- (1) Département Océanographie et Dynamique des Ecosystèmes côtiers Laboratoire Environnement Ressources du Languedoc-Roussillon/MARBEC
- (2) Département Océanographie et Dynamique des Ecosystèmes côtiers Vigies, Nantes
- (3) Université de Montpellier/MARBEC
- (4) Département Océanographie et Dynamique des Ecosystèmes côtiers Laboratoire Environnement Ressources Provence-Alpes-Côte d'Azur-Corse
- (5) Agence de l'Eau Rhône Méditerranée-Corse Délégation de Montpellier

Valérie Derolez<sup>1</sup>, Béatrice Bec<sup>3</sup>, Nicolas Cimiterra<sup>1</sup>, Elodie Foucault<sup>1</sup>, Grégory Messiaen<sup>1</sup>, Annie Fiandrino<sup>1</sup>, Nathalie Malet<sup>4</sup>, Dominique Munaron<sup>1</sup>, Ophélie Serais<sup>1</sup>, Coralie Connes<sup>4</sup>, Emeric Gautier<sup>2</sup>, Elise Hatey<sup>3</sup>, Anaïs Giraud<sup>5</sup>

Mai 2021 - RST/LER/LR/21.16

OBSLAG 2020 - volet eutrophisation Lagunes méditerranéennes (période 2015-2020) Etat DCE de la colonne d'eau et du phytoplancton, tendance et variabilité des indicateurs



Contrat 20/1000942 (Convention Cadre Ifremer-AERMC 1000837)



fremer

## Table des matières

1.	PREAMBULE	. 5
2.	CONTEXTE ET OBJECTIFS	. 5
	<ul> <li>2.1. LA MISE EN ŒUVRE DE LA DCE DANS LES LAGUNES MEDITERRANEENNES</li> <li>2.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE</li> </ul>	. 5 . 7
3.	MATERIEL ET METHODES	. 7
	<ul> <li>3.1. OBJECTIF 1 - DIAGNOSTIC DE L'ETAT DCE DES COMPARTIMENTS « COLONNE D'EAU » ET</li> <li>« PHYTOPLANCTON »</li></ul>	. 7
4.	CONDITIONS METEOROLOGIQUES 2015-2020	15
5. «	ETAT DCE 2015-2020 DES COMPARTIMENTS « COLONNE D'EAU » ET PHYTOPLANCTON »	19
6.	CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	62
B	IBLIOGRAPHIE	64
A IN	NNEXE 1. FORMULE DU PERCENTILE 90 (P90) INTERVENANT DANS LE CALCUL DES NDICATEURS DE L'ETAT PHYSICO-CHIMIQUE ET DU PHYTOPLANCTON	7
A K	NNEXE 2. FORMULES PERMETTANT D'OBTENIR LA STATISTIQUE DU TEST DE MANN- ENDALL (GILBERT, 1987)6'	7
A S	NNEXE 3. RESULTATS DES SUIVIS « COLONNE D'EAU » ET « PHYTOPLANCTON » POUR LE FATIONS HYDROLOGIQUES COMPLEMENTAIRES ( <i>EN ITALIQUE</i> )	2S 8
A IN	NNEXE 4. ETATS DCE 2015-2020 DE LA « COLONNE D'EAU » ET DU « PHYTOPLANCTON » E NDICATEURS DE VARIABILITE ET DE TENDANCE	Т 77



## Fiche documentaire

Numéro d'identification du rapport : RST-LER/LR 21-16		date de publication : Mai 2021			
<b>Diffusion</b> : libre : $\square$ restreinte : $\square$ interdite : $\square$		nombre de pages : 78 p.			
		bibliographie : Oui			
		illustration(s): Oui			
		langue du rapport : F			
Titre : OBSLAG 2020 - volet eutrophisation. Lagunes méditerranéennes (période 2015-2020). Etat DCE de					
colonne d'eau et du phytoplancton, tendance et variabilité	é des indicateurs				
Rapport intermédiaire □ Rapport définitif ☑					
Rédacteurs et principaux contributeurs : Valérie	Destinataire : Agence	de l'Eau Rhône Méditerranée			
Derolez, Béatrice Bec, Nicolas Cimiterra, Elodie Foucault,	Corse				
Grégory Messiaen, Annie Fiandrino, Nathalie Malet,					
Dominique Munaron, Ophélie Serais, Coralie Connes,					
Emeric Gautier, Elise Hatey, Anaïs Giraud					
Résumé :					

Cette étude est réalisée dans le cadre du projet OBSLAG (OBServatoire des LAGunes) et porte sur les 10 masses d'eau lagunaires méditerranéennes situées à l'aval des cours d'eau suivis depuis 2015 par le « réseau flux » de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse. Le rapport correspond aux actions réalisées en 2020 dans le cadre du volet « eutrophisation » d'OBSLAG, répondant aux objectifs suivants :

- réaliser un suivi estival en 2020 du phytoplancton et de la physico-chimie de l'eau et évaluer l'état DCE de ces compartiments pour la période 2015-2020 sur les 10 masses d'eau lagunaires du suivi « réseau flux », regroupant 13 lagunes poly-euhalines. Ce suivi permet de renforcer la fréquence des suivis DCE sur la colonne d'eau et le phytoplancton, qui ne sont réalisés qu'un été sur deux depuis 2015 ;
- (2) appliquer des indicateurs plus sensibles que les indicateurs DCE, mettant en évidence, sur les périodes d'évaluation, les tendances d'évolution et la variabilité de l'état du phytoplancton et de la colonne d'eau, compartiments les plus réactifs des écosystèmes lagunaires.

Les suivis réalisés au cours de l'été 2020 sur les 10 masses d'eau lagunaires ont montré que le bon état DCE est atteint pour la période 2015-2020 pour 6 masses d'eau en ce qui concerne les paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau et pour 5 masses d'eau en ce qui concerne le compartiment phytoplancton. Quatre masses d'eau atteignent le bon état pour les deux compartiments colonne d'eau et phytoplancton (Bages-Sigean, Ayrolle, Thau et Berre). Une masse d'eau est concernée par une perte de classe qualité (La Palme en état moyen pour l'état physico-chimique) pour la période 2015-2020 par rapport à la période 2013-2018 et deux masses d'eau par des gains de classe de qualité (Berre en très bon état physico-chimique et en bon état pour le phytoplancton ; Canet en état médiocre pour le phytoplancton).

L'application de méthodes statistiques adaptées (bootstrap, tests de Mann Kendall et de Kruskal-Wallis) sur les données acquises de 2015 à 2020 ont permis :

- d'évaluer la confiance accompagnant les diagnostics DCE des masses d'eau,
- de mettre en évidence une tendance à l'augmentation au cours de la période 2015-2020 des concentrations en nutriments sur 2 masses d'eau (La Palme et Thau) et une tendance à la diminution sur une masse d'eau (Palavasiens-Est),
- de mettre en évidence une tendance à l'augmentation au cours de la période 2015-2020 de la biomasse de phytoplancton sur une masse d'eau (La Palme).

Les indicateurs fournis permettent ainsi de détecter des changements de façon précoce et d'attirer l'attention sur des nouveaux signes de dégradation ou de restauration de l'état des lagunes.

**Mots-clés :** Directive Cadre sur l'Eau (DCE), lagunes, masses d'eau de transition, eutrophisation, phytoplancton, confiance, précision, tendance.



## 1. Préambule

Ce rapport est le fruit d'un travail réalisé en collaboration avec de multiples intervenants.

**Rédacteurs et principaux contributeurs :** Valérie Derolez, Béatrice Bec, Nicolas Cimiterra, Elodie Foucault, Grégory Messiaen, Annie Fiandrino, Nathalie Malet, Dominique Munaron, Ophélie Serais, Coralie Connes, Emeric Gautier, Elise Hatey, Anaïs Giraud.

**Remerciements :** l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse (AERMC) ; l'ensemble des personnels Ifremer des Laboratoires-Environnement-Ressources du Languedoc-Roussillon (LER/LR) et de Corse (LER/PAC/CO) et de l'équipe VIGIES de Nantes ; l'UMR MARBEC ; les structures de gestion des lagunes : le Syndicat Mixte du Bassin de Thau, le Syndicat Mixte des Etangs Littoraux, le Syndicat Mixte du Bassin de l'Or, le Parc Naturel Régional de la Narbonnaise en Méditerranée, le Syndicat Mixte de Gestion Intégrée, Prospective et Restauration de l'Etang de Berre, le Syndicat Mixte du Delta de l'Aude, le Syndicat Mixte du Bassin Versant du Réart, Perpignan Méditerranée et la Réserve Naturelle de l'Etang de Biguglia.

## 2. Contexte et objectifs

#### 2.1. La mise en œuvre de la DCE dans les lagunes méditerranéennes

Les lagunes méditerranéennes sont suivies depuis 2006 au titre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) (Andral et Derolez, 2007 ; Andral et Orsoni, 2007 ; Andral *et al.*, 2010a et 2010b ; Sargian *et al.*, 2013a et 2013b ; Witkowsky *et al.*, 2016 ; Bouchoucha *et al.*, 2019). La DCE fixe un cadre pour l'évaluation de l'état des masses d'eau de transition, dont les lagunes méditerranéennes font partie (Directive Cadre sur l'Eau 2000/60/CE du 23 octobre 2000, transposée en droit français par la loi n°2004-338 du 21 avril 2004).

L'état d'une masse d'eau est la combinaison de son état écologique et de son état chimique (Figure 1). L'état écologique est évalué sur la base d'éléments de qualité biologique et de paramètres hydromorphologiques et physico-chimiques.



Figure 1. Schéma d'évaluation de l'état des masses d'eau au titre de la Directive Cadre sur l'Eau.

Pour chaque élément de qualité biologique, sont déterminées des conditions de référence, qui correspondent aux caractéristiques des peuplements qui seraient obtenues dans un milieu soumis à très peu ou à l'absence de pressions humaines. L'état biologique est mesuré par l'écart aux conditions de référence, sous forme d'un ratio de qualité écologique (Ecological Quality Ratio, EQR) :

EQR = valeur de l'indicateur dans les conditions de référence / valeur de l'indicateur mesuré.

Le classement de l'état biologique est établi selon cinq classes, du très bon au mauvais.

L'état chimique est bon ou mauvais, selon le respect des normes de qualité environnementale, définies pour chacune des substances identifiées dans la Directive fille n°2013/39/UE.

La règle du paramètre le plus déclassant s'applique pour l'état biologique et pour l'état chimique : un seul paramètre en-dessous des normes peut occasionner un classement inférieur à bon de la masse d'eau.



Deux arrêtés détaillent les paramètres à suivre et les grilles de qualité à utiliser dans le cadre des programmes de surveillance DCE (MTES 2018a et 2018b).

La Directive identifie quatre compartiments biologiques à suivre dans les lagunes :

- le phytoplancton (microalgues),
- les macrophytes (macroalgues et angiospermes),
- la macrofaune benthique,
- les poissons.

fremer

Les paramètres à renseigner concernent l'abondance et la composition spécifique des peuplements ainsi que la biomasse pour le phytoplancton uniquement. En soutien à ces éléments de qualité biologique, un suivi des paramètres hydro-morphologiques et physico-chimiques est prévu, mais l'hydromorphologie seule ne peut pas dégrader la masse d'eau au-delà de l'état bon. La physicochimie, quant à elle, ne peut pas dégrader la masse d'eau au-delà de l'état moyen (un diagnostic de la qualité physico-chimique mauvais ou médiocre conduit à classer en état moyen l'état biologique d'une masse d'eau en état bon ou très bon).

Pour répondre aux besoins d'évaluation de l'état des masses d'eau et d'appui aux gestionnaires dans la mise en œuvre des mesures de gestion au titre de la DCE, les indicateurs doivent remplir plusieurs qualités résumées dans la Figure 2 (Brun et Soudant, 2015). En premier lieu, la représentativité de l'indicateur, étroitement liées aux procédures d'échantillonnage et d'analyse, doit être maximisée. En outre, l'incertitude autour de la valeur estimée de l'indicateur doit être quantifiée afin d'estimer les risques d'erreurs d'évaluation. Ainsi, le paragraphe 1.3 de la DCE impose une estimation du niveau de confiance et de précision des résultats fournis par les programmes de surveillance. Les documents guides de la DCE mentionnent par ailleurs que **les masses d'eau doivent être classifiées dans une seule catégorie d'état écologique, avec une confiance et une précision acceptables** (WFD CIS 2003 et 2005). Enfin, il est important de disposer d'un indicateur sensible aux évolutions des niveaux de pressions anthropiques, permettant de mettre en évidence des tendances. L'analyse des tendances peut permettre d'évaluer l'efficacité des mesures de gestion, ou d'en comprendre les freins, et de détecter des changements de qualité afin de mettre en œuvre un programme de mesures efficace et pertinent pour atteindre l'objectif de bon état.



Figure 2. Qualités attendues d'un indicateur (Brun et Soudant, 2015).

6

#### 2.2. Objectifs de l'étude

Cette étude est réalisée dans le cadre du projet OBSLAG (OBServatoire des LAGunes) et porte sur les 10 masses d'eau lagunaires méditerranéennes situées à l'aval des cours d'eau suivis depuis 2015 par le « réseau flux » de l'AERMC (Tableau 1). Les stratégies spatiale et temporelle mises en place aussi bien dans le cadre de la DCE (résolution spatiale faible, emprise spatiale forte et mesures ponctuelles) que dans les études complémentaires (résolution spatiale fine, emprise spatiale faible et mesures répétées dans le temps) ne permettent parfois pas de **mettre en évidence les gains écologiques sur les milieux lagunaires sous l'effet des mesures de gestion**. Dans ce contexte et en complément des réseaux DCE, le projet OBSLAG concerne la réalisation de suivis complémentaires sur deux volets :

- l'eutrophisation,
- la contamination chimique par les pesticides.

Ce rapport correspond aux actions réalisées en 2020 dans le cadre du volet « eutrophisation » répondant aux objectifs suivants :

(1) réaliser un suivi estival en 2020 du phytoplancton et de la physico-chimie de l'eau et évaluer l'état DCE de ces compartiments pour la période 2015-2020 sur les 10 masses d'eau lagunaires du suivi « réseau flux », regroupant 13 lagunes poly-euhalines. Ce suivi permet de renforcer la fréquence des suivis DCE sur la colonne d'eau et le phytoplancton, qui ne sont réalisés qu'un été sur deux depuis 2015 ;

(2) appliquer des indicateurs plus sensibles que les indicateurs DCE, mettant en évidence, sur les périodes d'évaluation, les tendances d'évolution et la variabilité de l'état du phytoplancton et de la colonne d'eau, compartiments les plus réactifs des écosystèmes lagunaires.

#### 3. Matériel et méthodes

# 3.1. Objectif 1 - Diagnostic de l'état DCE des compartiments « colonne d'eau » et « phytoplancton »

#### 3.1.1. Stations et périodes des suivis

Le Tableau 1 liste, pour chacune des 10 masses d'eau, regroupant 13 lagunes poly-euhalines (salinité annuelle moyenne > 18), les stations de suivi hydrologique diagnostiquées pour l'état physico-chimique de la colonne d'eau et l'état du phytoplancton.

**Tableau 1.** Stations hydrologiques suivies en 2020 dans les masses d'eau lagunaires méditerranéennes. *En gris italique : stations pour lesquelles les données n'interviennent pas dans le classement DCE (suivies à titre complémentaire).* 

Code masse d'eau	Lagune	Stations
DCE		hydrologiques
		suivies
FRDT01	Canet	CNS
FRDT03	La Palme	LAP
FRDT04	Bages-	
	Sigean	BGN, BGS
FRDT05	Ayrolle	AYR
FRDT10	Thau	TES, TWS, TPE,
		TEF, TWF, TANG
FRDT11c	Ingril	INN
Palavasiens-Ouest	Vic	VIC
FRDT11b	Prévost	PRE
Palavasiens-Est	Méjean	MEW
	Grec	GRC
FRDT11a	Or	ORE, ORW
FRDT15a	Berre	BES, BEF
FRET01	Biguglia	BIN, BIS



Les diagnostics DCE de la colonne d'eau et du phytoplancton sont établis à partir d'une ou deux stations hydrologiques représentatives de chaque masse d'eau (16 stations DCE au total). Les résultats obtenus sur les 6 stations hydrologiques « complémentaires » sont disponibles en Annexe 3 et sont mentionnés en commentaires des résultats, lorsqu'ils mettent en évidence des phénomènes particuliers.

