



INDICATEUR MACROALGUES DE SUBSTRAT CARLIT (CARtografiá LIToral)

Thierry Thibaut

Aix Marseille Université, UMR 7294, Mediterranean Institute of Oceanography, Campus de Luminy –
Oceanomed – Bât. Méditerranée, Marseille
thierry.thibaut@univ-amu.fr

Résumé

Le descripteur macroalgue CARLIT permet de mesurer la qualité écologique d'une masse d'eau à partir de la cartographie exhaustive de la distribution et de l'abondance des espèces dominantes et des caractéristiques du substrat des étages médio- et infralittoraux supérieurs. Les relevés de terrain se font à l'aide d'une embarcation légère, à faible vitesse, à quelques mètres du rivage. Toutes ces données sont ensuite intégrées dans un SIG. Un indice de qualité environnementale (EQR compris entre 0 et 1) est calculé à partir des données acquises et géo-référencées, pour un secteur de côte ou une masse d'eau donnée, permettant d'attribuer un statut écologique (ES) défini par les critères de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau, allant de mauvais à très bon.

Paramètres DCE (Annexe V)

Les paramètres biologiques à prendre en compte pour l'évaluation écologique sont les suivants :

- **taxa d'algues macroscopiques sensibles aux perturbations**
- **niveau de couverture d'algues macroscopiques**

Historique au niveau français

Dans le cadre du contrôle de surveillance DCE – Bassin Rhône Côtiers Méditerranée, la mise en œuvre du descripteur macroalgue a eu lieu pour la première fois au printemps 2007 et s'est poursuivie aux printemps 2008, 2009, 2010, 2012 et 2015 (Thibaut *et al.* 2008, Thibaut & Markovic 2009, Thibaut *et al.* 2010, 2011, Thibaut & Blanfuné, 2014, Blanfuné *et al.* 2017a, 2017b). L'ensemble du littoral rocheux méditerranéen français, Corse incluse, a été cartographié durant ces quatre dernières années ce qui représente plus de 4 500 km de linéaire côtier à l'échelle 1/2500^{ème} analysé par notre équipe. La méthode a également été appliquée en Albanie (Blanfuné *et al.* 2016a).

Typologies

France : pas de distinction de types

Europe : 1 type (GIG MED, Eaux côtières)

Jeu de données utilisé

Le jeu de données comprend 39 masses d'eau pour les années allant de 2007 à 2015.

Masses d'eau rocheuses continentales : FRDC01, FRDC 02c, FRDC04, FRDC05, FRDC06a, FRDC06b, FRDC07a, FRDC07b, FRDC07e, FRDC07g, FRDC08d, FRDC09a, FRDC09b, FRDC09c, FRDC09d et FRDC10a ont été cartographiées au printemps 2007 (Thibaut *et al.* 2008). FRDC07c, FRDC07d, FRDC07f,

FRDC07i, FRDC07j, FRDC08a, FRDC08b, FRDC08c, FRDC08e, FRDC10b et FRDC10c ont été cartographiées au printemps 2008 (Thibaut & Markovic 2009).

Masses d'eau rocheuses corses : FREC01c, FREC01d, FREC01e, FREC02ab, FREC03b, FREC03c, FREC03eg, FREC03f et FREC04b ont été cartographiées au printemps 2009 (Thibaut *et al.* 2010). FREC01ab, FREC03ad et FREC04ac ont été cartographiées au printemps 2010 (Thibaut *et al.* 2011).

Réévaluation des Masses d'eau au printemps 2012 : FRDC01, FRDC02c, FRDC04, FRDC06a, FRDC06b, FRDC08c, FRDC09b, FRDC09d et FRDC10b, FREC01c, FREC03b et FREC03f. (Thibaut & Blanfuné 2014).

Réévaluation des Masses d'eau au printemps 2015 : FRDC05, FRDC07a, FRDC07b, FRDC07c, FRDC07d, FRDC07f, FRDC07g, FRDC08b et FRDC08d, FREC01d et FREC02ab (Blanfuné *et al.* 2017b).

Les données correspondantes ont été collectées selon la méthode d'échantillonnage prescrite par le protocole décrit par Ballesteros *et al.* (2007) et Blanfuné *et al.* (2017a).

