °C ont été relevées dans les eaux blanches de Mèze, et de 27,3 °C dans le reste de la lagune.

Dans le modèle, le 25 août, la malaïgue s'étend sur la zone de Mèze, en accord avec les observations in situ. L'extension au fond est plus importante qu'en surface et atteint le bord de la zone de Marseillan. Le modèle indique des concentrations élevées en sulfures dans les eaux anoxiques, jusqu'à 300 mmol·m⁻³ au fond. Il n'y a pas de mesures sur la lagune mais, dans des milieux assez similaires, on trouve des valeurs de 100 mmol·m⁻³ à 2000 mmol·m⁻³ dans le sédiment de surface et de 43 mmol·m⁻³ dans les eaux de fond de la baie de Chesapeake (Roden et Tuttle, 1992), de 0 à 800 mmol·m⁻³ dans la couche de fond à Rhode Island (Kennett et Hargraves, 1985). Le 29 août le modèle montre une diminution de l'anoxie qui se limite vers les tables côté terre de la zone de Mèze. La régression de la malaïgue est également visible sur les données.