

Aurélien BLANFUNE<sup>1\*</sup>, Thierry THIBAUT<sup>1</sup>, Charles F. BOUDOURESQUE<sup>1</sup>, Vesna MAČIĆ<sup>2</sup>, Laurent MARKOVIĆ<sup>3</sup>, Laura PALOMBA<sup>1</sup>, Marc VERLAQUE<sup>1</sup>, Pierre BOISSERY<sup>4</sup>, 2017.  
- The CARLIT method for the assessment of the ecological quality of European Mediterranean waters: Relevance, robustness and possible improvements. *Ecological Indicators*, 72: 249-359.

<sup>1</sup>Aix Marseille University, Université de Toulon, CNRS, IRD, MIO (Mediterranean Institute of Oceanography), 13288 Marseille, France.

<sup>2</sup>Institute of Marine Biology, University of Montenegro, P.Fah 69, 85330 Kotor, Montenegro

<sup>3</sup>European Commission, Directorate-General for Maritime Affairs and Fisheries, Avenue Joseph-II, 99 office 02/05, 1049 Brussels, Belgium.

<sup>4</sup>Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, Délégation de Marseille, Immeuble le Noailles, 62 La Canebière, 13001 Marseille, France.

\*Corresponding author: aurelie.blanfune@mio.osupytheas.fr

**Abstract.** The application of the European Union (EU) Water Framework Directive (WFD) requires the assessment of the ecological status (ES) of coastal waters in order to detect environmental changes and implement management plans to prevent their further deterioration. The ES of a water body (WB) has to be assessed on the basis of the status of several biological indicators, referred to as biological quality elements (BQE), such as phytoplankton, macroalgae, seagrasses, macroinvertebrates and fish. We present the most extensive assessment ever undertaken of the ES of Mediterranean waters, by means of the CARLIT index, the most widely used index for the Mediterranean Sea. This index is based on the Ecological Quality Ratio (EQR) between a measured value of Ecological Quality (EQ) and a value corresponding to a reference site. This assessment is based on an extensive field study, covering the whole of the Mediterranean French coasts (including Corsica), 40 WBs and ~2 970 kilometres of shore (at a 1/2 500 scale). The original Ballesteros CARLIT method is compared to the Nikolić modified method, and we have undertaken the challenge of developing an alternative new simplified CARLIT method. This simplified method, which requires less expert judgement, is easier to implement by local authorities, and provides results similar overall to those of the original method. Previous attempts, if any, to correlate EQRs with anthropogenic stressors (through pressure indices) were mainly based upon land uses or on comprehensive lists of stressors, some spatially very sporadic, temporally highly variable, non-representative of the WB and with the impact poorly established on species and communities. To date, the LUSI (Land Uses Simplified Index) and the MA-LUSI-WB have been the most widely used pressure indices. Here, we propose a new pressure index (HAPI) taking into consideration the possible shortcomings of previous indices. It takes into account the actual pressures at community levels considered by the CARLIT method. It accounts well for the EQR values of the study area, as evidenced by the high correlation coefficient between EQRs and HAPI, better than that of the other pressure indices. The present study provides a comprehensive view of the ES of the French Mediterranean coasts. Surprisingly, the picture is far less cause for concern than expected, although this could result from an artefact due to the focus on superficial waters and habitats inherent to the CARLIT method. Where two successive assessments were performed (23 WBs, 2007–2010 vs 2012–2015), the results were similar, which stresses the robustness of the method and/or the relative stability over time of the overall ES of the WBs, and suggests that the successive assessments could be carried out at low frequency.

**Keywords:** biological indicators, ecological status, HAPI index, macrophytes, Mediterranean Sea, pressure index.

**Résumé<sup>(1)</sup>. La méthode CARLIT pour l'évaluation de la qualité des eaux européennes de la Méditerranée : valeur, robustesse et améliorations possibles.**