Métriques

Métrique 1. Longueur de côte occupée par chaque type géomorphologique* (m)

Métrique 2. Longueur de côte occupée par chaque type de communauté végétale** dans chaque type morphologique (m)

Métrique 3. Niveau de sensibilité de chaque type de communauté végétale* (entre 1 et 20)

* les types morphologiques sont les suivants : Blocs naturels, Côte basse naturelle, Côte haute naturelle, Blocs artificiels, Côte basse artificielle, Côte haute artificielle

** les 22 types de communautés végétales et leur sensibilité sont donnés par le tableau ci-dessous (Tableau 1)

Tableau 1. Niveau de vulnérabilité des communautés utilisées dans la méthode CARLIT le long des côtes françaises de Méditerranée (Thibaut et Blanfuné, 2014a, modifié d'après Ballesteros *et al.*, 2007). *Cystoseira mediterranea* (en gris) ne concerne que Le Languedoc où elle est l'espèce vicariante de *C. amentacea*.

Communautés ou espèces	Niveau de vulnérabilité (NV)
<i>Cystoseira mediterranea</i> 5	20
<i>Cystoseira amentacea</i> 5	20
<i>Cystoseira crinita</i>	20
<i>Cystoseira brachycarpa</i> var. <i>balearica</i>	20
Récif frangeant de <i>Posidonia oceanica</i>	20
Trottoir à <i>Lithophyllum byssoides</i> *	20
<i>Cystoseira mediterranea</i> 4	19
<i>Cystoseira amentacea</i> 4	19
<i>Cystoseira mediterranea</i> 3	15
<i>Cystoseira amentacea</i> 3	15
<i>Cystoseira mediterranea</i> 2	12
<i>Cystoseira amentacea</i> 2	12
<i>Cystoseira compressa</i>	12
<i>Cystoseira mediterranea</i> 1	10
<i>Cystoseira amentacea</i> 1	10
<i>Corallina caespitosa</i>	8
Gazon algal	8
Corallinacées encroûtantes	6
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	6
Ulvaes	3
Cyanobactéries	1

Classes d'abondance de *Cystoseira* : *C. amentacea* et *C. mediterranea* 5 : ceinture continue ; *C. amentacea* et *C. mediterranea* 4 : ceinture discontinue ; *C. amentacea* et *C. mediterranea* 3 : taches abondantes ; *C. amentacea* et *C. mediterranea* 2 : individus abondants ; *C. amentacea* et *C. mediterranea* 1 : individu isolé.

*Les trottoirs à *Lithophyllum byssoides* ont été exclus de CARLIT car la remontée des eaux est la principale cause de mortalité des trottoirs (Blanfuné *et al.* 2017, Blanfuné *et al.* 2016b).

Valeurs de références

La **valeur de référence** est établie à partir de données acquises sur des sites jugés comme non impactés ou subissant des perturbations mineures, situés en Catalogne, dans les îles Baléares et en Corse (Scandola, FREC04ac), et jugés comme représentatifs de l'ensemble des côtes de Méditerranée occidentale, excepté une zone (la mer d'Alboran, située au sud de l'Espagne). Les données historiques disponibles ont aussi été mobilisées.

Les données collectées comprennent les communautés végétales et les caractéristiques géomorphologiques de la côte rocheuse (morphologie du littoral, nature du substrat, orientation de la côte, exposition aux vagues). Une analyse statistique (MDS - MultiDimensional Scaling analysis) a permis de conclure que la morphologie du littoral est le facteur prépondérant qui explique la distribution des communautés algales. Au final, six situations morphologiques pertinentes ont été définies ainsi que les valeurs de référence correspondantes (Ballesteros *et al.* 2007). En accord avec l'ONEMA et l'agence de l'eau, pour les substrats artificiels, nous utilisons l'EQ de référence du type géomorphologique « naturel » correspondant (Thibaut *et al.* 2010).

Tableau 2. EQ de référence calculée pour chaque type de morphologie de la côte (Thibaut *et al.* 2010, modifié d'après Ballesteros *et al.* 2007)

Type morphologique	Valeur de référence
Blocs décimétriques naturels ou artificiels	12,2
Côte basse naturelle ou artificielle	16,6
Côte haute naturelle ou artificielle	15,3

Indicateur et grille de qualité

L'indicateur CARLIT est composé comme suit.

