



INDICATEUR MACROPHYTES EXCLAME
POUR LES LAGUNES POLY- ET EU-HALINES
(EXamination tool for Coastal Lagoon Macrophyte Ecological status)

Valérie Derolez*, Jocelyne Oheix*, Antonin Gimard**, Thierry Laugier ***

* Ifremer, LER-LR, Sète - MARBEC

** Ifremer, LER PAC, La Seyne-sur-mer

*** Ifremer, Nouméa

Résumé

Les macrophytes de substrat meuble dans les lagunes peuvent être séparés en deux groupes d'espèces, fondés sur leur forme de vie et sur la qualité du milieu associée :

- Les **phanérogames marines** (à l'exception de l'espèce *Potamogeton pectinatus* dans les lagunes oligo et mésohalines) et les **algues polluo-sensibles** : peuplements souvent fixés, qui sont considérés comme des espèces de **peuplements de référence** ;
- Les **algues opportunistes**, sous forme de **peuplements dérivants**.

Les phanérogames, comme les zostères, les cymodocées ou les ruppias, représentant les espèces de l'équilibre maximal d'une lagune, sont qualifiées d'**espèces de référence**. Ce sont les espèces formant des peuplements de référence pour étudier la qualité du milieu.

L'évolution vers des écosystèmes dégradés se traduit par une succession de communautés de macrophytes, où les espèces de référence sont remplacées par des espèces opportunistes ou dérivantes, caractéristiques d'une perte de la qualité de l'écosystème. La disparition des espèces de référence peut témoigner d'une eutrophisation des eaux (enrichissement en éléments nutritifs) et constitue un indicateur d'un état dégradé de la masse d'eau.

Rappel des paramètres DCE (Annexe V)

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

- composition et abondance des **taxa de macroalgues**
- composition et abondance des **taxa d'angiospermes**

Historique au niveau français

La principale perturbation d'origine anthropique qui répond généralement à des augmentations de concentration en nutriments dans les masses d'eau côtières et de transition, est l'eutrophisation. De 2000 à 2013, le Réseau de Suivi Lagunaire (RSL) a permis d'évaluer l'état vis-à-vis de l'eutrophisation des lagunes du Languedoc-Roussillon, notamment au travers du diagnostic des macrophytes (Lauret *et al.*, 2011). Les méthodes et grilles d'évaluation élaborées dans le cadre du RSL ont servi de base à la création et à l'application dès 2006 des outils de diagnostic des lagunes méditerranéennes répondant aux exigences de la DCE (Andral et Derolez, 2007, Andral et Orsoni, 2007, Andral *et al.*, 2010, Sargian *et al.*, 2013a et b, Witkowski *et al.*, 2016).

Typologies

France : distinction de deux types selon le niveau de salinité (moyenne annuelle), séparant les lagunes poly- et eu-halines (salinité ≥ 18) et les lagunes oligo- et méso-halines (salinité < 18) (MEDDE, 2015). Pour ce dernier type, une étude est en cours, réalisée par la Tour du Valat en collaboration avec Ifremer (financements AERMC et AFB) pour définir une méthode d'évaluation adaptée à ces milieux (Sanchez et Grillas, 2014). Les éléments détaillés ci-dessous concernent uniquement les lagunes poly- et eu-halines.

Europe : 1 seul type avec exclusion des lagunes oligohalines (salinité ≤ 5).

Jeu de données utilisé

Dans le cadre de l'exercice d'intercalibration réalisé de 2009 à 2011, le jeu de données français comprenait 14 sites (172 stations répartie sur 11 lagunes : Leucate, Ayrolle, Palo, Ingril, Pierre-Blanche, Vic, Thau, La Palme, Grec, Prévost, Arnel) pour les années 2007 à 2009.

Les données correspondantes ont été collectées selon la méthode d'échantillonnage détaillée dans le guide de Lauret *et al.*, 2011. L'indicateur EXCLAME a été validé suite aux traitements des données françaises, italiennes et grecques effectués dans le cadre de l'exercice d'intercalibration (Buchet, 2012).