Les analyses statistiques réalisées sur les données acquises de 2001 à 2012 dans le cadre du Réseau de Suivi Lagunaire et de la DCE ont permis de confirmer que les suivis estivaux sont suffisants pour mettre en évidence des trajectoires d'évolution de l'état des lagunes vis-à-vis de l'eutrophisation, principale perturbation de l'état biologique des lagunes (Derolez *et al.*, 2013). Les diagnostics de l'état DCE des compartiments colonne d'eau et phytoplancton sont effectués à partir de données acquises sur une période de 6 années consécutives, durée des plans de gestion DCE. Dans le cadre de cette évaluation, la période concernée correspond aux étés 2015 à 2020. Outre les données acquises dans le cadre de cette étude lors de l'été 2020, les diagnostics s'appuient donc sur les données :

- des campagnes de diagnostic DCE de 2015 (Witkowski *et al.*, 2016), 2017 et 2019 (Bouchoucha *et al.*, 2019);
- des suivis estivaux des lagunes effectués en 2016 et 2018 dans le cadre du projet OBSLAG (Derolez *et al.*, 2017 ; Derolez *et al.*, 2019).

#### 3.1.2. Protocoles de prélèvements et d'analyses

Les suivis de la colonne d'eau et du phytoplancton ont été effectués selon les protocoles décrits dans l'étude « Bilan méthodologique de l'outil de diagnostic de l'eutrophisation du RSL - Quatorze années de résultats en Région Languedoc-Roussillon » (Baehr *et al.*, 2013). Les prélèvements sont effectués de façon mensuelle en juin, juillet et août. Les prélèvements d'eau sont effectués en « sub-surface » pour toutes les stations (0-1 m ou à mi-profondeur pour les lagunes de profondeur inférieure à 3 m), et également au fond (à + 1 m du fond) pour Berre (station BEF) et Thau (stations TWF et TEF). Pour chaque masse d'eau, les diagnostics sont établis à partir des « stations DCE », pour les prélèvements effectués en surface (Tableau 1), les résultats obtenus sur les stations hydrologiques « complémentaires » sont mentionnés dans les commentaires.

Les diagnostics de l'état DCE de la colonne d'eau et du phytoplancton s'appuient sur les paramètres clés de l'eutrophisation (Derolez *et al.*, 2019) : les variables azote total (N<sub>t</sub>), phosphore total (P<sub>t</sub>), et chlorophylle *a*, paramètres intégrateurs de l'eutrophisation, et les variables azote inorganique dissout (NID, qui regroupe les nitrites, les nitrates et l'ammonium) et orthophosphates (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), indicatrices de pollutions ponctuelles ou d'apports récents. Ces cinq paramètres sont complétés par les abondances de picophytoplancton (diamètre < 3 µm) et de nanophytoplancton (diamètre compris entre 3 et 20 µm), pour qualifier l'état du phytoplancton.

Des paramètres physico-chimiques d'appui ont été mesurés afin de compléter l'interprétation des données : température, salinité, oxygène dissous, turbidité, silicates.

Les prélèvements ont été réalisés en grande partie par le LER/LR et le LER/PAC/CO, avec un soutien des structures de gestion des lagunes. Les analyses de nutriments dans les eaux ont été réalisées par le LER/LR, accrédité par le COFRAC (accréditation n° 1-1655, pour le programme LAB GTA 05, « Analyses physico-chimiques des eaux »), depuis le 21/01/2014. Les analyses de chlorophylle *a* et d'abondance de pico- et nano-phytoplancton ont été réalisées par l'Université de Montpellier. Les méthodes d'analyses sont détaillées dans le rapport d'A. Baehr *et al.* (2013).

Les données sont saisies dans la base Quadrige<sup>2</sup> et accessibles à tous via le site web Surval (<u>https://envlit.ifremer.fr/resultats/acces\_aux\_donnees/presentation</u>, sélectionner le Programme « RSLHYD : Réseau de Suivi des Lagunes méditerranéennes Hydrologie et phytoplancton »). Les résultats obtenus sur les 10 masses d'eau lagunaires poly-euhalines sont interprétés selon les grilles DCE décrites dans le paragraphe ci-dessous (§ 3.1.3).



#### 3.1.3. Evaluations des états DCE

Le diagnostic de l'état des 10 masses d'eau, intégrant l'état physico-chimique de la colonne d'eau et l'état du phytoplancton est établi selon les critères et les grilles DCE préconisés dans l'arrêté ministériel « relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface » (MTES, 2018a) et dans le « Guide relatif aux règles d'évaluation de l'état des eaux littorales dans le cadre de la DCE » (MTES, 2018c).

#### a) Etat physico-chimique DCE du compartiment « colonne d'eau »

Le diagnostic de l'état physico-chimique de la colonne d'eau des masses d'eau lagunaires est établi à partir d'une grille à 4 paramètres : N<sub>t</sub> (azote total), P<sub>t</sub> (phosphore total), NID (azote inorganique dissous) et  $PO_4^{3-}$  (phosphates). Pour chaque paramètre, une agrégation spatiale et temporelle des données est réalisée, puis une agrégation des 4 paramètres est effectuée pour obtenir l'état physicochimique de la masse d'eau :

- **agrégation spatiale :** dans le cas des masses d'eau suivies sur plusieurs stations, les données de chaque paramètre sont agrégées en prenant chaque mois la moyenne des valeurs acquises sur les différentes stations de la masse d'eau ;
- **agrégation temporelle :** afin de prendre en compte la variabilité interannuelle des paramètres physico-chimiques, une agrégation temporelle des données est effectuée. La donnée prise en compte pour chacun des paramètres correspond à la valeur du percentile 90 (P90) calculé à partir des valeurs de chaque mois (moyennées dans le cas de plusieurs stations), sur la période des étés 2015 à 2020. Au contraire de la valeur maximale, le P90 en-dessous duquel se trouvent au moins 90% des valeurs du jeu de données (Figure 3, formule en Annexe 1) permet d'en ôter les valeurs extrêmes qui pourraient être dues à des dégradations très ponctuelles<sup>1</sup>;



Figure 3. Représentation simplifiée du percentile 90 (P90, en orange) obtenu à partir des 18 données estivales acquises sur 6 étés consécutifs.

• **agrégation des paramètres :** l'état physico-chimique de la masse d'eau est obtenu en en sélectionnant la note la plus déclassante des 4 paramètres de la grille.

Dans le cadre des évaluations DCE, l'état physico-chimique des masses d'eau est évalué en tant que « paramètre de soutien » aux éléments de qualité biologique. **Pour les évaluations DCE, seuls les seuls très bon, bon et moyen sont à définir.** Les seuils des états médiocre et mauvais sont cependant utilisés dans ce rapport, car ils permettent de mettre en évidence l'effet des mesures mises en place pour les masses d'eau les plus dégradées, et ainsi de mesurer de façon précoce les évolutions de l'état des lagunes. La grille de diagnostic ci-dessous est utilisée (Tableau 2) (MTES, 2018a et 2018c).



<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Par construction, le P90 est plus « déclassant » que la valeur moyenne ou médiane.

Paramòtro	Unitó					Eta	t			
Falametre	Unite	Très bon		Bon		Moyen		Médiocre		Mauvais
[PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ]	µmol / I		0,3		1		1,5		4	
[NID]	µmol / I		2		6		10		20	
[NT]	µmol / I		50		75		100		120	
[PT]	µmol / I		2		3		4		5	

Tableau 2. Grille de diagnostic DCE de l'état physico-chimique des masses d'eau lagunaires.

b) Etat DCE du compartiment « phytoplancton »

En tant qu'élément de qualité de l'état biologique DCE, le compartiment « phytoplancton » est suivi selon deux métriques « biomasse » et « abondance » :

- **biomasse phytoplanctonique** (concentration de chlorophylle *a* en µg/L),
- **abondance phytoplanctonique** (nombre de cellules/L x 10<sup>6</sup>) :
  - densité de nanophytoplancton (diamètre > 3 μm),
  - densité de picophytoplancton (diamètre < 3 μm).</li>

Pour chaque paramètre, une agrégation spatiale et temporelle des données est réalisée. La valeur de chaque métrique est transformée et valeur d'EQR, puis une agrégation des paramètres est effectuée pour obtenir l'état du phytoplancton de la masse d'eau :

- **agrégation spatiale :** dans le cas des masses d'eau suivies sur plusieurs stations, les données de chaque paramètre sont agrégées en prenant chaque mois la moyenne des valeurs acquises sur les différentes stations de la masse d'eau ;
- **agrégation temporelle :** afin de prendre en compte la variabilité interannuelle des paramètres physico-chimiques, une agrégation temporelle des données est effectuée. La donnée prise en compte pour chacun des paramètres correspond à la valeur du percentile 90 calculé à partir des valeurs de chaque mois (moyennées dans le cas de plusieurs stations), sur la période des étés 2015 à 2020 ;
- transformation en EQR : la valeur de chaque métrique est rapportée à la valeur de référence, définie à partir des données obtenues des lagunes peu soumises à des pressions anthropiques (Buchet, 2012 ; MTES, 2018c). L'EQR obtenu prend alors des valeurs comprises entre 0 (état dégradé) et 1 (état de référence) ;
- agrégation des paramètres :
  - la métrique d'abondance (EQR<sub>A</sub>) est obtenue en retenant le minimum des EQR des densités de nano- et de pico-phytoplancton,
  - l'état du compartiment « phytoplancton » (EQR<sub>PHY</sub>) est obtenu en retenant la moyenne des métriques « abondance » (EQR<sub>A</sub>) et « biomasse » (EQR<sub>B</sub>) (Tableau 3) (MTES, 2018a et 2018c).

NB : Les composantes pico- et nano-phytoplanctoniques (tailles respectivement inférieures à 3  $\mu$ m et comprises entre 3 et 20  $\mu$ m) représentent une part majeure du phytoplancton l'été dans les lagunes et leur abondance élevée est un signe d'eutrophisation (Bec et al., 2011). La chlorophylle a est un indicateur de la biomasse totale du phytoplancton, elle est donc influencée par les abondances de pico- et de nano-phytoplancton, mais également par les abondances de cellules phytoplanctoniques de plus grande taille (micro-phytoplancton de taille comprise entre 20 et 200  $\mu$ m).



**Tableau 3.** Grille de diagnostic DCE de l'état du phytoplancton des masses d'eau lagunaires : (a) seuils des métriques et valeurs de référence ; (b) seuils des EQR.

(a)	(a)			Bon		Moyen		Médiocre		Mauvais	Référence
abondance	picophytoplancton		20		50		100		500		15
(x10 <sup>6</sup> ))	nanophytoplancton		4		10		20		100		3
biomasse (chlorophylle a en µg/L)			5		7		10		20		3.33
(b)		Très bon		Bon		Moyen		Médiocre		Mauvais	
EQRA	picophytoplancton		0.75		0.3		0.15		0.03		
abondance	nanophytoplancton		0.75		0.3		0.15		0.03		
EQR <sub>B</sub> biomasse			0.67		0.48		0.33		0.17		
EQR <sub>PHY</sub>			0.71		0.39		0.24		0.10		

#### 3.1.4. Conditions météorologiques

Afin d'analyser les résultats des suivis estivaux de 2015 à 2020 au regard des conditions météorologiques de cette période, les données de pluviométrie et de températures ont été traitées pour 8 stations Météo-France couvrant la façade méditerranéenne : Perpignan, Leucate, Narbonne, Sète, Montpellier, Aigues-Mortes, Arles et Bastia.

## 3.2. Objectif 2 – Application d'indicateurs de variabilité et de tendance de l'état DCE des compartiments « colonne d'eau » et « phytoplancton »

#### 3.2.1. Définitions

Selon les champs d'activité concernés, les définitions des termes relatifs à la variabilité et aux tendances peuvent différer. Dans le cadre de ce rapport, les définitions suivantes sont retenues.

#### a) Variabilité, confiance et précision

La variabilité est la disposition à varier (CNRTL, en ligne). La confiance est la probabilité, exprimée en pourcentage, que la vraie valeur d'un indice statistique soit incluse dans un intervalle. La précision est la mesure de l'incertitude statistique égale à la moitié de la longueur de l'intervalle de confiance (Soudant, 2008). L'intervalle de confiance à 95% s'écrit ainsi :

 $IC_{95\%} = [M - p; M + p]$ ; avec : M = moyenne estimée, p = précision et la confiance fixée à 95%.

#### b) Sensibilité et tendances

La sensibilité des indicateurs correspond à leur capacité à être influencés par une modification du système étudié. Les indicateurs utilisés pour les diagnostics DCE doivent être sensibles aux variations des pressions anthropiques (dégradations ou améliorations), sans être influencés par les variations naturelles (Brun et Soudant, 2015). Par ailleurs, les indicateurs doivent montrer les tendances (*ie* croissance, décroissance ou stabilité) afin de détecter des changements dans le système à des échelles spatio-temporelles qui sont pertinentes pour les décisions (EEA, 2007).

#### 3.2.2. Méthodes

L'étude réalisée en 2016 dans le cadre du projet OBSLAG a permis de sélectionner des méthodes statistiques pour fournir des indicateurs de confiance et précision (intervalles de confiance) et de tendance, adaptées aux suivis de l'état vis-à-vis de l'eutrophisation des lagunes méditerranéennes (Derolez *et al.*, 2017 ; Gimard, 2016).



#### a) Intervalles de confiance

Les indicateurs des états DCE des compartiments « eau » et « phytoplancton » n'étant pas fondés sur des moyennes mais sur des percentiles 90 des valeurs estivales, les intervalles de confiance ne peuvent pas être calculés avec les méthodes classiques. Les intervalles de confiance ont donc été calculés avec la méthode statistique du bootstrap non paramétrique. Cette méthode s'appuie sur le fait de pouvoir, en ré-échantillonnant parmi les données, estimer les caractéristiques du phénomène aléatoire qui a engendré ces données (Efron, 1995). Elle permet par ailleurs de s'affranchir de la nécessité pour la population de respecter une distribution selon une loi normale.

Le principe du bootstrap est le suivant : l'ensemble des mesures relevées pour un indicateur forme un échantillon de taille n (n=18, soit 3 mois d'été x 6 années, dans le cas des indicateurs eau et phytoplancton). Dans cet échantillon, un tirage au sort (aléatoire) d'une mesure est réalisé, en utilisant le mois comme élément stratifiant afin de tenir compte de la saisonnalité des phénomènes (pour éviter de ne ré-échantillonner par exemple que des données obtenues au mois d'août). Après avoir réintégré au jeu de données la mesure déjà tirée, l'opération est réitérée n fois (tirage avec remise) (Figure 4). Sur ce nouvel échantillon de taille n (dans lequel certaines mesures peuvent donc être tirées en doublons), le calcul de l'indicateur est appliqué. Le tirage est répété 1000 fois, ce qui fournit 1000 indicateurs. Parmi ces 1000 indicateurs, les quantiles 25 (Q<sub>25</sub>) et 97,5 (Q<sub>97.5</sub>) sont sélectionnés afin d'obtenir **un intervalle de confiance de 95% de l'indicateur (IC**<sub>95%</sub>). Si les données d'origine sont très dispersées, les 1000 indicateurs le seront et l'intervalle de confiance sera large. La méthode du bootstrap permet également de donner la probabilité pour l'indicateur d'appartenir à chacune des 5 classes de qualité DCE, ce qui permet une représentation plus détaillée de la dispersion des données et d'attribuer un niveau de confiance (en pourcentage) au diagnostic fourni.



D. Soudant, Aquaref, 3 et 4 juin 2008

**Figure 4.** Schématisation de la méthode de bootstrap pour le calcul de l'intervalle de confiance (en violet) et la répartition des valeurs de l'indicateur selon les 5 classes de qualité DCE (Soudant, 2008).