Un indice de qualité environnementale (EQ pour Environmental Quality) est calculé à partir de ces mesures par secteur de côte, défini par un type morphologique homogène (voir infra les 6 types morphologiques)

Equation 1 :

$$EQ = \frac{\sum (l_i * SL_i)}{\sum l_i}$$

Avec : l_i = longueur de côte occupée par la communauté i pour un secteur de côte

SL_i = niveau de sensibilité pour la communauté i

l_i s'applique à la communauté végétale

Ensuite, un EQR (équation 2) est obtenu en pondérant le EQ (équation 1) par une valeur mesurée dans un site de référence (EQref) pour chacun des 6 types géomorphologiques (Tableau 2).

Equation 2 :

$$EQR_{\text{masse d'eau X}} = \frac{\sum EQ_{ssi} * l_i}{EQ_{rsi} * \sum l_i}$$

Avec : i = situation morphologique de la côte étudiée

EQ_{ssi} = EQ dans le site étudié pour la situation i

EQ_{rsi} = EQ dans le site de référence pour la situation i

l_i = longueur de la côte étudiée dans la situation i

l_i s'applique au type morphologique

Les **seuils des classes** de l'EQR ont été définis à partir de l'apparition ou la disparition d'espèces indicatrices différentes. La limite Bon/Moyen est notamment caractérisée par la disparition des espèces du genre *Cystoseira* (Tableau 3).

Tableau 3. Classe des EQR et statut écologique associé

Arrêté évaluation 27 juillet 2015	EQR après le 3 ^e round d'intercalibration	Classe
[1,00 - 0,75]	Déjà intercalibré au round 1.	Très Bon
]0,75 - 0,60]		Bon
]0,60 - 0,40]		Moyen
]0,40 - 0,25]		Médiocre
]0,25 - 0,00]		Mauvais

Les littoraux non rocheux ne sont pas pris en compte ainsi que l'intérieur des ports et des marinas (ces zones sont trop perturbées et nécessitent l'utilisation d'autres indices).

Relations Pressions - Etat et diagnostic

Qualitativement

L'indicateur est potentiellement sensible aux pressions anthropiques qui modifient la qualité de l'eau (rejets turbides, apports en éléments nutritifs enrichissant les eaux, substances polluantes), ou provoquent des destructions ou modifications du substrat rocheux (aménagement du littoral), ou des atteintes directes (fréquentation humaine sur le rivage).

Dans les zones médiolittorales et infralittorales supérieures des espèces forment des communautés structurantes de l'habitat, c'est le cas des espèces du genre *Cystoseira* et des encorbellements à *Lithophyllum byssoides*. Les perturbations induisent pour les espèces du genre *Cystoseira*, qui elles forment une strate arborescente complexe, dans un premier temps une fragmentation des populations jusqu'à leurs remplacements par de strates gazonnantes ou encroûtantes qui sont états stables alternatifs mais dont la structuration tridimensionnelle est bien moindre qu'une strate arborescente. Pour les encorbellements de *L. byssoides*, qui forment une structure extrêmement complexe, la mort de l'encorbellement se traduit par soit le maintien d'un encorbellement mort abritant moins d'espèces ou par la disparition physique avec une roche nue. *Cystoseira* et encorbellement sont les deux habitats les plus sensibles de la zone littorale.

Relation Pressions-Etat

Sensibilité à l'eutrophisation

La sensibilité de l'indicateur CARLIT aux pressions anthropiques a été testée avec l'indice de perturbation HAPI (Human Activities and Pressures Index) afin de valider le lien existant entre le statut écologique de la masse d'eau défini par les éléments de qualité écologiques 'macrophytes' et les pressions anthropiques s'exerçant sur les étages médio- et infralittoraux supérieurs (Blanfuné *et al.* 2017a). L'indicateur CARLIT et HAPI sont significativement et fortement corrélés ($r = -0.79$, $p < 0.05$), et par conséquent valident l'utilisation de l'indicateur CARLIT pour mesurer la qualité écologique d'une masse d'eau.

Les pressions prises en compte dans HAPI, doivent s'exercer en surface, être persistantes, mesurables à l'échelle de la masses d'eau et avoir des impacts avérés sur les communautés caractéristiques du substrat des étages médio- et infralittoraux supérieurs.

Cet indice est composé de pressions continentales et de pressions anthropiques s'exerçant en mer.