Pour le suivi DCE, un total de 529 stations sont suivies sur 22 masses d'eau lagunaires :

Code Masse d'eau	Nom Masse d'eau	Nombre de stations
FRDT01	Canet	14
FRDT02	Etang de Salses Leucate	74
FRDT03	Etang de La Palme	12
FRDT04	Complexe du Narbonnais Bages Sigean	36
FRDT05a	Complexe du Narbonnais Ayrolle	14
FRDT05b	Complexe du Narbonnais Campagnol	8
FRDT06a	Complexe du Narbonnais Gruissan	3
FRDT08	Vendres	11
FRDT09	Etang du Grand Bagnas	4
FRDT10	Etang de Thau	77
FRDT11a	Etang de l'Or	32
FRDT11b	Etangs Palavasiens Est	40
FRDT11c	Etangs Palavasiens Ouest	51
FRDT12	Etang du Ponant	7
FRDT13c	Etang du Medard	4
FRDT13e	Etang de Murette	6
FRDT14	Vaccares	55
FRDT15a	Etang de Berre	25
FRET01	Etang de Biguglia	17
FRET02	Etang de Diana	18
FRET03	Urbino	18
FRET04	Etang de Palo	3

Métriques

Métrique 1. Richesse spécifique – RS (nb espèces).

Métrique 2. Recouvrement par les espèces « de référence* » au sein de la végétation (ou recouvrement relatif) - RR (%).

Les métriques 1 et 2 renseignent sur la composition des macrophytes.

* Les espèces de référence sont les algues et angiospermes présents en conditions de référence et qui régressent avec l'eutrophisation : leur liste est indiquée ci-dessous (**Tableau 1**).

Métrique 3. Recouvrement du fond par les macrophytes (ou recouvrement total) – RT (%) - qui renseigne sur l'abondance des macrophytes.

Lorsque le recouvrement total (métrique 3) est inférieur à 5%, on considère qu'on ne peut pas faire d'appréciation correcte de la composition du peuplement : la métrique 2 n'est pas calculée.

Tableau 1. Liste des espèces de macrophytes de référence pour les lagunes poly- et eu-halines.

<i>Acetabularia acetabulum</i>	<i>Lamprothamnium papulosum</i>
<i>Antithamnion cruciatum</i>	<i>Laurencia microcladia</i>
<i>Bryopsis hypnoides</i>	<i>Laurencia obtusa</i>
<i>Bryopsis plumosa</i>	<i>Lomentaria clavellosa</i>
<i>Centroceras clavulatum</i>	<i>Nitophyllum punctatum</i>
<i>Ceramium ciliatum</i>	<i>Osmundea pinnatifida</i>
<i>Ceramium diaphanum</i>	<i>Polysiphonia denudata</i>
<i>Ceramium gracillimum</i>	<i>Polysiphonia mottei</i>
<i>Ceramium tenerrimum</i>	<i>Polysiphonia opaca</i>
<i>Chondracanthus acicularis</i>	<i>Polysiphonia sertularioides</i>
<i>Chondria dasyphylla</i>	<i>Pterosiphonia parasitica</i>
<i>Chylocladia verticillata</i>	<i>Pterosiphonia pennata</i>
<i>Cladostephus spongiosus</i>	<i>Pterothamnion plumula</i>
<i>Cymodocea nodosa</i>	<i>Ruppia cirrhosa</i>
<i>Cystoseira barbata</i>	<i>Ruppia maritima</i>
<i>Cystoseira compressa</i>	<i>Spyridia filamentosa</i>
<i>Cystoseira fimbriata</i>	<i>Valonia aegagropila</i>
<i>Dictyota dichotoma</i>	<i>Valonia utricularis</i>
<i>Dictyota spiralis</i>	<i>Zostera marina</i>
<i>Gelidium crinale</i>	<i>Zostera noltei</i>
<i>Gymnogongrus griffithsiae</i>	

Valeurs de références

Pour chacune des 3 métriques, les valeurs de référence sont définies à dire d'experts et avec des données de lagunes « de référence » (La Palme(FRDT03) et de Palo(FRET04)), caractérisées par l'absence de pressions anthropiques significatives et où les apports en eau douce sont peu chargés en nutriments :

- métrique 1 : RS \geq 3,
- métrique 2 : RR = 100%,
- métrique 3 : RT = 100%.

