

Pierre-Alexandre RASTORGUEFF^{1,2}, Denise BELLAN-SANTINI¹, Carlo Nike BIANCHI³, Simona BUSSOTTI⁴, Pierre CHEVALDONNÉ¹, Paolo GUIDETTI⁴, Jean-Georges HARMELIN⁵, Monica MONTEFALCONE³, Carla MORRI³, Thierry PEREZ¹, Sandrine RUITTON⁶, Jean VACELET¹, Sébastien PERSONNIC⁶, 2015. An ecosystem-based approach to evaluate the ecological quality of Mediterranean undersea caves. *Ecological indicators*, 54: 137-152.

¹Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie Marine et Continentale (IMBE), UMR 7263 CNRS, IRD, Aix Marseille Université, Avignon Université, Station Marine d'Endoume, rue Batterie des Lions, 13007 Marseille, France.

²Department of Zoology, University of Johannesburg, South Africa.

³DiSTAV, Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita, Università di Genova, Corso Europa 26, I-16132 Genova, Italy.

⁴Université Nice Sophia-Antipolis, Faculté des Sciences, EA 4228 ECOMERS, 06108 Nice cedex 2, France.

⁵Aix-Marseille Université, Mediterranean Institute of Oceanography (MIO), GIS Posidonie, Station Marine d'Endoume, Rue Batterie des Lions, 13007 Marseille, France.

⁶Aix-Marseille Université, Mediterranean Institute of Oceanography (MIO), UMR CNRS 7294, Campus universitaire de Luminy, case 901, 13288 Marseille cedex 09, France.

*Corresponding author: pierre-alex.rastorgueff@gmx.fr

Abstract. A theoretical model of structure and functioning was constructed for the Mediterranean undersea cave ecosystem. This model integrates almost all representative components of the cave ecosystem and gives an idea of their faunal compositions, characteristics and related interactions. This model constitutes the basis of the Ecosystem-Based Quality Index (EBQI) of the European Union's Marine Strategy Framework Directive, which aims at evaluating the ecological quality of an ecosystem. It is based on four crucial complementary elements: **(i)** each component was weighted in accordance with its importance in determining the structure and functioning of the cave ecosystem; **(ii)** a suite of relevant parameters were defined to assess the ecological state of each component of the cave ecosystem; **(iii)** these parameters were aggregated into one relevant index, the Cave EBQI (CavEBQI), to summarize the quality evaluation for each cave site; **(iv)** each value of ecological state is accompanied by a Confidence Index as a measure of its reliability. The CavEBQI was used on 22 Mediterranean undersea caves of France and Italy. Disparities of ecological quality were found among caves but most of them ranged from moderate to high ecological quality. For some caves, no conclusion can be drawn when our method predicts a poor reliability of the evaluation of their ecological quality. This ecosystem-based evaluation of the quality of undersea caves seems to be a powerful tool, with the advantage of being based on almost all its components, rather than just on a few species. It is accompanied by a measure of its reliability, hence it provides a reliable idea of the ecological state of the entire ecosystem at each cave site. Monitoring the ecological state of caves and the effects of disturbances over large geographic and temporal scales is made possible with CavEBQI. Applying the same method to other ecosystems, can provide an integrated view of a marine region, which is essential when addressing questions about protection, conservation and restoration.

Keywords: ecosystem-based quality index, ecological quality, Marine Strategy Framework Directive, undersea caves, underwater marine caves, Mediterranean Sea.

Résumé⁽¹⁾. Une approche écosystémique de la qualité écologique de l'écosystème des grottes sous-marines méditerranéennes.

Un modèle théorique de la structure et du fonctionnement de l'écosystème des grottes sous-marines méditerranéennes a été construit. Ce modèle incorpore la plupart des composants représentatifs de l'écosystème des grottes et décrit sa composition faunistique, ses caractéristiques et les interactions entre compartiments. Ce modèle constitue la base de l'EBQI (*Ecosystem-Based Quality Index*) de la DCSMM (Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin ; *Marine Strategy Framework Directive*, MSFD) de l'Union Européenne, qui a pour but d'évaluer la qualité écologique d'un écosystème. L'EBQI des grottes sous-marines (CavEBQI) est basé sur 4 éléments complémentaires : (i) chaque composant a été pondéré, en fonction de son importance dans la structure et le fonctionnement de l'écosystème des grottes sous-marines méditerranéennes ; (ii) un ensemble de paramètres représentatifs a été défini pour évaluer l'état écologique de chaque composant de l'écosystème ; (iii) ces paramètres ont été combinés pour constituer le CavEBQI, destiné à résumer l'état écologique de chaque grotte sous-marine ; (iv) chaque valeur du CavEBQI est accompagnée d'un indice de confiance, qui traduit la fiabilité des données (e.g. leur ancienneté, la méthode d'acquisition). Le CavEBQI a été établi pour 22 grottes sous-marines de Provence occidentale, de Provence orientale (en particulier la grotte de Bagaud, dans le Parc national de Port-Cros) et d'Italie. Malgré des différences dans la qualité écologique, la plupart des grottes évaluées se classent comme de qualité écologique moyenne à élevée. Toutefois, pour certaines grottes, il n'est pas possible de tirer des conclusions, en raison de la faible fiabilité des données. La grotte de Bagaud, avec un EBQI de 6.8/10 très fiable, apparaît comme de bonne qualité écosystémique, tout en étant dépassée par plusieurs grottes de la région marseillaise (Jarre, Pérès, Trémies, 3PP et Figuier), cette dernière obtenant la note la plus élevée (8.8/10). Le CavEBQI, qui évalue la qualité de l'écosystème des grottes sous-marines, semble constituer un outil puissant ; il présente l'avantage de se baser sur la plupart des composants de l'écosystème, plutôt que sur un petit nombre d'espèces. Il est accompagné par une mesure de fiabilité qui caractérise les données de chaque grotte étudiée. Le CavEBQI permet de surveiller l'état écologique des grottes sous-marines et l'effet des perturbations sur une vaste échelle géographique et temporelle. L'application de cette méthode à d'autres écosystèmes peut fournir une vision globale d'une région, ce qui est essentiel lorsque l'on aborde des questions de protection, de conservation et de restauration des milieux naturels.

Mots-clés : indice de qualité basé sur l'écosystème, qualité écologique, Directive Cadre Stratégie Milieu Marin (DCSMM), grottes sous-marines, Méditerranée.

¹ Cette traduction en français du résumé anglais ne figure pas dans l'article original. Elle est due à Charles F. Boudouresque, qui a ajouté un certain nombre de précisions ne figurant pas dans le résumé anglais, à destination des lecteurs qui n'ont pas accès à au texte original de l'article.