Pour les pressions continentales, le pourcentage de surface couverte de zone urbaine (Corine Land Cover codes, CLC codes, 111, 112, 141 and 142), de zone Industrielle (CLC codes 121 to 124 and 131 to 133) et de zone agricole (CLC codes 211-213, 221-223, 231 and 241-244), mesurés à l'échelle du bassin versant de chaque masse d'eau (données Corine Land Cover, 2006) sont pris en compte.

Pour les pressions s'exerçant en mer, les pressions retenues sont: (i) le pourcentage de linéaire côtier artificialisé (données de terrain), (ii) le linéaire rocheux potentiellement impacté par l'aquaculture (en mètre) (données de terrain et données issues de la base de données IMPACT (Medtrix, 2015)), et (iii) l'apport d'eau douce regroupant les apports venant des stations d'épuration et ceux des rivières (données de terrain, données issues de la base de données IMPACT (Medtrix, 2015) pour les stations d'épuration et de CARMEN (20015a, 2015b) pour les rivières, exprimé en linéaire rocheux potentiellement impacté en mètre).

Une échelle semi-quantitative allant de 1 à 4 a été attribuée pour chaque pression est permet d'obtenir un Score de la pression (PS):

Score de la pression (PS)	Zone urbaine (% bassin-versant)	Zone industrielle (% bassin-versant)	Zone agricole (% bassin-versant)	Artificialisation (% linéaire de côte)	Aquaculture (% linéaire de côte)	Eau douce (% linéaire de côte)
1	0 – 10	0 – 10	0 – 5	0 – 5	0 – 1	0 – 5
2	11 – 35	11 – 25	6 – 15	6 – 25	2 – 15	6 – 25
3	36 – 75	26 – 75	16 – 30	26 – 75	16 – 40	26 – 75
4	> 75	> 75	> 30	> 75	> 40	> 75

Les scores de chaque pression sont ensuite pondérés par le coefficient de corrélation de l'ACP entre les pressions et les EQRs :

Pression	Zone urbaine	Zone industrielle	Zone agricole	Artificialisation	Aquaculture	Eau douce
r	0.14	0.31	0.06	0.68	0.15	0.40

L'index de pression est ensuite pondéré par le taux de renouvellement de la masse d'eau (Ganzin *et al.*, 2008) :

Taux de renouvellement de la masse d'eau	Score du taux de renouvellement (TS)
> 1 400	1.33
100 - 1 400	1
< 100	0.80

L'index HAPI pour chaque masse d'eau est donné par :

$$HAPI_j = \sum(PS_i * r_i) / TS_j$$

Avec :

PS_i : Score de la pression i

r_i : valeur absolue du coefficient de corrélation r entre la pression i

TS_j : Score du taux de renouvellement de la masse d'eau j

En théorie, l'index HAPI varie de 1,31 (pression minimale) à 8,70 (pression maximale). En pratique HAPI est compris entre 1,64 et 5,55 pour les masses d'eau côtières françaises.

Limites d'application - Commentaires

L'indicateur s'applique aux masses d'eau côtières de Méditerranée caractérisées par des côtes rocheuses. L'indicateur ne peut s'appliquer dans mes masses d'eaux avec de grandes plages et simplement des épis (plages du Languedoc, côte est de la Corse). La colonisation de ces roches par des espèces structurantes (*Cystoseira*), dont les distances de dispersions des zygotes sont très faibles (quelques mètres), est impossible à échelle humaine. Il évalue la qualité à partir de données acquises en infralittoral supérieur (0 à – 1 m). Cet indicateur est utilisable pour la DCSSM sans modification. Il donne une bonne représentation de l'état de conservation de la frange littorale sensible aux perturbations de surface (e.g. eutrophisation). Pour l'infralittoral rocheux (> 1 m), où d'autres pressions s'exercent (e.g. herbivorie) l'approche écosystémique est à privilégier (Thibaut *et al.* 2017)