Cela correspond à une couverture végétale de 100%, composée d'un peuplement de macrophytes dont toutes les espèces font partie de la liste des espèces de référence. Dans les conditions de référence, les EQR composition, abondance et macrophyte sont égaux à 1. Les **seuils des classes** sont ensuite définis à dire d'experts et les **EQR** correspondants sont définis par des classes d'amplitude égale (pas de 0,2).

Indicateur et grille de qualité

Les métriques 1 et 2 sont combinées pour former un indice de composition (**Tableau 2**). L'EQR de l'indice composition varie entre 0,1 et 1.

Tableau 2. Grille de calcul de l'indicateur de composition des macrophytes pour les lagunes poly- et eu-halines.

Indice Composition (Métrique 1. RS) (Métrique 2. RR %)		EQR _C Composition	Classe
	[100 - 75]	[1,0 – 0,8]	Très Bon
	]75 – 50]	]0,8 – 0,6]	Bon
	]50 - 5]	]0,6 – 0,4]	Moyen
≥ 3	]5 - 0]	]0,4 – 0,2]	Médiocre
< 3	]5 - 0]	0,1	Mauvais
	Non défini (cas où RT < 5 %)	Non défini	

La métrique 3 constitue un indice d'abondance (**Tableau 3**). L'EQR d'abondance varie entre 0 et 1.

Tableau 3. Grille de calcul de l'indicateur d'abondance des macrophytes pour les lagunes poly- et eu-halines.

Indice Abondance (Métrique 3. RT %)	EQR _A Abondance	Classe
[100 - 75]	[1,00 - 0,80]	Très Bon
]75 – 50]	]0,80 - 0,60]	Bon
]50 - 25]	]0,60 - 0,40]	Moyen
]25 - 5]	]0,40 - 0,20]	Médiocre
]5 - 0]	]0,20 – 0,00]	Mauvais

L'indicateur **EXCLAME**, indicateur final pour les macrophytes (EQR_{MAC}), résulte de la combinaison de l'EQR_C de composition et de l'EQR_A d'abondance. Il est basé sur le principe suivant :

C'est la présence d'espèces de référence, donc la composition, qui va définir essentiellement la qualité de la masse d'eau pour les macrophytes. Cette qualité sera d'autant plus fortement déclassée que l'abondance n'est pas satisfaisante (à partir de EQR_A < 0,6 (recouvrement total <50%), soit à partir de la classe de qualité « moyen »). Le principe du déclassement de l'indice de composition par l'indice d'abondance fonctionne selon le graphe ci-dessous (**Figure 1**). Pour des EQR_A supérieurs ou égaux à 0,6 (classe de qualité très bon et bon), la classe de qualité macrophytes est égale à celle de la composition (EQR_{MAC} = EQR_C). Pour des EQR_A inférieurs à 0,6, il y a un effet de déclassement progressif et qui s'accroît (fonction polynomiale) au fur et à mesure que l'on s'écarte du seuil bon-moyen de l'EQR_A (voir ci-dessous les formules). **Les conditions d'un bon état correspondent à au moins 50 % de la végétation composée d'espèces de référence et un recouvrement total minimum de 50 %.**

L'EQR de l'indice d'abondance varie entre 0 et 1 (**Tableau 4**).

