

GARCIA Théo. 2023. Variabilité du zooplancton en baie de Marseille au cours des deux dernières décennies. Thèse doctorat 'Sciences de l'environnement', Aix-Marseille Université.

MIO - Mediterranean Institute of Oceanography, UMR 110 AMU - 7294 CNRS - 235 IRD – UTLN, 163 avenue de Luminy - Bât. OCEANOMED 13288 Marseille cedex 09, France.

**Contact : theo.garcia@mio.osupytheas.fr*

Résumé. Au cours des dernières décennies, les zones côtières nord occidentales de la Méditerranée ont subi de grands changements : les concentrations en nutriments ont diminué, la température de l'eau a augmenté. En parallèle, la condition corporelle relative de deux espèces de poissons planctonophages (sardine et anchois) dans le golfe du Lion s'est dégradée. Il a été suggéré que cette modification serait due à un contrôle ascendant via un changement de la quantité et de la qualité du zooplancton. Cette thèse présente l'analyse holistique multi-indices de séries temporelles issues du suivi bimensuel du zooplancton en baie de Marseille, à l'est du golfe du Lion, au cours des deux dernières décennies (2005-2022). Cette analyse comprend les variations de la biomasse, de la structure en espèces, de la structure en taille, du contenu énergétique, de la composition élémentaire et de la composition isotopique de la communauté zooplanctonique. En baie de Marseille, les séries temporelles du zooplancton présentent de fortes variations saisonnières et interannuelles pour l'ensemble des indices étudiés. L'étroit lien entre les variations quantitatives et qualitatives au sein du zooplancton et le gradient d'oligotrophisation du milieu suggère qu'un contrôle ascendant est majoritairement en action au sein de la communauté planctonique. Au cours des périodes avec une plus grande quantité de nutriments (hiver-printemps, et début de la série temporelle), la communauté zooplanctonique était largement dominée par des copépodes (herbivores, omnivores). À l'échelle de la communauté cela se traduit par une biomasse et des abondances plus élevées, tandis que les tailles et la diversité sont plus faibles. Au cours des périodes avec une plus faible quantité de nutriments (été-automne, et sur la fin de la série), la domination des copépodes herbivores et omnivores se réduit et de grands organismes filtreurs (ex : ptéropodes) et prédateurs (ex : chaetognathes, mais aussi des copépodes carnivores) apparaissent. À l'échelle de la communauté, cela se traduit par une biomasse et des abondances plus faibles, tandis que les tailles et la diversité sont plus élevées. Les analyses portant sur la biochimie et les traceurs isotopiques de la classe de taille 300-500 µm prise comme référence du zooplancton, ont montré à partir de 2009 des modifications de la composition biochimique, élémentaire et isotopique du zooplancton avec une diminution des lipides, une augmentation des protéines et des augmentations des ratios d'isotopes stables de l'azote et du carbone. Ces modifications sont cohérentes avec une augmentation de l'oligotrophie du milieu. Les analyses des contenus biochimiques et des ratios isotopiques, réalisées pour quelques années contrastées, sur l'ensemble des classes de tailles du zooplancton (de 200 à >2 000 µm) ont permis de confirmer la diminution de la concentration en lipides de toutes les classes. Les valeurs de nombreux indices ont drastiquement changé au cours des années 2010, en cohérence avec de phénomènes comparables observés sur d'autres séries méditerranéennes. Cependant, les variations interannuelles de la biomasse de la classe de taille 1 000-2 000 µm, des concentrations en lipides et en protéines, et des ratios isotopiques s'observent plus tôt (dès 2008) coïncidant avec la période de crise pour les petits poissons pélagiques. Ces résultats permettent, dès lors, d'apporter des éléments de compréhension sur le potentiel effet de la modification du zooplancton sur le phénomène de diminution de taille et de condition corporelle des petits poissons planctonophages dans le golfe du Lion. Cette période critique au sein du zooplancton en baie de Marseille serait passée inaperçue sans l'analyse conjointe de la composition spécifique, quantitative et qualitative du zooplancton. Cette thèse démontre l'intérêt de l'application de plusieurs indices complémentaires afin de caractériser les dynamiques du zooplancton dans les suivis à long-terme.

Mots-clés : Zooplancton, Méditerranée Nord-Occidentales, Séries temporelles, Changements environnementaux, Points de bascule écologique.

Abstract. Variability of zooplankton in the Bay of Marseille over the last two decades.

In recent decades, the coastal zones of the north-western Mediterranean Sea have undergone major changes: nutrient concentrations have decreased and water temperatures increased. In parallel, the relative body condition of two small planktivorous fish (sardine and anchovy) has decreased in the Gulf of Lion. This pattern was suggested as a bottom-up consequence of quantitative and qualitative changes of zooplankton. This thesis presents a holistic multi-index analysis of time series from bimonthly monitoring of zooplankton in the Bay of Marseille, in the eastern Gulf of Lion, over the last two decades (2005-2022). This thesis analyses variations in the biomass, structure in species, structure in size, energy content, elemental composition and isotopic composition of the zooplankton community. In the Bay of Marseille, zooplankton time series showed strong seasonal and interannual variations. This study shows the relationship between the quantitative and qualitative variations in the zooplankton community and the oligotrophication of the environment; and suggests that bottom-up control mostly shapes the plankton community. During periods with higher nutrients concentrations (winter-spring, and the beginning of the time series), the zooplankton community was largely dominated by copepods (herbivores, omnivores). At the community level, biomass and abundance are higher, while size and diversity are lower. During periods with lower nutrient concentrations (summer-autumn, and at the end of the time series), the dominance of herbivorous and omnivorous copepods is reduced and large filter-feeding organisms (e.g., pteropods) and predators (e.g., chaetognaths and also carnivorous copepods) appear. At the community level, biomass and abundance are lower, while size and diversity are higher. Analyses of the biochemistry and isotope composition of 300-500 μm zooplankton size class, taken as reference for the zooplankton, have shown since 2009 a decrease in lipids, an increase in proteins and increases in the stable isotope ratios of nitrogen and carbon. These changes are in line with the increasing oligotrophy of the environment. Analyses of biochemical content and isotope ratios, carried out for a set of contrasted years, on all size classes of zooplankton (from 200 to $>2\,000\ \mu\text{m}$) confirmed the decrease in the lipid concentration of all size classes. The values of many indices drastically changed during the 2010s, in line with other observations of Mediterranean time series. Nonetheless, the inter-annual variations in the biomass of the 1 000-2 000 μm size class, lipid and protein concentrations, and isotope ratios were observed earlier (since 2008) concomitant with the crisis period for small pelagic fish. These results provide insights into the potential effect of changes in zooplankton on the reduction in size and in body condition of small planktivorous fish in the Gulf of Lion. This critical period in the zooplankton community of the Bay of Marseille would have been missed without a combined analysis of the specific, quantitative and qualitative composition of the zooplankton. This thesis demonstrates the interest of a multi-indices approach during zooplankton long-term monitoring surveys.

Keywords: Zooplankton, North-Western Mediterranean Sea, Time series, Environmental changes, Regime shifts.