<u>Exemple 1</u>: L'application du bootstrap aux données de biomasse phytoplanctonique (EQR<sub>B</sub>) acquises sur la masse d'eau des Palavasiens-Ouest (FRDT11c) pour la période 2015-2020 permet d'illustrer les trois types d'informations qui sont obtenus par cette méthode (Tableau 4). La valeur de l'EQR<sub>B</sub> est de 0,48 et correspond à l'état moyen (Tableau 3). Les 1000 échantillons issus du bootstrap définissent un intervalle de confiance à 95% qui s'étend de 0,25 (situé dans la classe d'état médiocre) à 0,67 (situé dans la classe du très bon état) (Tableau 4). L'histogramme de répartition illustre la gamme de valeurs prises par les 1000 EQR<sub>B</sub>, allant également de l'état médiocre (orange) à l'état très bon (bleu). La colonne « confiance » précise que ces valeurs sont réparties majoritairement dans la classe de l'état moyen (52%), de façon moins importante dans la classe du très bon état (41%), puis nettement moins fréquemment dans les classes de l'état médiocre (5%) et du très bon état (2%). Ainsi, le bootstrap indique que l'état moyen attribué à l'EQR de biomasse phytoplanctonique est assorti d'une confiance modérée (52%), un pourcentage non négligeable des données brutes (48%) prenant des valeurs de la classe médiocre à la classe du très bon état.

Ifremer

**Tableau 4.** EQR et état DCE de la biomasse phytoplanctonique des étangs Palavasiens-Ouest (FRDT11c) pour la période 2015-2020. Histogramme de répartition, répartition en pourcentage des résultats du bootstrap selon les 5 classes de qualité et intervalle de confiance à 95%, des 1000 valeurs de l'EQR<sub>B</sub> obtenues par bootstrap.



#### b) Mise en évidence de tendances

Les tendances interannuelles ont été identifiées au moyen des tests statistiques non paramétriques de Mann Kendall et de Kruskal-Wallis.

Le test de Mann Kendall (Mann, 1945 ; Kendall, 1975 ; Gilbert, 1987 ; Annexe 2) est un test non paramétrique permettant d'identifier si **une tendance monotone**, **c'est-à-dire continument croissante ou décroissante**, est présente au sein d'un jeu de donnée. Il s'agit d'un test sur les rangs, c'est-à-dire que les données sont comparées deux à deux, un signe positif étant attribué si la k<sup>ième</sup> valeur est supérieure à la n<sup>ième</sup> valeur, avec k > n. La somme de ces signes, ainsi que la variance associée, sont utilisées pour produire la statistique du test. Le signe de la statistique Z indique le sens de la tendance des données. Cette valeur est ensuite comparée à la statistique de la distribution normale afin de déterminer la p-value associée au test. Il est considéré que la tendance déterminée par le test de Mann Kendall n'est significative que si sa p-value associée est inférieure à 0.05, ce qui signifie que la statistique Z de Mann Kendall est significativement différente de 0. Sur les tableaux récapitulant les résultats, la tendance (augmentation, diminution ou pas de tendance) est indiquée, avec le coefficient de la courbe de régression, indiquant le cas échéant **le niveau moyen annuel d'augmentation ou de diminution**.

L'analyse de Kruskal-Wallis (Kruskal et Wallis, 1952) et les tests post-hoc de Dunn (Dunn, 1964) permettent de **comparer les données des différentes années des périodes d'évaluation afin d'identifier celles pour lesquelles les valeurs des indicateurs ou métriques sont significativement différentes des autres.** Les résultats de ce test statistique sont fournis sous la forme de lettres attribuées à chaque année de la période d'évaluation. Si deux années possèdent une lettre différente, cela signifie que les valeurs de l'indicateur pour ces deux années sont significativement différentes.

<u>Exemple 2</u>: L'application des tests de Mann Kendall et de Kruskal-Wallis aux données de biomasse phytoplanctonique (EQR<sub>B</sub>) acquises sur la masse d'eau des Palavasiens-Ouest (FRDT11c) pour la période 2001-2006 permet d'illustrer les types de résultats obtenus par ces méthodes (*Tableau 5*). Au cours de la période 2001-2006, le test de Mann Kendall est significatif et indique une tendance à la baisse des teneurs en chlorophylle-*a*, en moyenne de 1,6  $\mu$ g/L par an. Le test de Kruskal-Wallis



précise quant à lui que les valeurs de chlorophylle-*a* varient selon les années des périodes d'évaluation. Les années 2001 à 2006 sont ainsi respectivement assignées des lettres suivantes :  $\underline{\mathbf{a}}$ ,  $\mathbf{b}$ ,  $\mathbf{b}$ ,  $\mathbf{b}$ ,  $\mathbf{b}$ ,  $\mathbf{b}$  et  $\mathbf{b}$ . Les valeurs des années 2002, 2003, 2005 et 2006, regroupées sous la même lettre  $\mathbf{b}$ , ne sont donc pas significativement différentes. En revanche, elles sont différentes des valeurs de l'année 2001, qui se voit attribuer la lettre  $\underline{\mathbf{a}}$ , correspondant aux valeurs les plus fortes dans le cadre du test de Kruskal-Wallis. L'année 2004 prend quant à elle des valeurs intermédiaires et ne peut donc pas être classée dans l'un ou l'autre des groupes a et b.

**Tableau 5.** Evolution de l'état DCE de la biomasse phytoplanctonique des étangs Palavasiens-Ouest (FRDT11c) au sein de la période 2001-2006. EQR biomasse et état DCE (représenté par la couleur de bleu à rouge), tendance d'évolution des teneurs en chlorophylle-*a* (obtenue par le test de Mann Kendall) et années particulières de la période d'évaluation (obtenues par le test de Kruskal-Wallis).



#### 3.2.3. Présentation des fiches par masse d'eau

Les résultats des diagnostics de l'état des compartiments « colonne d'eau » et « phytoplancton » sont présentés sous forme de « fiche » pour chacune des 10 masses d'eau (p. 20 à 59).

Pour chaque masse d'eau, les informations suivantes sont données pour qualifier l'état et l'évolution des compartiments « colonne d'eau » et « phytoplancton » au cours de la période 2015-2020 :

- N : nombre de valeurs disponibles pour le calcul de l'indicateur, sur la période 2015 à 2020 (N<sub>max</sub>=18);
- Valeur de l'indicateur : la couleur de la case indique l'état de la masse d'eau obtenu pour chaque paramètre avec les grilles de diagnostic DCE (Tableaux 2 et 3) :
  - pour l'état physico-chimique : « P90 et état » : résultat du calcul du percentile 90 en μmol/L (μM) pour chacun des 4 paramètres : NID et PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, N<sub>t</sub> et P<sub>t</sub>;
  - pour l'état du phytoplancton : « EQR et état » : valeur de l'EQR (de 0 à 1) pour les métriques de « biomasse » et d'« abondance » et pour l'indicateur « phytoplancton » ;
- Intervalle de confiance : IC à 95% de l'indice (1000 valeurs de P90 ou EQR), obtenu par l'application de la méthode de ré-échantillonnage du « bootstrap » (cf. § 3.2.2.a) ;
- **Confiance :** pourcentage de valeurs de l'indice (1000 valeurs P90 ou EQR) réparties selon les 5 classes de qualité (cf. § 3.2.2.a) ;
- **Tendance :** une flèche de couleur indique si une tendance monotone croissante (flèche rouge) ou décroissante (flèche verte) **au sein de la période 2015-2020** est significative selon le test de Mann Kendall (cf. § 3.2.2.b). Le cas échéant, la pente moyenne annuelle de cette tendance est donnée. L'absence de tendance significative est indiquée par une flèche noire ;
- « Etat DCE physico-chimique » ou « « Etat du phytoplancton » : la couleur de la case indique l'état de la masse d'eau obtenu (de rouge pour mauvais à bleu pour très bon) ;
- **Graphiques :** pour chaque paramètre ou chaque métrique, les valeurs obtenues chaque mois en juin, juillet et août, de 2015 à 2020, sont représentées pour la (ou les) station(s) de la masse d'eau. Les seuils de la grille de diagnostic (état très bon à mauvais) sont visualisés sous forme de lignes en pointillés représentant la limite supérieure des classes

lfremer

de qualité (Figure 5, à gauche). Lorsque les données sont toutes inférieures au seuil du très bon état, le seuil n'est pas toujours apparent sur la figure (Figure 5, à droite).



**Figure 5.** Abondance de picophytoplancton (millions de cellules/L) (à gauche) et concentration en PT (μM) (à droite : concentrations inférieures au seuil du très bon état fixé à 2 μM) des étés 2015 à 2020 à Bages-Sigean.

## 4. Conditions météorologiques 2015-2020

Les données météorologiques acquises de 2015 à 2020 au niveau des stations Météo-France d'Aigues-Mortes, Arles, Bastia, Leucate, Montpellier, Narbonne, Perpignan et Sète sont représentées des Figures 6 à 8.

Dans la continuité de 2019, l'année 2020 s'est à nouveau caractérisée par la prédominance d'une grande douceur tout au long de l'année. Selon Météo-France, la température annuelle moyennée sur le pays a atteint 14,1°C, dépassant la normale (moyenne de référence 1981-2010) de 1,5°C. L'année 2020 s'est ainsi classée par Météo-France au 1<sup>er</sup> rang des années les plus chaudes sur la période 1900-2020 devant 2018 (13,9°C) et 2014 (13,8°C).

Sur la façade méditerranéenne, au niveau des 8 stations suivies pour l'analyse des données OBSLAG, la température de l'air moyenne annuelle en 2020 s'étend de 15,6°C à Arles à 16,8°C à Aigues-Mortes, et atteint en moyenne 16,3°C, dépassant de 0,2°C la température moyenne de la période 2015 à 2019. Les mois de janvier, février, mai et novembre sont caractérisés pour l'ensemble des stations par une grande douceur, dépassant en moyenne respectivement de 0,9°C, 3,0°C, 1,9°C et 0,8°C la température moyenne mensuelle calculée sur la période 2015 à 2019 (Figure 6). Les mois de juin, novembre et décembre, et dans une moindre mesure juillet, sont plus frais que ceux des cinq années précédentes, respectivement de -1,1°C, -1.6°C, -1,3°C et -0.3°C. Les deux premiers mois estivaux des campagnes OBSLAG sont donc caractérisés par des températures relativement fraiches, et suivis par un mois d'aout plus doux comparativement aux années précédentes.





Figure 6. Températures mensuelles des années 2015 à 2019 aux stations Météo-France d'Aigues-Mortes, Arles, Bastia, Leucate, Montpellier, Narbonne, Perpignan et Sète. Les étoiles rouges représentent les valeurs mensuelles de l'année 2020.

En 2020, les cumuls annuels de précipitations de situent entre 334 mm à Aigues-Mortes et 736 mm à Bastia (Figure 7). Ils sont en moyenne déficitaires sur les 8 stations du littoral des régions Occitanie et PACA de 8% par rapport à la moyenne de la période 2015-2019. Ce déficit pluviométrique est notamment lié aux mois de février, juillet et octobre qui présentent en moyenne des cumuls mensuels respectivement 11, 2,5 et 4 fois inférieurs à ceux de la période 2015-2019 (Figure 8). Le déficit pluviométrique est particulièrement marqué à Montpellier (41%), Aigues-Mortes (36%),

Arles (26%) et Sète (22%). Les 3 stations de l'Aude et des Pyrénées-Orientales se distinguent par un cumul de pluie annuel en 2020 excédentaire de 24% à Leucate et Narbonne et de 32% à Perpignan, tandis que celui de Bastia est proche de la moyenne calculée sur la période 2015-2019 (-6%).





**Figure 7.** Cumuls annuels de précipitations des années 2015 à 2020 aux stations Météo France d'Aigues-Mortes, Arles, Bastia, Leucate, Montpellier, Narbonne, Perpignan et Sète. Le trait représente la moyenne de 2015 à 2019.

Les cumuls excédentaires dans l'Aude et des Pyrénées-Orientales de l'année 2020 s'expliquent notamment par plusieurs épisodes méditerranéens intenses qui ont touché le littoral. En début d'année, en lien avec la tempête Gloria qui a circulé sur l'ouest du Bassin méditerranéen du Maroc à l'Espagne, le cumul des précipitations atteint 139 mm à Perpignan du 20 au 23 janvier, ce qui conduit à cumul mensuel de précipitations sur cette station 3,8 fois supérieur au cumul moyen calculé sur la période 2015-2019. Au début du printemps, les fortes pluies orageuses survenues du 19 au 21 avril, ont conduit à des cumuls de précipitations ayant atteint environ 3 fois ceux calculés sur la période 2015-2019 sur les stations de Perpignan, Narbonne, Leucate et Bastia. En juin, la pluviométrie est contrastée entre la Corse et le littoral de la région Occitanie, où les cumuls sont déficitaires ou proches de la moyenne, tandis qu'ils atteignent à Bastia presque 5 fois le cumul mensuel de 20 mm calculé sur la période 2015-2019. A l'automne, le cumul pluviométrique de 100 mm mesuré au niveau de la station d'Arles est impacté par l'épisode cévenol majeur survenu du 18 au 20 septembre.





**Figure 8.** Cumuls mensuels de précipitations des années 2015 à 2019 aux stations Météo France d'Aigues-Mortes, Arles, Bastia, Leucate, Montpellier, Narbonne, Perpignan et Sète. Les étoiles rouges représentent les valeurs mensuelles de l'année 2020.

Au cours de la période 2015-2020, les conditions météorologiques ont impacté les paramètres hydrologiques mesurés sur les lagunes OBSLAG lors des diagnostics estivaux. En particulier, les cumuls pluviométriques excédentaires du printemps 2018 se sont répercutés sur les niveaux de salinité des lagunes lors de l'été 2018, avec une salinité moyenne de 27,3 contre des salinités de 31,1 à 34,8 les 5 autres étés de la période 2015-2020. Les vagues de chaleur des étés 2018 et 2019 ont également eu un impact sur les niveaux d'oxygène mesurés dans l'eau, avec en 2018 des répercussions exceptionnelles sur les lagunes de Thau et Berre. Les conditions anoxiques rencontrées en août 2018 dans ces deux lagunes ont ainsi engendré des mortalités massives des stocks de coquillages (Richard et al., 2018; Faure, 2018), suivi à Thau d'un phénomène inédit d'efflorescence de picophytoplancton (« eaux vertes ») (Lagarde et al., 2021). Les vagues de chaleur de juin et juillet 2019, de moindre intensité que celle de 2018 (Ifremer, 2020), ont également engendré des conditions hypoxiques, observées au fond de la colonne d'eau dans les lagunes de Berre et de Thau<sup>2</sup>. Les mois de juin et juillet 2020, plus frais que ceux des cinq étés précédents, ont conduit quant à eux à des températures estivales de l'eau moins élevées que les 5 étés précédents (température moyenne de 24,8°C en 2020 contre 26,2°C en 2018) et limité les phénomènes d'hypoxie (aucune valeur < 2 mg/L d'O2 lors des suivis OBSLAG de l'été 2020).

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Suivi Oxygène 2019 de l'étang de Thau (SMBT, Ifremer, SAM, CRCM, Cépralmar) : <u>https://www.smbt.fr/content/le-suivi-pr%C3%A9ventif-mala%C3%AFgue</u>



## 5. Etat DCE 2015-2020 des compartiments « colonne d'eau » et « phytoplancton »

Les résultats des diagnostics 2015-2020 de l'état des compartiments « colonne d'eau » et « phytoplancton » sont présentés ci-après sous forme de « fiche » par masse d'eau (p. 22 à 61)<sup>3</sup>. Les résultats des diagnostics DCE et de l'application des méthodes de bootstrap et des tests de Mann Kendall et Kruskal-Wallis sont détaillés en Annexe 4. Les résultats des stations complémentaires suivies sur Thau, les Palavasiens-Est et sur Berre sont présentés en Annexe 3.

Le bilan des états DCE diagnostiqués pour la période 2015-2020 sur les 10 masses d'eau lagunaires méditerranéennes françaises est synthétisé dans le Tableau 6 et comparé aux diagnostics des périodes précédentes (de gauche à droite : 2013-2018, 2011-2016 et 2009-2014).