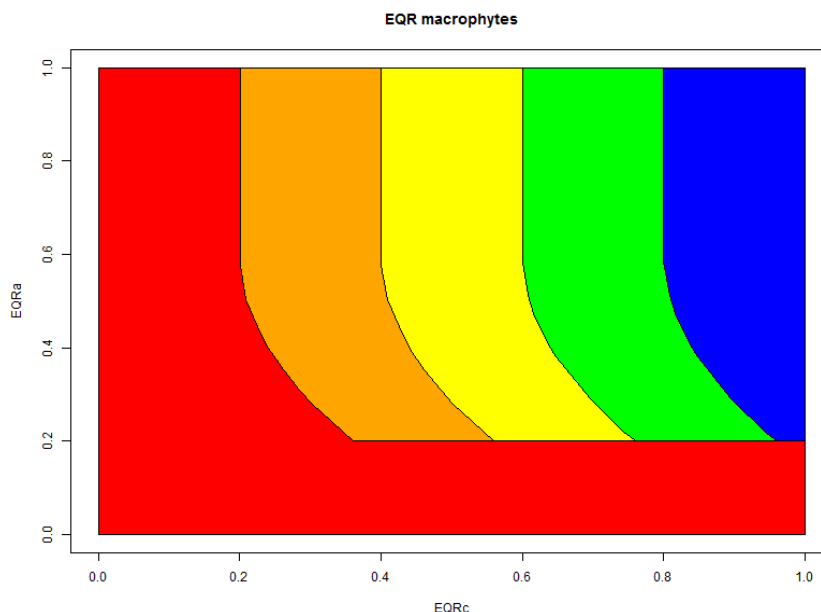


Figure 1. Evolution de l'EQR_{MAC} en fonction de l'EQR_C et l'EQR_A

Tableau 4. Grille de correspondance de l'indicateur macrophytes avec les classes de qualité DCE pour les lagunes poly- et eu-halines.

Arrêté évaluation 27 juillet 2015	EQR après le 3 ^e round d'intercalibration	Classe
[1,00 - 0,80]	Déjà intercalibré lors du round 2	Très Bon
]0,80 - 0,60]		Bon
]0,60 - 0,40]		Moyen
]0,40 - 0,20]		Médiocre
]0,20 - 0,00]		Mauvais

Relations Pressions – Etat et diagnostic

Qualitativement

Mesuré en pleine eau, l'indicateur est sensible aux perturbations modifiant la qualité des eaux : augmentation de la turbidité, eutrophisation. L'indicateur est potentiellement sensible à une gamme de pressions comme les pollutions diffuses (intrants agricoles, apports eaux douces), les pollutions ponctuelles (rejets domestiques et industriels), la destruction par artificialisation, les activités industrielles (zones industrielles, pompage d'eau, production d'énergie), les activités portuaires (navigation, dragages), les pêcheries.

Relation Pressions-Etat

Sensibilité à l'eutrophisation

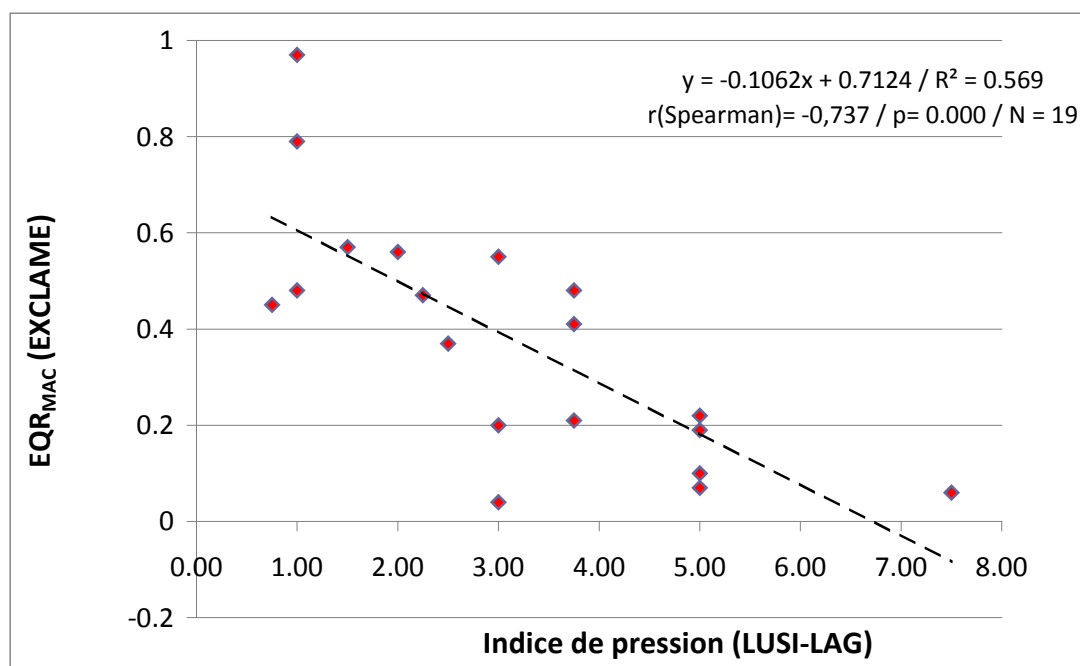
Dans le cadre de l'exercice d'intercalibration, la sensibilité de l'indicateur EXCLAME aux pressions anthropiques a été dans un premier temps, documentée au moyen de l'indice d'eutrophisation LUSI-Lag (Land Uses Simplified Index, Flo *et al.*, 2011), appliqué au lagunes méditerranéennes (Buchet, 2012).