Références

- Ballesteros, E., Torras, X., Pinedo, S., Garcia, M., Mangialajo, L., de Torres, M., 2007. A new methodology based on littoral community cartography dominated by macroalgae for the implementation of the European Water Framework Directive. *Mar. Poll. Bull.*, 55: 172–180.
- Blanfuné A., Thibaut T., Boudouresque C.F., Mačić V., Markovic L., Palomba L., Verlaque M., Boissery P., 2017a. The CARLIT method for the assessment of the ecological quality of European Mediterranean waters: relevance, robustness and possible improvements. *Ecological Indicators*, 72, 249-259.
- Blanfuné A., Thibaut T., Palomba L. 2017b. Préfiguration du réseau macroalgues – Bassin Rhône Méditerranée Corse – Application de la directive Cadre Eau – Rapport d'état écologique des masses d'eau – Littoral rocheux méditerranéen français – Deuxième phase de réévaluation. Contrat Agence de l'eau RMC – ProtisValor : 53 pp. + Atlas cartographique. www.medtrix.fr.
- Blanfuné A., Boudouresque C.F., Verlaque M., Beqiraj S., Kashta L., Nasto I., Ruci S., Thibaut T., 2016a. Response of rocky shore communities to anthropogenic pressures in Albania (Mediterranean Sea): ecological status assessment through the CARLIT method. *Marine Pollution Bulletin*, 109, 409-418.
- Blanfuné A., Boudouresque C.F., Thibaut T., Verlaque M., 2016b. The sea level rise and the collapse of a Mediterranean ecosystem, the *Lithophyllum byssoides* algal rim. In : *The Mediterranean region under climate change. A scientific update*. Thiébaud S., Moatti J.P. (eds.), AllEnvi, IRD éditions publisher, Marseille : 285-289.
- CARMEN, 2015a. http://carmen.carmencarto.fr/74/at_entree.map.
- CARMEN, 2015b. <http://carmen.carmencarto.fr/80/siecorse.map>.
- Corine Land Cover, 2006.
- Ganzin, N., Fiandrino, A., Garreau, P., Coudray S., 2009. Evaluation de la sensibilité des eaux côtières à la contamination à partir des parties de modèle MARS-3D. Journées Dynecouvertes, Brest. <http://www.corse.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Nganzin.pdf>.
- Medtrix, 2015. Database IMPACT: modélisation des pressions anthropiques côtières et des seuils de vulnérabilité. www.medtrix.fr.
- Thibaut T., Blanfuné A., 2014. Préfiguration du réseau macroalgues - Bassin Rhône Méditerranée Corse - Application de la directive Cadre Eau - Rapport d'état écologique des masses d'eau - Littoral rocheux méditerranéen français - Réévaluation de 12 masses d'eau. Contrat Agence de l'eau RMC – UNS, Nice. 36pp + Atlas cartographique. www.medtrix.fr. Consulté le 02 décembre 2016.
- Thibaut T., Markovic L. 2009. Préfiguration du réseau macroalgues – Bassin Rhône Méditerranée Corse – Application de la directive Cadre Eau - Rapport d'état écologique des masses d'eau. Ensemble du littoral rocheux continental français de Méditerranée. Contrat Agence de l'Eau RMC – Unsa : 31 p + Atlas cartographique. www.medtrix.fr.
- Thibaut T., Blanfuné A., Boudouresque C.F., Personnic S., Ruitton S., Ballesteros E., Bellan-Santini D., Bianchi C.N., Bussotti S., Cebrian E., Cheminée A., Culioli J.M., Derrien-Courtel S., Guidetti P., Harmelin-Vivien M., Hereu B., Morri C., Poggiale J.C., Verlaque M. 2017. An ecosystem-based approach to assess the status of Mediterranean shallow algae-dominated rocky reefs. *Marine Pollution Bulletin*. 117, 311-329.
- Thibaut T., Markovic L., Blanfuné A., 2010. Préfiguration du réseau macroalgues – Bassin Rhône Méditerranée Corse – Application de la directive Cadre Eau - Rapport d'état écologique des masses d'eau. Littoral rocheux de la Corse. Contrat Agence de l'Eau RMC – Unsa : 24 p. + Atlas cartographique. www.medtrix.fr.
- Thibaut T., Markovic L., Blanfuné A., 2011. Préfiguration du réseau macroalgues – Bassin Rhône Méditerranée Corse – Application de la directive Cadre Eau - Rapport d'état écologique des masses d'eau. Littoral rocheux de la Corse. Contrat Agence de l'Eau RMC – Unsa : 22 p. + Atlas cartographique. www.medtrix.fr.
- Thibaut T. Mannoni PA, Markovic L., Geoffroy K., Cottalorda JM. 2008. Préfiguration du réseau macroalgues – Bassin Rhône Méditerranée Corse – Application de la directive Cadre Eau - Rapport d'état écologique des masses d'eau. Contrat Agence de l'Eau RMC – Unsa : 38 p + Atlas cartographique. www.medtrix.fr.