**Tableau 6.** Etat DCE des paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau et du phytoplancton, pour les périodes 2015-2020, 2013-2018, 2011-2016 et 2009-2014, des 10 masses d'eau lagunaires méditerranéennes du suivi OBSLAG. Les flèches affichées pour les périodes 2015-2020, 2013-2018 et 2011-2016 indiquent qu'une tendance à la dégradation (flèche rouge) ou à l'amélioration (flèche noire) a été détectée pour au moins une des métriques de l'état physico-chimique de la colonne d'eau ou de l'état du phytoplancton.

Code de la masse d'eau	Nom de la masse d'eau	Etat physico- chimique de la colonne d'eau (2015-2020)	Etat du phyto- plancton (2015-2020)	Etat physico- chimique de la colonne d'eau (2013-2018)	Etat du phyto- plancton (2013-2018)	Etat physico- chimique de la colonne d'eau (2011-2016)	Etat du phyto- plancton (2011-2016)	Etat physico- chimique de la colonne d'eau (2009-2014)	Etat du phyto plancton (2009-2014)
FRDT 01	Canet					<b>N</b>			
FRDT 03	La Palme	7	7	7		L L	<u>لا</u>		
FRDT 04	Bages- Sigean				7	7	7		
FRDT 05	Ayrolle			7					
FRDT 10	Thau	7		7		Ľ			
FRDT 11c	Palavasiens- Ouest								
FRDT 11b	Palavasiens- Est	<u>لا</u>		<u>لا</u>					
FRDT 11a	Or								
FRDT 15a	Berre			Ľ					
FRET 01	Biguglia			7	R	7			

Les diagnostics établis selon les grilles DCE pour les 10 masses d'eau poly-euhalines méditerranéennes pour la période 2015-2020 indiquent que **4 masses d'eau atteignent le bon état pour les deux compartiments colonne d'eau et phytoplancton (Bages-Sigean, Ayrolle, Thau et Berre)**.

Concernant l'état physico-chimique de la colonne d'eau, 6 masses d'eau sur 10 sont en bon ou très bon état (les masses d'eau Palavasiens-Ouest et Biguglia s'ajoutent aux 4 masses précédemment citées). Trois masses d'eau (Canet, Or et les Palavasiens-Est) affichent un mauvais état physico-chimique de la colonne d'eau en 2015-2020, tout comme lors des 3 précédents diagnostics (2013-2018, 2011-2016 et 2009-2014). De plus, au cours de la période 2015-2020, deux masses d'eau sont concernées par une tendance à la dégradation de leur état physico-chimique :

• la lagune de La Palme affiche des tendances significatives à l'augmentation pour les 4 paramètres physico-chimiques (NID, PO4, NT et PT). La tendance à la dégradation de l'état physico-chimique de cette lagune avait déjà été mise en évidence lors du diagnostic précédent (période 2013-2018, Tableau 6). La poursuite de cette dégradation se traduit dans le diagnostic 2015-2020 par la perte d'une classe de qualité de l'état physico-chimique, qui franchit le seuil de l'état moyen pour le NID. Ce déclassement est dû à des pics d'ammonium, associés en 2019 à des dysfonctionnements de la station d'épuration des eaux usées (STEU) de La Palme (p. 26) ;

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Les fiches par lagunes produites dans le cadre des rapports « OBSLAG eutrophisation » sont accessibles via la plateforme MEDTRIX, dans laquelle les états des compartiments « colonne d'eau » et « phytoplancton » sont également représentés sous forme cartographique : <u>https://medtrix.fr/portfolio\_page/obslag/</u>.



la lagune de Thau affiche une tendance significative à l'augmentation des teneurs en azote total (NT), due à des valeurs plus élevées en 2018 et 2019 résultant du relargage sédimentaire de nutriments favorisé par les conditions hypoxiques observées en profondeur (p. 38). Cependant, cette tendance à l'augmentation du paramètre NT est à relativiser car les concentrations relevées en surface à Thau au cours des suivis estivaux OBSLAG 2015-2020 restent toutes dans la gamme du très bon état vis-à-vis de l'eutrophisation.

Malgré le mauvais état de la colonne d'eau des Palavasiens-Est, une tendance à l'amélioration au cours de la période 2015-2020 est mise en évidence pour les paramètres  $PO_4^{3-}$  et P<sub>t</sub> (p. 46), confirmant la tendance observée lors du précédent diagnostic OBSLAG (Tableau 6, période 2013-2018). Ces améliorations peuvent en partie être liées aux conditions plus sèches qui ont limité les apports de nutriments par le bassin-versant, mais sont à relativiser par les apports internes (charge interne sédimentaire de nutriments) et externes (by-pass de la station MAERA par temps de pluie) impactant encore significativement l'état de cette masse d'eau. Enfin, le diagnostic OBSLAG 2015-2020 met en évidence le gain d'une classe de qualité pour l'état physico-chimique de la lagune de Berre, qui atteint le très bon état grâce au NT (p. 54), paramètre pour lequel une tendance à la diminution avait été détectée lors de la période précédente (Tableau 6).

Comme pour les périodes précédentes, les états diagnostiqués pour le phytoplancton sur la période 2015-2020 sont plus pénalisants que ceux de la colonne d'eau, avec 5 des 10 masses d'eau suivies en bon ou très bon état : La Palme, Bages-Sigean, Ayrolle, Thau et Berre (Tableau 6). Berre voit l'état de son phytoplancton s'améliorer pour atteindre pour la première fois le bon état. Pour Canet, l'état du phytoplancton s'améliore également pour passer dans la classe médiocre, alors que la classe de qualité correspondait à un état mauvais lors des diagnostics précédents (2013-2018, 2011-2016 et 2009-2014, Tableau 6). Les état dégradés du phytoplancton des précédents diagnostics pour Berre (état moyen) et Canet (état mauvais) étaient le fait de valeurs ponctuellement élevées de biomasse chlorophyllienne et d'abondance de phytoplancton (nanophytoplancton pour Berre et picophytoplancton pour Canet en 2011, 2014 et 2016), pour certaines identifiées en tant qu'« années particulières » par les tests de Kruskal-Wallis. Ces pics, du fait de leur caractère ponctuel, n'ont en revanche pas eu d'impact sur les tests de Mann Kendall – capables de mettre en évidence uniquement des tendances monotones (continument croissante ou décroissante) - ne permettant pas de détecter précocement les changements de classe survenus lors du diagnostic suivant. Au contraire des améliorations citées ci-dessus, de même que pour l'état de la colonne d'eau, les masses d'eau Or et Palavasiens-Est affichent un mauvais état du phytoplancton en 2015-2020, conforme aux deux diagnostics précédents (2013-2018 et 2011-2016). Comme pour la période 2013-2018, l'état du phytoplancton pour la période 2015-2020 se maintient dans un état médiocre à Biguglia et dans un état moyen sur les Palavasiens-Ouest. Seule la lagune de La Palme affiche une tendance significative au cours de la période 2015-2020 pour le compartiment phytoplancton (Tableau 6). Cette tendance est associée à l'augmentation de biomasse phytoplanctonique mais n'indique pas de dégradation car les valeurs de chlorophylle *a* enregistrées au cours de la période sont basses – inférieures à la valeur de référence de  $3.3 \,\mu g/L$  – et correspondent à un très bon état vis-à-vis de l'eutrophisation (p. 26). L'évolution de cette lagune est toutefois à surveiller dans la mesure où le phytoplancton, probablement limité par les faibles teneurs en  $PO_4^{3-}$ , pourrait être amené à davantage se développer avec la hausse des concentrations en nutriments disponibles dans l'eau.

Les stations complémentaires suivies dans le cadre d'OBSLAG sur Thau, les Palavasiens-Est et Berre ont permis de compléter les diagnostics et d'apporter des informations importantes sur le fonctionnement de ces trois masses d'eau. En particulier, les suivis des stations de fond sur Thau et Berre (TEF, TWF et BEF) ont mis en évidence des hypoxies et anoxies lors des vagues de chaleurs des étés 2018 et 2019, à l'origine de relargages sédimentaires de nutriments et de blooms phytoplanctoniques, non observés sur les stations de surface. Les stations GRC, TANG et TPE ont quant à elles apporté des informations complémentaires sur la dynamique de restauration des Palavasiens-Est et de Thau, avec la mise en exergue de perturbations plus importantes sur ces secteurs que sur les stations DCE.





# Canet FRDT01



Physico-

chimie

Phyto-

plancton 2020\*

**Tableau 01-1.** Colonne d'eau : état physico-chimique DCE 2020\* pour Canet (N=18).

	P90 et état	Intervalle de confiance	Confiance (%)	Tendance sur la période 2015-2020		
NID	15.6	[2.1;50.9]	<b>2-</b> 30- <b>7-</b> 28- <u><b>33</b></u>	+		
PO4	13.9	[9.3;16.4]	<mark>0-</mark> 0-0-0- <u>100</u>	+		
NT	91.2	[66.8;147]	<b>0-</b> 17- <u>46</u> -32-6	+		
PT	20	[10.7;24]	<mark>0-</mark> 0-0-0- <u>100</u>	•		
Etat physico-chimique						

Tableau 01-2.         Phytoplancton : état DCE 2020*	pour (	Canet
(N=18).		

	EQR et état	Intervalle de confiance	Confiance (%)	Tendance sur la période 2015-2020
Biomasse	0.26	[0.16;0.42]	<mark>0-1-18-<u>75</u>-6</mark>	•
Abondance	0.04	[0;0.19]	0-0-5- <u>54</u> - <b>41</b>	
Phytoplan- cton	0.15	[0.09;0.26]	0-0-4- <u>85</u> -11	•

<sup>\*</sup> indicateurs calculés à partir des données 2015 à 2020.

Figure 01-1. Localisation des stations de suivi sur Canet.

## • Etat de la colonne d'eau et du phytoplancton (2015-2020) :

L'état de la colonne d'eau et du phytoplancton dans la lagune de Canet est diagnostiqué au niveau de la station « CNS », située au sud de la lagune (Figure 01-1). Cet état est « mauvais » pour les paramètres physico-chimiques et « médiocre » pour le phytoplancton sur la période 2015-2020 (Tableaux 01-1 et 01-2). Dans la lagune, les teneurs en oxygène ont atteint un niveau caractéristique d'un état de stress biologique (< 5 mg/L) fin août 2018, période caractérisé par de fortes chaleurs, et en 2020 (4,3 et 4,6 O<sub>2</sub> mg/L, respectivement).

Les concentrations en azote inorganique dissous et en phosphore inorganique dissous restent très élevées dans la colonne d'eau sur la période 2015-2020 (Figure 01-2). Les concentrations des formes azotées (NID et NT) sont très variables sur la période, avec des intervalles de confiance couvrant les cinq classes de qualité (de l'état « très bon » en 2017 à l'état « mauvais » en 2015 et 2019 pour le NID). Les concentrations en phosphore inorganique dissous (PO4) et total (PT) sont très élevées (jusqu'à 16 µM de PO4 en 2018) et sont caractéristiques d'un état « mauvais » sur la période 2015-2020. L'état « mauvais » associé aux paramètres physico-chimiques sur la période 2015-2020 est similaire aux diagnostics précédents.

Les concentrations en chlorophylle *a* et les abondances de pico- et de nano-phytoplancton mesurées sont variables sur les périodes estivales 2015-2020, avec des intervalles de confiance couvrant les cinq classes de qualité pour l'EQR « biomasse » et l'EQR « abondance ». La teneur en chlorophylle *a* dans la colonne d'eau dépasse régulièrement 10  $\mu$ g/L (2016, 2018 et 2020), caractérisant un état très eutrophisé (Figure 01-4). Par opposition, les étés 2015 et 2017 sont marqués par des biomasses phytoplanctoniques faibles (<3,5  $\mu$ g Chl-*a*/L). Les fortes biomasses phytoplanctoniques sont associées à du pico- et du nano-phytoplancton présents en grandes densités durant la période 2015-2020, à l'exception des étés 2015 et 2017 où les abondances de picophytoplancton sont faibles (< 10 x 10<sup>6</sup> cellules/L). Les fortes variations de la biomasse et des abondances phytoplanctoniques d'une année sur l'autre peuvent être liées à une compétition avec les macrophytes. En 2017, où le compartiment phytoplancton est peu représenté, le diagnostic des macrophytes classe la masse d'eau en « très bon état » avec un taux de recouvrement relatif moyen très important en particulier de *Ruppia cirrhosa* (>75%, Cimiterra *et al.* 2020). L'EQR « Phytoplancton » affiche un état « médiocre » sur la période 2015-2020, s'améliorant ainsi par rapport aux périodes précédentes de diagnostic (2013-2018, 2011-2016 et 2009-2014) où l'état était qualifié de « mauvais ».

Sur la période 2015-2020, la masse d'eau « Canet » ne répond pas aux exigences de la DCE vis-à-vis de l'état biologique pour le phytoplancton et pour les caractéristiques physico-chimiques de la colonne d'eau.

Evolution du paramètre - NID







Figure 01-2. Concentrations en NID et  $PO_4^{3-}(\mu M)$  des étés 2015 à 2020 à Canet (échelle log pour NID).



Evolution du paramètre - NT





Figure 01-3. Concentrations en NT et PT ( $\mu$ M) des étés 2015 à 2020 à Canet (échelle log pour NT).





**Figure 01-4** (de haut en bas). Concentration de chlorophylle-*a* ( $\mu$ g/L), abondances de pico- et de nano-phytoplancton (millions de cellules/L) des étés 2015 à 2020 à Canet (échelles log).

La Palme FRDT03

Physico-

chimie

2020

Phyto-

plancton

2020\*

**Tableau 03-1.** Colonne d'eau : état physico-chimique DCE 2020\*pour La Palme (N=18).

	P90 et état	Intervalle de confiance	Confiance (%)	Tendance sur la période 2015- 2020		
NID	6.8	[2.3;29.1]	1- <u>46</u> -17-30-6	🕇 + 0.33 μM/an		
PO4	0.2	[0.1;0.2]	<u>100</u> -0-0-0-0	<b>1</b> + 0.02 μM/an		
NT	60.1	[49.9;85.3]	<mark>3-<u>90</u>-8-0-0</mark>	🕇 + 4.7 µM/an		
PT	0.8	[0.7;0.9]	<u>100</u> -0-0-0-0	<b>1</b> + 0.09 μM/an		
Etat physico-chimique						

**Tableau 03-2.** Phytoplancton : état DCE 2020\* pour La Palme (N=18).

	EQR et état	Intervalle de confiance	Confiance (%)	Tendance sur la période 2015-2020
Biomasse	1	[1;1]	<u>100</u> -0-0-0-0	<b>1</b> + 0.19 μg/L par an
Abondance	0.5	[0.21;1]	31- <u>50</u> -19-0- 0	•
Phytoplan- cton	0.75	[0.6;1]	<u>69</u> -31-0-0-0	+

Figure 03-1. Localisation des stations de suivi sur La Palme.

\* indicateurs calculés à partir des données 2015 à 2020.

#### • Etat de la colonne d'eau et du phytoplancton (2015-2020) :

Le diagnostic de la masse d'eau « La Palme » est établi à partir des suivis réalisés sur une station hydrologique située au centre du bassin nord (Figure 03-1). Cette lagune, qui a contribué à la définition des valeurs de référence des métriques du compartiment « Phytoplancton » pour les masses d'eau de transition au titre de la DCE, affiche un très bon état du compartiment « Phytoplancton » (Tableau 03-2) mais un état physico-chimique de la colonne d'eau moyen (Tableau 03-1) sur la période 2015-2020.

L'état moyen de la colonne d'eau sur cette période est à mettre en relation avec les pics d'ammonium enregistrés en juin 2017 et aout 2019 (Figures 03-2). A noter que la concentration en ammonium du mois d'aout 2019 (28.33  $\mu$ M) est la plus forte valeur enregistrée sur cette lagune depuis le début du suivi en 2001. Les concentrations en phosphate restent inférieures au seuil « Très bon - bon » avec toutefois une tendance à l'augmentation observable sur ces six dernières années (Tableau 03-1, Figure 03-2) avec une répercussion sur le phosphore total (Tableau 03-1, Figure 03-3). Sur les périodes estivales 2015-2020, les concentrations en chlorophylle *a* et les abondances de nanophytoplancton sont toutes inférieures aux valeurs de référence. Les abondances en picophytoplancton mesurées en début (2015-2016) et en fin de période (2019 et 2020) sont restées inférieures au seuil « Très bon - bon ». Seules les abondances mesurées en juin 2017 et juillet 2018 dépassent ce seuil (Figure 03-4) et qualifient l'indicateur « Abondance » du compartiment « Phytoplancton » en bon état. Aucune tendance n'est observée sur les abondances des deux classes de taille et la tendance à l'augmentation de biomasse (Tableau 03-2) est à relativiser du fait des très faibles valeurs de chlorophylle a enregistrées sur le début de la période (0.23  $\mu$ g/L en moyenne sur les années 2015 et 2016), puis des concentrations plus élevées mais qui sont restées relativement stables sur la période 2017-2020 (1.25  $\mu$ g/L en moyenne).