Cet indice est calculé à partir de l'occupation du sol (données Corine Land Cover, 2006), dans les bassins versants des lagunes. Les codes de la nomenclature CLC susceptibles d'engendrer des apports en éléments nutritifs sont sélectionnés, leur pourcentage d'occupation du sol est calculé. Ces pourcentages sont ventilés par classes auxquelles un score est attribué. Puis un score est appliqué selon la présence et l'importance des apports d'eau extérieurs au bassin versant de la lagune (pompages, canaux). Les deux scores sont sommés et on applique un coefficient multiplicateur permettant de prendre en compte la sensibilité de la lagune aux apports, tenant compte de son degré d'échanges avec la mer.

% Urbain	% Agricole	% Industriel	Apports en eau extérieurs au bassin versant	Score
CLC Code 11 : Zones urbanisées	CLC Code 21 : Terres arables CLC Code 22 : Cultures permanentes CLC Code 23 : Prairies CLC Code 24 : Zones agricoles hétérogènes	CLC Code 12 : Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication CLC Code 13 : Mines, décharges et chantiers		
< 10 %	<10%	<10%	Aucun	0
10 - 33 %	10-40%	10-30%	Modérés	1
33 - 66%	40-60%	≥ 30%	Forts	2
≥ 66%	≥ 60%			3

Isolation du milieu marin	Facteur multiplicatif
Très importante	1,5
Importante	1,25
Modérée	1
Faible	0,75

Une relation significative a été établie entre l'indice de pression LUSI-Lag et l'EQR_{MAC} de l'indicateur EXCLAME, calculé sur 19 lagunes ($R^2 = 0,569$; $p < 0,001$) (Buchet, 2012).



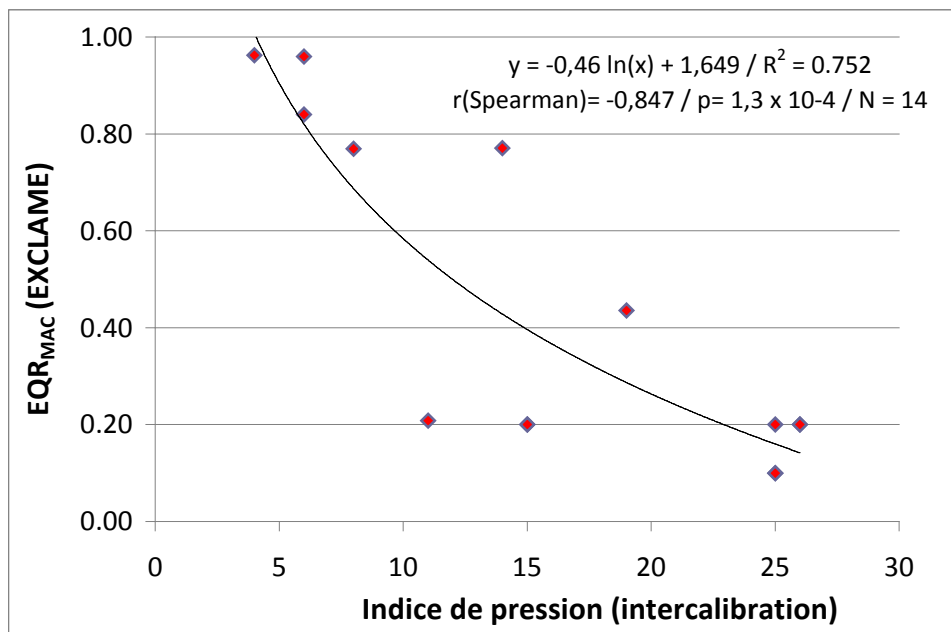
Sensibilité à des pressions multiples :