La mise en œuvre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) de l'Union Européenne (UE) nécessite l'évaluation du statut écologique (SE) des eaux côtières, dans le but de mettre en évidence les changements écologiques et de mettre en œuvre des plans de gestion destinés à prévenir toute détérioration ultérieure. Le SE d'une masse d'eau (ME) peut être évalué à partir du statut de divers indicateurs biologiques (les éléments de qualité biologique, EQB), basés sur le phytoplancton, les macroalgues, les magnoliophytes marines, les macroinvertébrés ou les téléostéens. L'indice CARLIT est l'EQR (Ecological Quality Ratio) le plus largement utilisé en Méditerranée ; il est basé sur le rapport entre la qualité écologique des sites étudiés et la qualité écologique d'un site de référence ; cette qualité écologique est mesurée à partir d'espèces et d'assemblages médiolittoraux et de l'infralittoral superficiel, tels que les espèces du genre *Cystoseira* (phéophycées), *Corallina elongata* et *Lithophyllum byssoides* (florideophycées calcifiées), les moules *Mytilus galloprovincialis* (mollusques bivalves) et les *Ulva* spp. et *Cladophora* spp. (chlorobiontes). Dans le présent travail, les auteurs présentent l'évaluation la plus large jamais réalisée, au moyen de l'indice CARLIT, du SE des eaux méditerranéennes. Cette évaluation est en effet basée sur l'exploration exhaustive, sur le terrain, au moyen d'un petit bateau et à la nage, d'environ 2 970 kilomètres de côtes (mesure à l'échelle du 1/2 500). Cette exploration concerne l'ensemble des côtes de Méditerranée française (Catalogne, Languedoc, Provence, Côte d'Azur et Corse), soit 40 MEs. L'indice CARLIT original, tel que défini par Ballesteros, a été comparé à un indice modifié, proposé par Nikolić ; en outre, les auteurs proposent un indice CARLIT simplifié. Cet indice CARLIT simplifié, qui nécessite moins d'expertise, est plus facile à mettre en œuvre par des gestionnaires locaux, tout en débouchant sur des résultats similaires à ceux de la méthode originale. Les tentatives pour corréliser les EQRs avec des stressseurs anthropogéniques (au moyen d'indices de pression) ont jusqu'ici été basées sur des usages à terre, ou sur des listes exhaustives de stressseurs dont certains sont spatialement très sporadiques, très variables dans le temps, non-représentatifs de la ME, ou dont l'impact sur les espèces et les communautés n'est pas démontré. Les indices de pression LUSI (Land Uses Simplified Index) et MA-LUSI-WB sont ceux qui ont été les plus utilisés. Dans le présent travail, les auteurs proposent un nouvel indice de pression (HAPI) qui tient compte des faiblesses des indices existants. L'indice de pression HAPI prend en compte les pressions qui sont réellement susceptibles de s'exercer sur les espèces et les communautés considérées par la méthode CARLIT. Dans la région étudiée (Méditerranée française), HAPI rend bien compte des valeurs d'EQR, comme le montre la corrélation élevée entre EQRs et HAPI, meilleure qu'avec les indices de pression utilisés jusqu'ici. Pour la première fois, un tableau complet du SE de toutes les MEs de Méditerranée française est présenté. De façon inattendue, ce tableau est moins préoccupant que ce que l'on pouvait craindre, bien qu'il faille considérer le biais possible dû au fait que la méthode CARLIT se base uniquement sur des eaux et des habitats superficiels. L'Aire Maritime Adjacente (AMA) du Parc national de Port-Cros est concernée par quatre MEs. Dans l'échelle à 5 niveaux de la DCE (très bon, bon, moyen, médiocre, mauvais), ces 4 MEs se classent comme suit : Pointe du Gaou à Pointe Escampobariou (très bon), Cap de l'Estérel à Cap de Brégançon (bon), Giens et îles d'Hyères (très bon) et Cap Bénat à Cap Camarat (très bon). Quand deux évaluations successives ont été réalisées, ce qui concerne 23 MEs (2007–2010 vs 2012–2015), les résultats sont en général similaires, ce qui souligne la robustesse de la méthode CARLIT et/ou la relative stabilité, au cours du temps, du SE des MEs. C'est le cas de la ME Pointe du Gaou à Pointe Escampobariou, qui n'a pas changé de SE (très bon). La fréquence des évaluations successives peut donc être diminuée.

**Mots-clés : indicateurs biologiques, indice de pression, macrophytes, mer Méditerranée, statut écologique, indice HAPI.**

<sup>1</sup> Cette traduction en français du résumé anglais et des mots-clés ne figure pas dans l'article original. Elle est due à Charles-F. Boudouresque, qui a ajouté un certain nombre de précisions, concernant principalement l'Aire Maritime Adjacente (AMA) du Parc national de Port-Cros, à destination des lecteurs qui n'ont pas accès au texte original.