Les données d'auto-surveillance acquises mensuellement sur la STEU de La Palme depuis 2015 permettent d'estimer des flux de nutriments arrivant à la lagune et de mettre en évidence d'éventuels dysfonctionnements, tel que le pic d'azote enregistré en aout 2019 (Benau, 2020). Celui-ci pourrait expliquer en partie les concentrations excessives en ammonium observées à cette période dans la lagune. Parallèlement, les diagnostics des macrophytes, réalisés tous les ans depuis 2010 au mois de juin par le PNR (Benau, 2020) et dans le cadre de la DCE, mettent en évidence une forte variabilité interannuelle des taux de recouvrement végétal avec des valeurs particulièrement faibles en 2017 (29%) et 2019 (12%). Ces fortes limitations du développement des herbiers pourraient être liées à des conditions hydrologiques particulières telles que des salinités élevées sur de longues périodes.

En outre, des travaux récents (Andrisoa *et al.*, 2019) montrent qu'en fonctionnement normal de la STEU, la production de macrophytes sur cette lagune oligotrophe peu profonde est majoritairement soutenue par les flux d'azote à l'interface eau-sédiment (sources karstiques et recirculation des eaux interstitielles). Ainsi, des conditions hydro-climatiques particulières (grau fermé et sécheresse printanière entrainant des salinités élevées dès le printemps) pourraient déstabiliser le compartiment « Macrophytes » et réduire ainsi la capacité de ce compartiment à piéger les flux d'azote inorganique à l'interface eau-sédiment. Dans le contexte actuel de changement climatique, les lagunes méditerranéennes constituent des écosystèmes « sentinelles » à l'échelle nationale et la sensibilité de la lagune de La Palme au réchauffement climatique est encore amplifiée par le fonctionnement naturel de son grau. La maîtrise des apports anthropiques est donc primordiale et une attention particulière doit être portée au phosphore qui doit rester le facteur limitant de la production primaire dans la colonne d'eau de cette lagune. Sur la période 2015-2020, l'état biologique pour le phytoplancton répond aux exigences de la DCE, toutefois l'état moyen des paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau fait que la masse d'eau « La Palme » ne répond pas aux exigences de la DCE.

Evolution du paramètre - NID





Evolution du paramètre - PO4

Figure 03-2. Concentrations en NID et  $PO_4^{3-}(\mu M, \text{ échelle log})$  des étés 2015 à 2020 à La Palme.









Figure 03-3. Concentrations en NT et PT ( $\mu M$ ) des étés 2015 à 2020 à La Palme.

Evolution du paramètre - CHLOROA



**Figure 03-4** (de haut en bas). Concentration de chlorophylle-*a* ( $\mu g/L$ , échelle log), abondances de pico- et de nano-phytoplancton (millions de cellules/L, échelle log pour le picophytoplancton) des étés 2015 à 2020 à La Palme.



Tableau 04-1. Colonne d'eau : état physico-chimique DCE 2020*
pour Bages-Sigean (N=18).

	P90 et état	Intervalle de confiance	Confiance (%)	Tendance sur la période 2015-2020
NID	0.8	[0.5;2.7]	<u>94</u> -6-0-0-0	⇒
PO4	0.1	[0.1;0.3]	<u>100</u> -0-0-0-0	⇒
NT	38.9	[37.3;40.3]	<u>100</u> -0-0-0-0	•
PT	1	[0.8;1.2]	<u>100</u> -0-0-0-0	•
Etat physico-chimique				

Tableau 04-2. Phytoplancton : état DCE 20.	20* pour Bages-
Sigean (N=18).	

	EQR et état	Intervalle de confiance	Confiance (%)	Tendance sur la période 2015-2020
Biomasse	1	[1;1]	<u>100</u> -0-0-0-0	
Abondance	0.19	[0.11;0.29]	0-2- <mark>92</mark> -6-0	•
Phytoplan- cton	0.59	[0.56;0.64]	0- <u>100</u> -0-0-0	•

\* indicateurs calculés à partir des données 2015 à 2020.

Figure 04-1. Localisation des stations de suivi sur Bages-Sigean.

## • Etat de la colonne d'eau et du phytoplancton (2015-2020) :

Le diagnostic de la masse d'eau « Bages-Sigean » est établi à partir de l'agrégation des données des suivis hydrologiques réalisés aux stations BGN - représentative du secteur confiné de cette masse d'eau - et BGS - localisée dans la zone de mélange avec les eaux marines - (Figure 04-1). Sur la période 2015-2020, les paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau et le compartiment « Phytoplancton » affichent respectivement un très bon et un bon état (Tableaux 04-1 et 04-2).

L'hydromorphologie de la lagune de Bages-Sigean fait qu'il existe un « gradient environnemental » entre les bassins Nord et Sud. Ce gradient naturel est amplifié par une répartition hétérogène des tributaires se rejetant dans le secteur confiné. Dans ce contexte, l'évolution des paramètres hydro-biologiques agrégés sur les deux stations est principalement gouvernée par la station BGN, où les concentrations sont les plus élevées.

Sur les étés 2015-2020, les concentrations en chlorophylle a, à l'échelle de la masse d'eau, sont majoritairement inférieures à la valeur de référence. Dans ces conditions, la valeur de l'indicateur « biomasse » du phytoplancton est bornée par la valeur de référence et l'EQR<sub>B</sub> est égal à sa valeur maximale (1).

Sur la période 2015-2020, les conditions hydrologiques ont été relativement contrastées - avec notamment des printemps plutôt secs et des automnes très pluvieux, et une année 2018 qui cumule un printemps pluvieux et un été particulièrement chaud. Malgré cela, dans le secteur sud de la lagune, les abondances en pico- et nano-phytoplancton sont restées stables et, pour la plupart, inférieures au seuil « Très bon-Bon » (Figure 04-4). En revanche, les communautés phytoplanctoniques qui se succèdent dans le secteur nord sont beaucoup plus variables. Cette variabilité est liée à : i) la compétition avec les macrophytes pour l'assimilation des nutriments, elle-même fonction de la biomasse de macrophytes qui augmente dans ce secteur d'étang depuis 2007 ; ii) la disponibilité en nutriments dans la colonne d'eau, elle-même fonction des conditions environnementales. La lagune de Bages-Sigean est en mesure d'assimiler sans déséquilibre apparent les quantités de nutriments apportées par le bassin versant dans des conditions environnementales « d'année sèche » (cf. 2017). Les apports supplémentaires lors d'événements pluvieux en période printanière notamment (cf. été 2018), alimentent une production de micro et/ou macro-algues toujours excédentaire dans le secteur confiné de la lagune.

 $L'EQR_A$  « abondance » du phytoplancton, gouverné par l'évolution des abondances dans le secteur nord, est « moyen ». Ces abondances élevées sont toutefois associées à des biomasses faibles et en moyenne l'EQR « Phytoplancton » affiche des valeurs caractéristiques d'un bon état.

Les paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau varient peu et sont, pour la plupart, dans la gamme caractéristique du très bon état.

Sur la période 2015-2020, l'état biologique du phytoplancton et des paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau de la masse d'eau « Bages-Sigean » répondent aux exigences de la DCE.





Figure 04-2. Concentrations en NID et  $PO_4^{3-}$  ( $\mu M$ , échelles log) des étés 2015 à 2020 à Bages-Sigean.









Figure 04-3. Concentrations en NT et PT ( $\mu M$ ) des étés 2015 à 2020 à Bages-Sigean.





**Figure 04-4** (de haut en bas). Concentration de chlorophylle-*a* ( $\mu$ g/L), abondances de pico- et de nano-phytoplancton (millions de cellules/L) des étés 2015 à 2020 à Bages-Sigean (échelles log).



Physico-

chimie

2020\*

Phyto-

plancton

2020\*

Figure 05a-1. Localisation des stations de suivi sur Ayrolle.

2020* pour Ayrolle (N=18).					
	P90 et état	Intervalle de confiance	Confiance (%)	Tendance sur la période 2015-2020	
NID	0.6	[0.5;0.6]	<b>100</b> -0-0-0-0	•	
PO4	0.1	[0.1;0.2]	<b>100</b> -0-0-0-0	•	
NT	40.3	[36.7;47.3]	<b>100</b> -0-0-0-0	•	
PT	0.6	[0.6;0.7]	<u>100</u> -0-0-0-0	•	
Etat physico-chimique					

Tableau 05a-1. Colonne d'eau : état physico-chimique DCE

Tableau 05a-2.	Phytoplancton :	: état DCE	2020* 1	oour .	Ayrolle
(N=18).					

	EQR et état	Intervalle de confiance	Confiance (%)	Tendance sur la période 2015-2020
Biomasse	1	[1;1]	<u>100</u> -0-0-0-0	
Abondance	1	[0.87;1]	<u>100</u> -0- <mark>0-0-0</mark>	
Phytoplan- cton	1	[0.94;1]	<u>100</u> -0-0-0-0	•

<sup>\*</sup> indicateurs calculés à partir des données 2015 à 2020.

## • Etat de la colonne d'eau et du phytoplancton (2015-2020) :

Le diagnostic de la masse d'eau « Ayrolle » est établi à partir des suivis réalisés sur une station hydrologique située au centre de la lagune (Figure 05a-1). Cette masse d'eau, qui a contribué à la définition des valeurs de référence des métriques du compartiment « Phytoplancton » pour les masses d'eau de transition au titre de la DCE, affiche sur la période 2015-2020 un très bon état des paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau et du compartiment « Phytoplancton » (Tableaux 05a-1 et 05a-2).

Les valeurs de l'ensemble des paramètres physico-chimiques sont restées dans la gamme caractéristique du très bon état sur les périodes estivales de 2015 à 2020 (Figure 05a-2 et 05a-3). L'augmentation des concentrations en phosphate mise en évidence sur la période 2013-2018 (Derolez *et al.*, 2019) n'est pas confirmée, les valeurs mesurées durant les étés 2019 et 2020 sont restées faibles au regard du pic relatif enregistré au mois d'aout 2018 (Figure 05a-2).

Les concentrations en chlorophylle *a* enregistrées dans la lagune de l'Ayrolle sur les périodes estivales 2015-2020 sont toutes inférieures à la valeur de référence (Figure 05a-4). Dans ces conditions, la valeur de l'indicateur « biomasse » du phytoplancton est bornée par la valeur de référence et l'EQR<sub>B</sub> est égal à sa valeur maximale (1), sans variabilité mesurable (Tableau 05a-2). De même, les abondances en nanophytoplancton et picophytoplancton sont toutes inférieures au seuil « Très bon - Bon ». L'EQR abondance est donc également borné par sa valeur maximale (1) sans variabilité mesurable. Sur cette lagune en très bon état biologique, la production primaire estivale reste généralement co-limitée par l'azote et le phosphore, excepté lors de la canicule de l'été 2018 ou le relargage sédimentaire a engendré un relatif excès de phosphate dans la colonne d'eau et une biomasse chlorophyllienne plus élevée que sur le reste de la période (sans lien avec les abondances pico- et nano-phytoplanctoniques, Figure 05a-4, et donc probablement associées à la part microphytoplanctonique).

Parallèlement à ce très bon état stable de la colonne d'eau et du phytoplancton, le compartiment Macrophyte, diagnostiqué en 2013 et 2016 au titre de la DCE, affiche également un très bon état pour ces deux années (Cimiterra *et al.*, 2020). Le prochain diagnostic, qui sera réalisé dans le cadre du plan de gestion 2022-2027, devra être analysé au regard de l'évolution des salinités estivales qui, sur cette lagune, affichent une tendance à l'augmentation avec une valeur moyenne de 35.1 ( $\pm$  3.7) sur la période 2015–2020 contre une valeur moyenne de 31.9 ( $\pm$  4.1) sur la période 1999–2020.

Sur la période 2015-2020, la masse d'eau « Ayrolle » répond aux exigences de la DCE vis-à-vis de l'état biologique pour le phytoplancton et les caractéristiques physico-chimiques.

Evolution du paramètre - NID







Figure 05a-2. Concentrations en NID et  $PO_4^{3-}(\mu M)$  des étés 2015 à 2020 à l'Ayrolle.

Evolution du paramètre - NT







Figure 05a-3. Concentrations en NT et PT ( $\mu$ M) des étés 2015 à 2020 à l'Ayrolle
Evolution du paramètre - CHLOROA



**Figure 05a-4** (de haut en bas). Concentration de chlorophylle-*a* ( $\mu$ g/L), abondances de pico- et de nano-phytoplancton (millions de cellules/L, échelles log) des étés 2015 à 2020 à l'Ayrolle.

# Thau FRDT10

TANG TWS TW Points de suivi des réseaux 0.75 1.5 Km zone conchylicole DCE eau complementaire eau benthique Ifremer

Tableau 10-1. Colonne d'eau : état physico-chimique DCE 2020\* pour Thau (N=18).

	P90 et état	Intervalle de confiance	Confiance (%)	Tendance sur la période 2015-2020	
NID	0.5	[0.4;0.8]	<u>100</u> -0-0-0-0	•	
PO4	0.1	[0.1;0.1]	<u>100</u> -0-0-0-0	•	
NT	26.5	[22;27.7]	<u>100</u> -0-0-0-0	<b>1</b> +0.9 μΜ/an	
PT	0.7	[0.6;0.7]	<u>100</u> -0-0-0-0	•	
Etat physico-chimique					

Tableau 10-2. Phytoplancton : état DCE 2020\* pour Thau sur (N=18).

	EQR et état	Intervalle de confiance	Confiance (%)	Tendance sur la période 2015-2020
Biomasse	1	[0.74;1]	<u>100</u> -0-0-0-0	•
Abondance	0.54	[0.2;0.76]	3- <u>89</u> -7-0-0	•
Phytoplan- cton	0.77	[0.6;0.88]	<u>72</u> -28-0-0-0	•

Figure 10-1. Localisation des stations de suivi sur Thau.

\* indicateurs calculés à partir des données 2015 à 2020.

#### Etat de la colonne d'eau et du phytoplancton (2015-2020) :

L'état de la colonne d'eau et du phytoplancton pour la masse d'eau « Thau » est diagnostiqué sur deux stations de surface TWS et TES (Figure 10-1). 4 stations complémentaires (TEF, TWF, TANG et TPE) sont suivies et n'interviennent pas dans le diagnostic de l'état de cette lagune (résultats en Annexe 3). L'état physico-chimique obtenu au regard des grilles DCE sur la période 2015-2020 affiche des valeurs caractéristiques d'un « très bon état », assorti d'une confiance maximale (Tableau 10-1). Les concentrations des formes dissoutes et totales de l'azote et du phosphore sont en effet plus de deux fois inférieures au seuil « très bon » pour les deux stations (Figures 10-2 et 10-3). Cela signifie que les apports internes et externes en nutriments alimentant la lagune sont modérés et qu'ils sont consommés quasiintégralement par la végétation aquatique. Cependant, on note une tendance significative à l'augmentation des teneurs en azote total (NT) au cours de la période 2015-2020, essentiellement due à des valeurs plus élevées en 2018 et 2019 (Figure 10-3). Les valeurs plus élevées d'août 2018 sont à relier au relargage sédimentaire de nutriments observé au niveau de la station TWF (Annexe 3, Fig. 10a), associé à la canicule et la crise anoxique de cet été-là (Derolez et al., 2019). Les valeurs plus élevées de NT enregistrées en 2019 peuvent également s'expliquer par une vague de chaleur survenue fin juillet (eau jusqu'à 28.8°C au niveau de la station TANG) et les conditions hypoxiques observées en profondeur<sup>1</sup>, qui ont favorisé le relargage de nutriments (pic de 7,7  $\mu$ M de NH4 à la station TEF).