Afin d'obtenir une évaluation commune des pressions au niveau européen, un indice de pression a été constitué pour les besoins de l'exercice d'intercalibration. Il comprend les 19 items ci-dessous, auxquels une cotation qualitative est appliquée à dire d'expert (0 = Absence ; 1 = Faible ; 2 = Modérée ; 3 = Forte).

Type	Pressions
Pressions diffuses	Apports diffus d'origine agricole
	Apports d'eau douce
Pollution	Rejets domestiques
	Rejets mixtes domestiques/industriels
	Rejets industriels
Perte d'habitat	Terrains gagnés sur la lagune
Industrielles	Surfaces industrielles (% bassin versant)
	Prélèvement d'eau
	Production d'électricité
Portuaires	Activité portuaire
	Navigation
	Dragages
Pêches	Poissons
	Coquillages
Physico-chimie (paramètres d'état)	Chlorophylle
	Nutriments azotés (NID)
	Nutriments phosphorés
	Oxygène dissous
	Turbidité

L'indice de pression est la somme des scores obtenus pour chacun des 19 items.

Une relation significative entre l'indice de pression et l'indicateur établie au niveau européen comprend 14 sites français (11 lagunes : Leucate, Ayrolle, Palo, Ingril, Pierre-Blanche, Vic, Thau, La Palme, Grec, Prévost, Arnel), excluant les lagunes oligohalines.



Une étude ultérieure, réalisée sur le jeu de données de la campagne DCE de 2009 (17 lagunes poly- et eu-halines) a permis de mettre en évidence que la superficie du bassin versant, les variables liées aux pressions urbaines (rejets industriels de phosphore et rejets des STEU) et l'écart de salinité moyen entre la mer et la lagune sont les plus fortement corrélés négativement aux EQR de l'indicateur macrophytes (coefficients de corrélation de Pearson de -0.65 à -0.4) (Derolez *et al.*, 2014).

Limites d'application - Commentaires

Dans la DCE, les macro-algues et angiospermes en eaux de transition sont considérés comme deux éléments de qualité distincts (tableaux de l'annexe V), mais regroupés dans le terme « composition et abondance de la flore aquatique (autre que phytoplancton) » dans le paragraphe 1.1.3 de cette même annexe ; un consensus a été établi entre Etats Membres pour élaborer un seul indicateur commun pour l'ensemble des macrophytes.

Le calcul de l'EQR d'un site (point ou masse d'eau) se fait en appliquant les formules ci-dessous. Dans le cas d'une application à plusieurs points (cas d'une masse d'eau), ce sont les valeurs des moyennes arithmétiques des métriques (RT, RR et RS) sur l'ensemble des stations qui sont utilisées :

1. Calcul par métrique

$EQR_{Composition}$ (EQR_C)

- Si $RT < 0,05$ → **EQR_C non défini (noté « nd »)**
- Si $RT \geq 0,05$ et :
 - si $RR \geq 0,5$ → **$EQR_C = 0,8 RR + 0,2$**
 - ou si $0,05 \leq RR < 0,5$ → **$EQR_C = 0,444 RR + 0,378$**
 - ou si $0 < RR < 0,05$ → **$EQR_C = 0,4 RR + 0,2$**
 - ou si $RR = 0$ et $RS \geq 3$ → **$EQR_C = 0,2$**
 - ou si $RR = 0$ et $RS < 3$ → **$EQR_C = 0,1$**