Le phytoplancton est également diagnostiqué en « très bon état » selon la grille DCE, avec un intervalle de confiance qui s'étend du bon au très bon état (Tableau 10-2). La biomasse chlorophyllienne est faible (< 4 µg/L) au cours des étés 2015 à 2020 et correspond au « très bon état » DCE (Figure 10-4). La métrique d'abondance est quant à elle qualifiée en « bon état », confirmant l'amélioration amorcée depuis le diagnostic de 2011-2016 avec la baisse des abondances de nanophytoplancton. Le bloom de picophytoplancton relevé en juillet 2019 en surface au niveau des stations TWS et TES (abondances supérieures au seuil de l'état moyen, Figure 10-4) est également observé au niveau des stations complémentaires, avec des abondances proches du seuil du mauvais état à la station TANG (Annexe 3, Fig. 10b). Ces efflorescences de picophytoplancton ont profité des apports nutritifs sédimentaires déclenchés par les fortes chaleurs. Les conditions moins chaudes de l'été 2020, succédant à un hiver et un printemps secs (voir §4) expliquent les niveaux nutritifs, de biomasse et d'abondance phytoplanctonique les plus faibles des étés 2015 à 2020. Malgré l'anoxie de l'été 2018, suivie du phénomène d'eaux vertes à *Picochlorum* jusqu'en janvier 2019 (Ifremer, 2020), puis la vague de chaleur de l'été 2019, l'état DCE reste « très bon » pour les stations de surface, signe que la colonne d'eau peut se rétablir relativement vite après de telles perturbations environnementales. En revanche, les macrophytes ont été plus durablement impactés, avec une baisse marquée du recouvrement de 2017 à 2019, surtout à l'ouest de la lagune (de 87% à 59%)<sup>2</sup>.

Sur la période 2015-2020, la masse d'eau « Thau » répond aux exigences de la DCE vis-à-vis de l'état biologique pour le phytoplancton et les caractéristiques physico-chimiques.

Phyto-

plancton

2020\*

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Suivi Oxygène 2019 de l'étang de Thau (SMBT, Ifremer, SAM, CRCM, Cépralmar). <sup>2</sup> Lagarde et al. (2021).



Evolution du paramètre - PO4



Figure 10-2. Concentrations en NID et  $PO_4^{3-}(\mu M)$  des étés 2015 à 2020 à Thau (échelles log).

Evolution du paramètre - NT



Evolution du paramètre - PT



Figure 10-3. Concentrations en NT et PT ( $\mu$ M) des étés 2015 à 2020 à Thau.

Evolution du paramètre - CHLOROA



**Figure 10-4** (de haut en bas). Concentration de chlorophylle-*a* ( $\mu$ g/L), abondances de pico- et de nano-phytoplancton (millions de cellules/L) des étés 2015 à 2020 à Thau (échelles log).

2020

# Palavasiens-Ouest FRDT11c



Tableau 11c-1. Colonne d'eau : état physico-chimique DCE
2020* pour Palavasiens-Ouest (N=18).

	P90 et état	Intervalle de confiance	Confiance (%)	Tendance sur la période 2015-2020
NID	2.5	[1.3;4.4]	39- <u>61</u> -0-0-0	⇒
PO4	0.2	[0.2;0.3]	<u>100</u> -0-0-0-0	⇒
NT	56.2	[52.7;66]	<mark>0-<u>100</u>-0-0-0</mark>	•
PT	1.4	[1.2;1.8]	<u>100</u> -0-0-0-0	•
Etat physico-chimique				

Tableau 11c-2. Phytoplancton : état DCE 2020\* pour Palavasiens-Ouest (N=18).

	EQR et état	Intervalle de confiance	Confiance (%)	Tendance sur la période 2015-2020
Biomasse	0.48	[0.25;0.67]	<b>2-</b> 41- <u>52</u> -5-0	•
Abondance	0.18	[0.08;0.59]	0-26- <u>39</u> -36- 0	•
Phytoplan- cton	0.33	[0.19;0.54]	0-25- <u>68</u> -7-0	•

\* indicateurs calculés à partir des données 2015 à 2020.

Figure 11c-1. Localisation des stations de suivi sur les Palavasiens-Ouest.

#### Etat de la colonne d'eau et du phytoplancton (2015-2020) :

Le diagnostic de la masse d'eau « Palavasiens Ouest » s'effectue sur la base des données acquises au niveau de deux stations, l'une située dans l'étang de Vic et l'autre dans la partie nord de l'étang d'Ingril (Figure 11c-1). Ces deux lagunes sont morphologiquement différentes. L'étang de Vic est la plus vaste et la plus profonde (en moyenne 0,8 m) des lagunes palavasiennes, et c'est aussi une lagune confinée. L'Ingril est moins étendue, moins profonde (en moyenne 0,5 m) et plus ouverte sur la mer. Compte tenu de ces différences, mais aussi de leur bassin-versant et de l'historique de contamination de l'étang de Vic, cette dernière est plus impactée que l'Ingril par le phénomène d'eutrophisation. De plus, l'étang de Vic reçoit toujours les rejets des stations d'épuration de Vic-la-Gardiole et de Mireval, tandis que l'Ingril ne reçoit que les rejets de Frontignan-plage. La prise en compte de ces deux lagunes pour le diagnostic DCE permet de fournir un état représentatif de la masse d'eau « Palavasiens Ouest ».

Au niveau physico-chimique, la colonne d'eau des « Palavasiens Ouest » est en bon état pour la période 2015-2020 (Tableau 11c-1). Les nutriments sont assimilés en grande partie par le compartiment autotrophe en été, avec des teneurs assez basses en azote inorganique dissous (NID) et en phosphore dissous (Figure 11c-2). On note cependant des pics ponctuels de NID (valeurs correspondant à un état moyen) dus à des concentrations plus élevées d'ammonium en juinjuillet 2018 au niveau de la station VIC. L'azote et le phosphore totaux (PT et NT) restent en bon et très bon état, malgré un dépassement ponctuel du seuil du bon état en août 2018 à Vic (Figure 11c-3).

L'« EQR phytoplancton » est dans un état moyen, mais son intervalle de confiance s'étend du bon état à l'état médiocre, ce qui indique une variabilité encore importante pour cet indicateur (Tableau 11c-2). Cela indique aussi que des sources de pollution continuent d'impacter cette masse d'eau. Au cours de la période 2015-2020, l'étang de Vic se caractérise par de fortes biomasses chlorophylliennes (Figure 11c-4), ce qui met en lumière ses difficultés à se restaurer après 2005 (mise en route de l'émissaire de l'agglomération montpelliéraine) et sa possible marge de progression. Les conditions particulières de 2018 (printemps pluvieux et chaleur estivale) sont probablement à l'origine du pic de Chlorophylle-a sur Vic relevé en août 2018 (25 µg/L, correspondant à l'état mauvais).

Par rapport à la période précédente (2013-2018), on ne note aucune progression en ce qui concerne l'indicateur d'abondance du phytoplancton, qui reste à l'état moyen en 2015-2020. Cet état moyen s'explique surtout par l'alternance de pics estivaux de pico- et de nano-phytoplancton sur Vic et Ingril entre 2017 et 2019 (Figure 11c-4).

Sur la période 2015-2020, l'état biologique pour le phytoplancton de la masse d'eau « Palavasiens-Ouest » ne répond pas aux exigences de la DCE.



Evolution du paramètre - PO4 VIC - Vic INN - Ingril Nord l 0.4 • 0.3 PO4 (échelle log(1+x)) 0.2 0.2 0.0 5 0 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021

Figure 11c-2. Concentrations en NID et PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (µM) des étés 2015 à 2020 aux Palavasiens-Ouest (échelles log).

Années



Evolution du paramètre - NT



Evolution du paramètre - PT

Figure 11c-3. Concentrations en NT et PT (µM) des étés 2015 à 2020 aux Palavasiens-Ouest (échelle log pour PT).



Evolution du paramètre - CHLOROA

**Figure 11c-4** (de haut en bas). Concentration de chlorophylle-*a* ( $\mu$ g/L), abondances de pico- et de nano-phytoplancton (millions de cellules/L) des étés 2015 à 2020 aux Palavasiens-Ouest (échelles log).



Physico

-chimie

Phyto-

plancton

Figure 11b-1. Localisation des stations de suivi sur les étangs Palavasiens-Est.

**Tableau 11b-1.** Colonne d'eau : état physico-chimique DCE 2020\* pour Palavasiens-Est (N=18).

	P90 et état	Intervalle de confiance	Confiance (%)	Tendance sur la période 2015-2020
NID	6.6	[1.9;12.4]	5-35- <mark>52</mark> -8-0	•
PO4	1.8	[0.9;2.1]	0-17-21- <u>62</u> -0	↓ - 0.1 μM/an
NT	76.1	[61.6;108.8]	0- <u>47</u> - <u>47</u> -6-0	•
PT	6.3	[2.3;9.4]	0-9-28-1- <u>61</u>	↓ - 0.2 μM/an
		Etat physico	-chimique	

**Tableau 11b-2.** Phytoplancton : état DCE 2020\* pour Palavasiens-Est (N=18).

	EQR et état	Intervalle de confiance	Confiance (%)	Tendance sur la période 2015-2020
Biomasse	0.11	[0.09;0.29]	<mark>0-</mark> 0-1-20- <u>80</u>	
Abondance	0.02	[0;0.12]	<mark>0-</mark> 0- <b>0-</b> 34- <u>66</u>	•
Phytoplan- cton	0.06	[0.05;0.16]	<mark>0-</mark> 0-0-29- <u>71</u>	•

<sup>\*</sup> indicateurs calculés à partir des données 2015 à 2020.

#### • Etat de la colonne d'eau et du phytoplancton (2015-2020) :

La masse d'eau « Palavasiens Est » est caractérisée par un mauvais état des paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau et du phytoplancton au cours de la période 2015-2020 (Tableaux 11b-1 et 11b-2). Le diagnostic de cette masse d'eau est basé sur deux points, représentatifs de la variété des états au sein des étangs Palavasiens-Est, l'un situé dans l'étang du Méjean (station « MEW ») et l'autre dans le Prévost (station « PRE ») (Figure 11b-1). La lagune du Méjean est la plus dégradée du complexe des étangs palavasiens, et l'une des lagunes les plus eutrophisées d'Occitanie. La lagune du Prévost est quant à elle historiquement moins impactée et plus ouverte sur la mer. Les résultats de la station complémentaire « GRC » dans l'étang du Grec, sont également disponibles en Annexe 3 (Figures 9-a à 9-c).

Comme pour les diagnostics précédents, l'état de la masse d'eau est dicté par celui de la station « MEW », encore très eutrophisée malgré les améliorations observées depuis la mise en place en 2005 de la station d'épuration MAERA de Montpellier et de la dérivation de ses rejets vers la mer. Ainsi, l'état physico-chimique de la masse d'eau reste « mauvais », du fait de concentrations élevées en phosphore total (PT) en 2015, 2016 et dans une moindre mesure 2020 (Figure 11b-2). L'évolution de la part dissoute du phosphore (PO4) est similaire à celle du PT (Figure 11b-3), signe que cette part dissoute est majoritaire pour cet élément dans la lagune du Méjean. Au cours de la période 2015-2020, les concentrations de PT et PO4 enregistrent cependant une baisse significative, déjà observée au cours de la période 2013-2018, avec des indicateurs se rapprochant des seuils de la classe d'état supérieur (Tableau 11 b-1). En revanche, les concentrations en azote dissous (NID) augmentent par rapport à la période précédente, engendrant une perte de classe de qualité, passant d'un état « bon » en 2013-2018 à « moyen » en 2015-2020 (Tableau 11 b-1). Ce déclassement est le fait des concentrations élevées des étés 2018 et 2019 et dans une moindre mesure 2017 et 2020 (Figure 11b-2), le NID restant alors en excès dans la colonne d'eau alors que les biomasses chlorophylliennes étaient moindres ces étés-là (Figure 11b-3).

L'état du phytoplancton est également « mauvais » (Tableau 11b-2), ainsi qu'il avait été diagnostiqué lors des périodes précédentes (2011-2016 et 2013-2018). Cet état dégradé est dû à des biomasses élevées en début de période (étés 2015 à 2017), associées principalement à des abondances importantes de pico-phytoplancton (Figure 11b-3).

Les améliorations enregistrées en fin de la période de diagnostic 2015-2020 peuvent en partie être liées aux conditions plus sèches qui ont limité les apports de nutriments par le bassin-versant, en particulier les années 2019 et 2020. Cependant, la charge interne sédimentaire de nutriments, combinée à des by-pass possibles de la station MAERA dans le Lez par temps de pluie, continue d'alimenter une production phytoplanctonique encore abondante et les déséquilibres dans la disponibilité des nutriments engendrent des teneurs en azote ponctuellement très élevées. Par ailleurs, le compartiment macrophytes montre plutôt des signes de dégradation, avec un recouvrement végétal en baisse (de 75% en 2015 à 64% en 2017-2018, Cimiterra *et al.*, 2020) et un état restant médiocre.

Sur la période 2015-2020, la masse d'eau « Palavasiens-Est » ne répond pas aux exigences de la DCE vis-à-vis de l'état biologique concernant le phytoplancton et vis-à-vis des caractéristiques physico-chimiques de la colonne d'eau.



Evolution du paramètre - NID



Evolution du paramètre - PO4

Figure 11b-2. Concentrations en NID et  $PO_4^{3-}(\mu M)$  des étés 2015 à 2020 aux Palavasiens-Est (échelles log).





Figure 11b-3. Concentrations en NT et PT (µM) des étés 2015 à 2020 aux Palavasiens-Est (échelle log pour PT).



**Figure 11b-4** (de haut en bas). Concentration de chlorophylle-*a* ( $\mu$ g/L), abondances de pico- et de nano-phytoplancton (millions de cellules/L) des étés 2015 à 2020 aux Palavasiens-Est (échelles log).

# Or FRDT11a



Physico

chimie

Phyto

plancton

**Tableau 11a-1.** Colonne d'eau : état physico-chimique DCE 2020\* pour Or (N=17).

	P90 et état	Intervalle de confiance	Confiance (%)	Tendance sur la période 2015-2020	
NID	30.9	[4.5;41.6]	1-2-1-22- <u>75</u>	•	
PO4	2.9	[2.1;3.6]	<mark>0-</mark> 0-0- <u>100</u> -0	•	
NT	170.4	[158.5;217. 1]	0-0-0-0- <u>100</u>	•	
PT	8.7	[7.7;10.2]	<mark>0-</mark> 0-0-0- <u>100</u>	⇒	
Etat physico-chimique					



	EQR et état	Intervalle de confiance	Confiance (%)	Tendance sur la période 2015-2020
Biomasse	0.07	[0.03;0.09]	<mark>0-</mark> 0-0-0- <u>100</u>	⇒
Abondance	0.01	[0;0.01]	<mark>0-</mark> 0- <b>0-</b> 0- <u><b>100</b></u>	
Phytoplan- cton	0.04	[0.02;0.05]	0-0-0-0- <u>100</u>	

<sup>\*</sup> indicateurs calculés à partir des données 2015 à 2020.

Figure 11a-1. Localisation des stations de suivi sur l'étang de l'Or.

### • Etat de la colonne d'eau et du phytoplancton (2015-2020) :

Sur la période 2015-2020, comme sur les quinze années précédentes, la masse d'eau « Or » ne répond pas aux exigences de la DCE vis-à-vis de l'état du phytoplancton et des caractéristiques physico-chimiques de la colonne d'eau (Tableaux 11a-1 et 11a-2). La problématique « eutrophisation » est toujours prégnante sur cette lagune, dont les indicateurs azote total (NT), phosphore total (PT) et phytoplancton sont classés en mauvais état avec le plus fort indice de confiance possible (100%). Le diagnostic de cette masse d'eau s'appuie sur le suivi de deux points (Figure 11a-1) qui ne montrent pas de différences significatives en matière de qualité vis-à-vis de l'eutrophisation (Baehr *et al.*, 2013).

Ces résultats, intégrés à l'échelle de six années de suivi, soulignent le caractère rémanent de cette problématique et la forte inertie du système à se restaurer malgré les mesures de gestion qui sont réalisées sur son bassin versant. Toutefois, à l'échelle interannuelle, on note une variabilité assez importante des paramètres de la colonne d'eau qui traduit des typologies de fonctionnement contrastées. L'étude des ratios NID/PO4 dans l'eau révèle en effet que la majorité du temps (étés 2016, 2017, 2018 et 2019), la production primaire estivale est élevée (~30 µg/L de Chl-a), entraînant des eaux opaques et une saturation en oxygène élevée au moment des échantillonnages. Lors de ce fonctionnement, la production primaire estivale forte est néanmoins limitée par la disponibilité en azote (teneurs en NID généralement < 1 µM). Les phosphates non consommés s'accumulent dans la colonne d'eau. Le phytoplancton est caractérisé par des organismes de petite taille (majorité de picoeucaryotes et picocyanobactéries) alors que les organismes de plus grande taille (nano-phytoplancton > 3 µm) représentent moins de 10% de la biomasse phytoplanctonique. A l'inverse, certaines années (2015 et 2020), après des mois précédents l'été plus humides qu'à l'accoutumée, la production primaire estivale est beaucoup moins importante. Ces périodes estivales sont caractérisées par une limitation par le phosphore (NID/PO4 > 22). La lagune voit alors le NID en excès s'accumuler dans la colonne d'eau car non consommé. Dans cette configuration, les teneurs en NT et PT sont plus faibles (en moyenne 2 fois moins d'azote et 4 fois moins de phosphore), et indiquent que moins de matière est présente dans la colonne d'eau en été. La lagune est également moins productive avec des teneurs moyennes en Chl- $a < 6 \mu g/L$ entraînant une saturation en oxygène plus faible en moyenne la journée. Ces années-là, on note des teneurs plus faibles en picoeucaryotes et picocyanobactéries et la fraction de nanoeucaryotes est similaire à celle d'un fonctionnement « azote limitant ». En conséquence, les eaux sont également plus claires. On peut supposer que les forts cumuls pluviométriques précédant ces étés contribuent à perturber le développement « habituel » des microalgues, et, par des apports sans doute proportionnellement plus importants en azote (lessivage des sols et eaux souterraines) (David, 2019), à faire que le système est alors « phosphore limitant ». Même si à cette occasion, les indicateurs DCE de la colonne d'eau semblent en meilleur état, cette situation n'est que transitoire et associée à des conditions hydro-climatiques particulières et à l'heure actuelle, moins fréquentes. Une restauration pérenne de la lagune passe inévitablement par une réduction des apports issus de son bassin versant Est, qui ont été estimés à 90 t d'azote et environ 8 t de phosphore en 2017-18 (SYMBO, 2020).

Evolution du paramètre - NID







Figure 11a-2. Concentrations en NID et  $PO_4^{3-}(\mu M)$  des étés 2015 à 2020 à l'Or (échelles log).





Figure 11a-3. Concentrations en NT et PT ( $\mu$ M) des étés 2015 à 2020 à l'Or (échelle log pour PT).





**Figure 11a-4** (de haut en bas). Concentration de chlorophylle-*a* ( $\mu$ g/L), abondances de pico- et de nano-phytoplancton (millions de cellules/L) des étés 2015 à 2020 à l'Or (échelles log).

# Berre – Grand étang FRDT15a



Tableau 15a-1. Colonne d'eau : état physico-chimique DCH	E
2020* pour Berre (N=17).	

	P90 et état	Intervalle de confiance	Confiance (%)	Tendance sur la période 2015-2020	
NID	0.4	[0.3;2.6]	<u>95</u> -5-0-0-0	⇒	
PO4	0.2	[0.1;0.2]	<u>100</u> -0-0-0-0	⇒	
NT	31.6	[27;92]	<b>83</b> -10-6-0-0	⇒	
PT	1.2	[1.1; 1.8]	<u>100</u> -0-0-0-0		
Etat physico-chimique					

Tableau 15a-2.	Phytoplancton : état DCE 2020*	pour	Berre
(N=17).			

	EQR et état	Intervalle de confiance	Confiance (%)	Tendance sur la période 2015-2020
Biomasse	0.55	[0.34;0.59]	0- <u>77</u> -23-0-0	•
Abondance	0.3	[0.17;0.43]	0- <u>55</u> -45-0-0	•
Phytoplan- cton	0.42	[0.31;0.5]	0- <u>75</u> -25-0-0	•

<sup>\*</sup> indicateurs calculés à partir des données 2015 à 2020.

Figure 15a-1. Localisation des stations de suivi sur Berre.

### • Etat de la colonne d'eau et du phytoplancton (2015-2020) :

L'étang de Berre est découpé en deux masses d'eau : « Berre - Grand étang » et « Vaïne ». Les résultats présentés ici concernent la masse d'eau « Berre - Grand étang », pour laquelle le diagnostic est établi à partir des suivis réalisés en surface sur une station hydrologique située au sud de la lagune (BES - Figure 15a-1). Les mesures enregistrées au fond (station BEF) n'interviennent pas dans le classement de la masse d'eau et sont présentées dans l'Annexe 3 (Figures 11-a à 11-c).

Sur la période 2015-2020, les paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau (Tableau 15a-1) et le compartiment « Phytoplancton » (Tableau 15a-2) affichent respectivement un état « très bon » et « bon ». Sur les périodes précédentes (2013-2018, 2011-2016 et 2009-2014), ils affichaient respectivement un état « bon » et « moyen ». Ces résultats soulignent l'amélioration de la qualité de la colonne d'eau du point de vue physico-chimique et biologique. En 2015 et 2016, les formes azotées (NID et NT) couvrent deux à trois classes de qualité. A partir de 2017, les paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau sont caractéristiques d'un « très bon » état pour les formes minérales (NID, PO4) et totales (NT, PT). Sur la période 2015-2020, les concentrations en phosphore et en azote n'ont pas de tendance particulière et semblent constantes. L'été 2018 est caractérisé par de fortes chaleurs se traduisant par une crise anoxique ayant démarré au nord de la lagune pour s'étendre sur toute la surface en août, depuis le fond jusqu'à 1,5 m de la surface (Faure, 2018). A la station de fond (BEF), l'anoxie est effective en août (0 mg O<sub>2</sub>/L). En 2019 et 2020, cette station est également caractérisée par des valeurs d'O<sub>2</sub> inférieures au seuil de l'hypoxie (< 2 mg O<sub>2</sub>/L).

Les concentrations en chlorophylle *a* et les abondances de pico- et de nano-phytoplancton mesurées à la station BES sont relativement variables sur les périodes estivales 2015-2020, avec des intervalles de confiance couvrant deux à trois classes de qualité pour l'EQR « abondance » et l'EQR « biomasse », en particulier en 2016 et 2017. A partir de 2018, ces EQR couvrent deux classes de qualité associées au « bon » et « très bon » état (Figure 15a-4). Sur la période 2015-2020, l'EQR « Phytoplancton » est caractéristique pour la première fois d'un état « bon ». L'évolution de l'EQR « Phytoplancton » est à mettre en relation avec l'évolution des paramètres physico-chimiques et l'évolution de l'EQR « Macrophytes » puisque le diagnostic réalisé en 2017 indiquait une amélioration de ce compartiment, passant d'un mauvais état en 2009 à un « état médiocre » en 2017 (Cimiterra *et al.*, 2020).

## Sur la période 2015-2020, l'état physico-chimique et biologique du phytoplancton de la masse d'eau « Berre-Grand étang » répondent aux exigences de la DCE.









Figure 15a-2. Concentrations en NID et  $PO_4^{3-}(\mu M)$  des étés 2015 à 2020 à Berre (échelle log pour NID).

Evolution du paramètre - NT







Figure 15a-3. Concentrations en NT et PT ( $\mu M$ ) des étés 2015 à 2020 à Berre.



**Figure 15a-4** (de haut en bas). Concentration de chlorophylle-*a* ( $\mu$ g/L), abondances de pico- et de nano-phytoplancton (millions de cellules/L) des étés 2015 à 2020 à Berre (échelles log pour pico- et nano-phytoplancton).

Phyto-

2020



Tableau E1-1. Colonne d'eau : état physico-chimique DC	E
2020* pour Biguglia (N=18).	

	P90 et état	Intervalle de confiance	Confiance (%)	Tendance sur la période 2015-2020
NID	1.7	[1;4.3]	<u>69</u> -31-0-0-0	•
PO4	0.4	[0.4;0.6]	<mark>0-<u>100</u>-0-0-0</mark>	•
NT	57.4	[48.8;73.9]	<b>4-<u>96</u>-0-0-0</b>	•
PT	2.1	[1.7;2.7]	<mark>39-<u>61</u>-0-0-0</mark>	•
Etat physico-chimique				

Tableau E1-2. Phytoplancton : état DCE 2020\* pour Biguglia (N=18).

	EQR et état	Intervalle de confiance	Confiance (%)	Tendance sur la période 2015-2020
Biomasse	0.35	[0.17;0.57]	<b>2-</b> 27 <b>-</b> 34- <u>38</u> -0	•
Abondance	0.13	[0.06;0.51]	<b>0-</b> 13 <b>-</b> 26- <u>60</u> -0	•
Phytoplan- cton	0.24	[0.15;0.5]	0-14- <u>52</u> -34-0	•

<sup>\*</sup> indicateurs calculés à partir des données 2015 à 2020.



## Etat de la colonne d'eau et du phytoplancton (2015-2020) :

La masse d'eau « Biguglia » est suivie au niveau de deux stations situées au nord et au sud (Figure E1-1). Sur la période 2015-2020, l'état physico-chimique de la lagune est considéré comme « bon », avec des intervalles de confiance peu étendus (Tableau E1-1), très proches de ceux obtenus lors du diagnostic précédent (2013-2018) et des états pour le phosphate inorganique dissous et les formes totales de l'azote et du phosphore identiques. Si les tendances d'évolution ne sont pas significatives au cours de la période 2015-2020, il est cependant à noter des concentrations plus importantes en 2017 pour les formes dissoute et totale du phosphore et pour l'azote total et en 2018 pour les formes dissoutes de ces deux éléments (test de Kruskal-Wallis en Annexe 4-Tableau 7 et Figures E1-2 et E1-3).

Les EOR et états vis-à-vis du phytoplancton sont stables entre les 2 dernières périodes. Les années 2019 et 2020 semblent montrer des valeurs de chlorophylle a et de nano-phytoplancton (Figure E1-4) plus faibles, pour les deux bassins. Ceci peut expliquer une légère augmentation de la proportion des valeurs d'abondance et de phytoplancton classées en bon état.

Globalement, il est à noter une stabilisation de l'état de la lagune pour la période 2015-2020, et une légère amélioration des valeurs de la colonne d'eau et du phytoplancton sur les deux dernières années 2019 et 2020 ; cela malgré des cumuls de précipitation relativement élevés en 2018, en particulier, mais également en 2019 et 2020 qui se traduisent par des salinités très basses (18,6 pour le bassin nord et 10,7 pour le basin sud). Avec ces conditions météorologiques, la lagune semble donc avoir pu assimiler les apports en nutriments liés aux précipitations, le NID ayant été fortement consommé, sans pour autant que cela ne se traduise par une augmentation des valeurs de chlorophylle a et des paramètres du phytoplancton.

L'état de la lagune de Biguglia reste toutefois fragile compte tenu des apports nutritifs en excès issus du bassin versant de la lagune.

Sur la période 2015-2020, l'état biologique pour le phytoplancton de la masse d'eau « Biguglia » ne répond pas aux exigences de la DCE.

#### Evolution du paramètre - NID



Figure E1-2. Concentrations en NID et  $PO_4^{3-}(\mu M)$  des étés 2015 à 2020 à Biguglia (échelles log).





Figure E1-3. Concentrations en NT et PT ( $\mu$ M) des étés 2015 à 2020 à Biguglia.



**Figure E1-4** (de haut en bas). Concentration de chlorophylle-*a* ( $\mu$ g/L), abondances de pico- et de nano-phytoplancton (millions de cellules/L) des étés 2015 à 2020 à Biguglia (échelles log).

## 6. Conclusions et perspectives

Les suivis réalisés au cours de l'été 2020 en surface sur les 10 masses d'eau lagunaires « OBSLAG », complétant les suivis des 5 étés précédents, ont montré que le bon état DCE est atteint pour la période 2015-2020 sur 6 masses d'eau en ce qui concerne les paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau et sur 5 masses d'eau en ce qui concerne le compartiment phytoplancton. Quatre masses d'eau atteignent le bon état pour les deux compartiments colonne d'eau et phytoplancton (Bages-Sigean, Ayrolle, Thau et Berre).

Les indicateurs DCE appliqués sur les lagunes méditerranéennes répondent au besoin du rapportage à l'Europe, qui est réalisé tous les 3 à 6 ans. La prise en compte de 6 années consécutives de suivis de la colonne d'eau et du phytoplancton est adaptée à ce rythme de restitution des résultats et à la variabilité des paramètres pris en compte. En revanche, la détection des changements dans les écosystèmes doit pouvoir se faire à des échelles spatio-temporelles souvent plus fines pour être pertinentes dans le cadre de prises de décisions.

L'application, sur les données 2015-2020, de méthodes statistiques produisant des informations sur les tendances et sur la variabilité, a permis de confirmer leur intérêt en termes de compléments aux indicateurs DCE (donnant un état vis-à-vis des seuils réglementaires). Ainsi, les indications sur la variabilité des données permettent d'évaluer la confiance accompagnant les diagnostics DCE (pourcentage de chance d'appartenir à chaque classe de qualité DCE). Les tests de tendances sont quant eux pertinent pour détecter précocement des évolutions et des années particulières au sein des périodes d'évaluation.

Malgré les conditions météorologiques exceptionnelles de 2018 et 2019, marquées par des vagues de chaleur estivale, et au printemps 2018 par des cumuls pluviométriques élevés, les diagnostics DCE n'indiquent pas de dégradation majeure de l'état de la colonne d'eau et du phytoplancton pour le diagnostic 2015-2020, par rapport aux périodes précédentes. Plusieurs améliorations sont même observées par rapport au diagnostic de la période précédente de 2013-2018. Ainsi, l'état du phytoplancton de la lagune de Canet s'améliore et gagne une classe de qualité, passant à un état médiocre. La lagune de Berre voit quant à elle l'état de sa colonne d'eau et de son phytoplancton gagner une classe de qualité, atteignant respectivement des états très bon et bon. De plus, malgré le mauvais état de la colonne d'eau des Palavasiens-Est, une tendance à l'amélioration de l'état physico-chimique au cours de la période 2015-2020 est mise en évidence, confirmant la tendance observée pour les paramètres du phosphore lors du précédent diagnostic OBSLAG (Derolez *et al.*, 2019). Ces améliorations peuvent en partie être liées aux conditions plus sèches qui ont limité les apports de nutriments par les bassins-versants, mais sont à relativiser par les apports internes (charge interne sédimentaire de nutriments) et externes (ex. rejets et by-pass de certaines STEU) qui peuvent impacter encore significativement l'état de ces lagunes.

Si l'on compare les résultats de la période 2015-2020 à ceux de la période 2013-2018, seule la lagune de La Palme est concernée par un déclassement, franchissant le seuil de l'état moyen pour l'état physico-chimique. Ce déclassement s'explique par des concentrations élevées en ammonium en fin de période, associées en partie à des dysfonctionnements de la STEU de La Palme. Outre ce déclassement, la lagune de La Palme est concernée au cours de la période 2015-2020 par une tendance à la dégradation de l'état physico-chimique et du phytoplancton, attirant l'attention sur cet écosystème particulièrement sensible aux conditions hydro-climatiques sèches et chaudes. On note également au cours de la période 2015-2020 une tendance à la dégradation de l'état physico-chimique à Thau, mais avec des valeurs restant dans la gamme du très bon état. Ce déclassement résulte du relargage sédimentaire de nutriments (concentrations plus élevées en azote), favorisé par les vagues de chaleur des étés 2018 et 2019, qui ont induit des conditions hypoxiques en profondeur. De tels phénomènes ont également été observés en profondeur dans la lagune de Berre, confirmant l'intérêt de poursuivre les suivis complémentaires sur ces deux lagunes profondes, particulièrement exposées au risque d'anoxie dans le contexte du réchauffement climatique.