La valeur obtenue de l' EQR_C est arrondie à la seconde décimale

$EQR_{Abondance}$ (EQR_A)

Si $0,25 \leq RT < 1$ $EQR_A = 0,8 RT + 0,2$

Si $0,05 \leq RT < 0,25$ $EQR_A = RT + 0,15$

Si $RT < 0,05$ $EQR_A = 4 RT$

La valeur obtenue de EQR_A est arrondie à la seconde décimale

RT : recouvrement végétal total ; RR : recouvrement relatif espèces de références et RS : richesse spécifique

2. Calcul de l'indicateur macrophytes EXCLAME (EQR_{MAC})

- Si $EQR_C =$ « non défini » → **$EQR_{MAC} = EQR_{Abondance} / 2$**

- Sinon :

- Si $EQR_A \geq 0,6$ → **$EQR_{MAC} = EQR_C$**

- Sinon :

- Si $(0,6 - EQR_A)^2 \geq EQR_C$ → **$EQR_{MAC} = 0,05$**

- Sinon → **$EQR_{MAC} = EQR_C - (0,6 - EQR_A)^2$**

La valeur obtenue de l' EQR_{MAC} est arrondie à la seconde décimale.

Références

- Andral B., Derolez V. (2007). Directive Cadre Eau. Mise en œuvre du Contrôle de surveillance. Résultats de la campagne 2006. District Rhône et côtiers méditerranéens. 193 p.
- Andral B., Orsoni V. (2007). Directive Cadre Eau. Mise en œuvre du Contrôle de surveillance. Résultats de la campagne 2006. District Corse. 144 p.
- Andral B., Sargian P., 2010. Directive Cadre Eau. District Rhône et Côtiers Méditerranéens. Contrôles de surveillance/opérationnel. Campagne 2009, 127 p. Site web : <http://www.ifremer.fr/lerlr/surveillance/DCE.htm>
- Buchet, R., 2012. Assistance à la coordination des travaux européens d'intercalibration des indicateurs biologiques de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE). Rapport du contrat Ifremer/Hocer n°11/5210818. 133 p. + annexes.
- Derolez V., Cadoret M., Fiandrino A., Munaron D. (2014). Bilan sur les principales pressions pesant sur les lagunes méditerranéennes et leurs liens avec l'état DCE. RST-LER/LR 14-20. Convention-cadre AERMC/Ifremer 46 p. <https://w3.ifremer.fr/archimer/doc/00254/36574/35112.pdf>

- Flo, E., Camp., J., Garcés, E. (2011). Assessment Pressure methodology, Land Uses Simplified Index (LUSI), BQE Phytoplankton. MED GIG Joint phytoplankton meeting, Roma, 17-18 janvier 2011.
- Lauret M., Oheix J., Derolez V., Laugier T. (2011). Guide de reconnaissance et de suivi des macrophytes des lagunes du Languedoc-Roussillon. Ifremer, Cépralmar, Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, Région Langudeoc-Roussillon. 148 p.
- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (2015). Arrêté du 27 juillet 2015 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-18 du code de l'environnement.
- Sanchez A.E., Grillas P. (2014). Mise au point d'un indicateur macrophytes DCE compatible pour les lagunes oligo et mésohalines. 80 p.
- Sargian P., Andral B., Derolez V. *et al.* (2013a). Réseaux de surveillance DCE - Campagne 2012 – District « Rhône et côtiers méditerranéens ». 132 p.
- Sargian P., Andral B., Derolez V. *et al.* (2013b). Réseaux de surveillance DCE – Campagne 2012 – District « Corse ». 109 p.
- Witkowski F., Andral B., Derolez V., Tomasino C. (2016). Campagne de surveillance 2015 (DCE et DCSMM) en Méditerranée française. Districts « RHONE ET COTIERS MEDITERRANEENS » ET « CORSE ». Convention AERMC / Ifremer n° 2014-2292. 221 p.