Du fait de la relative inertie des indicateurs DCE et des enjeux vis-à-vis de la gestion des milieux, le rythme annuel de suivi et d'évaluation des tendances d'évolution pour la colonne d'eau et le phytoplancton, qui constituent les compartiments les plus réactifs des écosystèmes lagunaires, représente une importante plus-value du projet OBSLAG. Ainsi, les dégradations décelées peuvent



permettre d'attirer l'attention sur la recherche de causes des perturbations et les améliorations mises en évidence permettre de confirmer le bénéfice de certaines actions de gestion mises en œuvre. Par ailleurs, les suivis effectués sur les stations complémentaires aux stations DCE permettent de compléter les diagnostics et d'apporter des informations importantes sur le fonctionnement de ces trois masses d'eau concernées (Thau, Palavasiens-Est et Berre).

A l'issue des 3 campagnes de diagnostics OBSLAG-eutrophisation au cours desquelles les indicateurs de tendance et de variabilité ont été appliqués sur les données de l'état physico-chimique et du phytoplancton (2011-2016, 2013-2018, 2015-2020), il serait intéressant de faire un bilan de l'efficacité et de la pertinence des outils proposés et d'identifier si nécessaire des pistes d'amélioration. Ainsi, l'indicateur de tendance a permis de mettre en évidence des évolutions significatives qui se sont poursuivies par un changement de classe lors du diagnostic suivant (ex. état physico-chimique de La Palme en dégradation pour la période 2013-2018 et déclassement pour la période 2015-2020). En revanche, certains changements de classe de qualité ont été observés sans qu'une tendance significative ait été mise en évidence par les tests statistiques lors des précédents diagnostics (ex. changement de classe de l'état du phytoplancton de Canet et de Berre pour la période 2015-2020). Ces derniers changements de classe concernent plus particulièrement des masses d'eau pour lesquelles les évolutions ne sont pas monotones (c'est-à-dire continument croissantes ou décroissantes, qui peuvent alors être détectées par le test de Mann Kendall) mais irrégulières, avec des pics ponctuels responsables des déclassements. Les tests de Kruskal-Wallis permettent dans la plupart de ces cas de détecter ces pics en tant qu'« exceptionnels », mais il serait intéressant de davantage exploiter les résultats de ces tests pour tenter d'anticiper d'éventuels changements de classe. Par ailleurs, les deux informations issues du ré-échantillonnage par bootstrap (intervalle de confiance à 95% et indice de confiance) fournissent des informations complémentaires sur la dispersion des données et sur la confiance que l'on peut accorder au diagnostic fourni. Cependant, si l'information apportée par l'indice de confiance est assez explicite (probabilité, en %, pour l'indicateur d'appartenir à chacune des 5 classes de qualité DCE), les bornes inférieures et supérieures de l'intervalle de confiance sont moins faciles à interpréter. Il serait donc intéressant de tester la possibilité de qualifier les intervalles de confiance, selon que leur étendue est faible ou élevée au regard de la gamme de valeur prise par chaque indicateur.

Enfin, pour obtenir une image plus exhaustive de l'état des eaux lagunaires méditerranéennes, les résultats du projet OBSLAG doivent être complétés des diagnostics du compartiment benthique (macrophytes, macrofaune, sédiments) et de la contamination chimique réalisés dans le cadre de la DCE et des réseaux complémentaires (Bouchoucha *et al.*, 2019 ; Cimiterra *et al.*, 2020 ; Guillemot *et al.* 2021). Enfin, dans le contexte actuel de changement climatique, les lagunes méditerranéennes constituent des écosystèmes « sentinelles » à l'échelle nationale, qui nécessitent la mise en œuvre de suivi plus fins et plus fréquents (ex. REPHY) et une réactivité suffisante pour adapter si besoin les dispositifs d'observation aux phénomènes inédits extrêmes qui peuvent survenir (ex. Suivi « Picochlorum » mis en place suite aux eaux vertes à Thau en 2018-2019, Lagarde *et al.*, 2021).



## Bibliographie

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., Boissery P., Giraud A., Dutrieux E., Schvartz T., Thorin S., Bouchoucha M., Derolez V., Gonzalez J.L., Laugier T., Miralles F., Munaron D., Sargian P., Sartoretto S., Tomasino C., Amouroux J.-M., Labrune C., Markovic L., Thibaut T. (2010a). Directive Cadre Eau. Contrôles de surveillance/opérationnel. District « Rhône et côtiers méditerranéens ». Campagne DCE 2009. 129 p.

Andral B., Sargian P., Boissery P., Giraud A. Dutrieux E., Schvartz T., Thorin S., Bouchoucha M., Derolez V., Gonzalez J.L., Laugier T., Miralles F., Munaron D., Sargian P., Sartoretto S., Tomasino C., Chery A., Lejeune P., Pelaprat C., Gobert S., Goffart A. Markovic L., Thibaut T., Blanfune A. (2010b). Directive Cadre Eau. Directive Cadre Eau. Contrôles de surveillance/opérationnel. District « Corse ». Campagne DCE 2009. 99 p.

Andrisoa A., Stieglitz T.C., Rodellas V., Raimbault P. (2019). Primary production in coastal lagoons supported by groundwater discharge and porewater fluxes inferred from nitrogen and carbon isotope signatures. Marine Chemistry 210 (2019) 48-60.

Baehr A., Derolez V., Fiandrino A., Le Fur I., Malet N., Messiaen G., Munaron D., Oheix J., Ouisse V., Roque d'Orbcastel E., Bec B. (2013). Bilan méthodologique de l'outil de diagnostic de l'eutrophisation RSL. Quatorze années de résultats en Région Languedoc-Roussillon. RST/LER/LR 13-01. 279 p.

Bec, B., Collos, Y., Souchu, P., Vaquer, A., Lautier, J., Fiandrino, A., Benau, L., Orsoni, V., Laugier, T. (2011). Distribution of picophytoplankton and nanophytoplankton along an anthropogenic eutrophication gradient in French Mediterranean coastal lagoons. Aquat. Microb. Ecol. 63, 29-45. doi:10.3354/ame01480

Benau L. (2020). Suivi des rejets des stations d'épuration proches des étangs et autres tributaires, estimation de leur impact sur les milieux lagunaires. Etangs de Bages-Sigean et de La Palme. Résultats de l'année 2019. 45 p.

Bouchoucha M., Derolez V., Munaron D., Gonzalez J.-L., Cimiterra N., Tomasino C. (2019). Directive Cadre sur l'Eau. Bassin Rhône Méditerranée Corse - Année 2018. 83 p. <u>https://archimer.ifremer.fr/doc/00620/73224/</u>

Brun M., Soudant D. (2015). Synthèse bibliographique relative à la notion d'indicateur dans le contexte de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM). Rapport ODE/DYNECO/VIGIES/15-01, 68 p. http://archimer.ifremer.fr/doc/00247/35858/

Buchet R. (2012). Assistance à la coordination des travaux européens d'intercalibration des indicateurs biologiques de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE). Méthodes et outils d'évaluation de l'état des eaux littorales. Bilan des actions d'intercalibration portant sur les indicateurs DCE.

Cimiterra N., Massinelli L., Dijoux L., Oheix J., Derolez V. (2020). Diagnostic du compartiment macrophyte dans 17 masses d'eau de transition lagunaires en 2016, 2017 et 2018. 135 p. https://archimer.ifremer.fr/doc/00656/76772/

CNRTL, Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales. Définition de la variabilité. <u>http://www.cnrtl.fr/definition/variabilit%C3%A9</u>

David, M. (2019). Influence des apports d'eaux souterraines sur le fonctionnement hydrologique et biogéochimique des lagunes côtières méditerranéennes. Cas de la lagune de l'Or. Thèse BRGM/Ifremer de l'université de Montpellier. ED GAIA. 178 p.

Derolez V., Gimard A., Munaron D., Ouisse V., Messiaen G., Fortuné M., Poirier S., Mortreux S., Guillou J.-L., Brun M., Provost C., Hatey, E., Bec B., Malet N., Fiandrino A. (2017). OBSLAG 2016 – volet eutrophisation. Etat DCE des lagunes méditerranéennes (eau et phytoplancton, période 2013-2018). Développement d'indicateurs de tendance et de variabilité. 75 p. <u>http://archimer.ifremer.fr/doc/00386/49744/</u>

Derolez V., Oheix J., Ouisse V., Munaron D., Fiandrino A., Messiaen G., Hubert C., Lamoureux A., Malet N., Fortuné M., Berard L., Mortreux S., Guillou J.-L. (2015). Suivi estival des lagunes méditerranéennes françaises - Bilan des résultats 2014. 85 p. <u>http://archimer.ifremer.fr/doc/00273/38461/</u>

Derolez V., Ouisse V., Fiandrino A., Munaron D., Bissery C., Kloareg M. (2013). Analyse statistique des données du RSL. Etude des trajectoires écologiques des lagunes entre 2001 et 2012. RST-LER/LR 13-06. 39 p. <u>https://w3.ifremer.fr/archimer/doc/00173/28423/</u>

Derolez V., Bec B., Munaron D., Foucault E., Fiandrino A., Ouisse V., Messiaen G., Hatey E., Connes C., Soudant D., Brun M., Fortune M., Mortreux S., Serais O., Crottier A., Malet N. (2019). OBSLAG 2018 - volet



eutrophisation. Lagunes méditerranéennes (période 2013-2018). Etat DCE de la colonne d'eau et du phytoplancton, tendance et variabilité des indicateurs. RST/LER/LR/19.12. 75 p. https://archimer.ifremer.fr/doc/00507/61862/

Derolez V., Bec B., Munaron D., Fiandrino A., Pete R., Simier M., Souchu P., Laugier T., Aliaume C., Malet N. (2019). Recovery trajectories following the reduction of urban nutrient inputs along the eutrophication gradient in French Mediterranean lagoons. Ocean and Coastal Management, 171(1), 1-10. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.01.012

Dunn O.J. (1964). Multiple comparisons using rank sums. Technometrics, 6, pp. 241-252.

EEA (2007). Halting the loss of biodiversity by 2010: proposal for a first set of indicators to monitor progress in Europea. European Environment Agency, Copenhagen. Report No. 11/2007, 186 pp.

Efron B., 1995. Le bootstrap et ses applications. C.I.S.I.A., Saint-Mandé, 217 p.

Faure V. (2018). Crise anoxique et eutrophique de l'étang de Berre. Eté Automne 2018. 25 p. <u>https://etangdeberre.org/content/uploads/2018/11/note\_crise\_ete2018\_v1\_3.pdf</u>

Gilbert R.O. (1987). Statistical methods for environmental pollution monitoring. Wiley, NY, 336 p.

Gimard A. (2016). Analyse des tendances et de la variabilité des indicateurs de l'état écologique DCE, phytoplancton et physico chimie, dans les lagunes méditerranéennes. Rapport d'alternance de Master 2-IEGB, Biodiversité Écologie Évolution, Université de Montpellier. 66 p.

Guillemot, S., Giraud, A., Astier-Cohu, K., Graille, C., Stroffek, S., Boissery, P., Grillas, P., Derolez, V., Munaron, D., Cimeterra, N., Ouisse, V., Malet, N., Fiandrino, A. (2021). État des eaux lagunaires de Rhôneméditerranée et de Corse. 144 p. <u>https://www.eaurmc.fr/upload/docs/application/pdf/2021-04/202102-valorisation\_donnees\_lagunes\_rmc\_complet\_def\_avec\_couverture.pdf</u>

Ifremer (2020). Qualité du Milieu Marin Littoral. Bulletin de la surveillance 2019. Départements des Pyrénées-Orientales, de l'Aude, de l'Hérault et du Gard. 157 p. <u>https://archimer.ifr/doc/00643/75464/</u>

Kendall M.G. (1975). Rank Correlation Methods. 4th edition, Charles Griffin, London.

Kruskal W.H., Wallis W.A. (1952). Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. Journal of the American Statistical Association, 47, pp. 583-621.

Lagarde F., Atteia A., Gobet A., Richard M., Mostajir B., Roques C., Foucault É., Messiaen G., Hubert C., Derolez V., Cimiterra N., Bec B. (2021). Phénomène d'eaux vertes à *Picochlorum* en lagune de Thau pendant les années 2018 et 2019. Observations environnementales. RST Ifremer ODE/UL/LERLR21/15. *En préparation*.

Mann H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. Econometrica, 13, pp. 245-259.

Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, MTES (2018a). Arrêté du 27 juillet 2018 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. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement, 76 p.

Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, MTES (2018b). Arrêté du 17 octobre 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement.

Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, MTES (2018c). Guide relatif aux règles d'évaluation de l'état des eaux littorales dans le cadre de la DCE. 277 p. https://professionnels.afbiodiversite.fr/sites/default/files/pdf/estuaires/GuideREEEL-DCE-MTES2018.pdf

Oheix J., Ouisse V., Munaron D., Le Fur I., Derolez V. (2015). Etude de *Ruppia cirrhosa* dans la lagune de Canet-St-Nazaire. RST.ODE/UL/LER/LR/15-29. 41 p. <u>https://archimer.ifremer.fr/doc/00280/39091/</u>

Richard M., de Wit R., Fiandrino A. (2018). Malaïgue 2018 sur la lagune de Thau – Demande d'informations complémentaires. Expertise ODE/UL/LERLR 18/2. 5 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.

Soudant D. (2008). Confiance et précision. Approche pour les eaux littorales. Séminaire Aquaref, 3-4 juin 2008.

SYMBO (2019). Etude du fonctionnement hydrodynamique de l'étang de l'Or. Bilan imports/exports et hiérarchisation des sources de matière. Rapport d'étude final. Syndicat Mixte du bassin de l'Or. 91 p.

WFD CIS (2003). Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance Document No. 7. Monitoring under the Water Framework Directive. 160 p. http://www.waterframeworkdirective.wdd.moa.gov.cy/guidance.html

WFD CIS (2005). Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance Document No. 13. Overall Approach to the Classification of Ecological Status and Ecological Potential. 53 p. <u>http://www.waterframeworkdirective.wdd.moa.gov.cy/guidance.html</u>

Witkowski F., Andral B., Derolez V., Tomasino C. (2016). Campagne de surveillance 2015 (DCE et DCSMM) en Méditerranée française. Districts « Rhône et côtiers méditerranéens » et « Corse ». Convention AERMC / Ifremer n° 2014-2292. 221 p.



# Annexe 1. Formule du percentile 90 (P90) intervenant dans le calcul des indicateurs de l'état physico-chimique et du phytoplancton

Le calcul du P90 est effectué comme suit :

$$P_{90} = (1 - g)_{xj} + g_{xj+1}$$

avec

 $P_{\scriptscriptstyle 90}$  valeur de la métrique

 ${\mathcal X}_1 \; {\mathcal X}_2 \cdots {\mathcal X}_n$  valeurs ordonnées du paramètre

*n* nombre de valeurs pour le paramètre

j partie entière et g partie fractionnaire de np telles que np=j+g où p=0.9

#### Annexe 2. Formules permettant d'obtenir la statistique du test de Mann-Kendall (Gilbert, 1987)

$$sign(x_k - x_n) = \begin{cases} 1 \sin x_k - x_n > 0\\ 0 \sin x_k - x_n = 0\\ -1 \sin x_k - x_n < 0 \end{cases}$$

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} sign(x^{j} - x^{k})$$

*(formule de S, x<sup>k</sup> étant une valeur et x<sup>j</sup> toutes les valeurs postérieures sur une échelle temporelle)* 

$$VAR(S) = \frac{1}{18} \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^{g} tp(tp-1)(2tp+5) \right]$$

(formule de la variance, ou n= nombre de mesures, g= nombre groupes de valeurs différentes et tp=nombre de valeurs identiques au sein de chaque groupe g)

$$Z_{Mann-Kendall} = \frac{\frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}} si S < 0}{\frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}} si S > 0}$$

lfremer			
	- Aller	lfremer	

Annexe 3. Résultats des suivis « colonne d'eau » et « phytoplancton » pour les stations hydrologiques complémentaires (*en italique*)



Figure 9.a. Concentrations en NID et PO<sub>4</sub> (en  $\mu$ M) des étés 2015 à 2020 aux Palavasiens-Est (stations PRE, MEW *et GRC*).





Figure 9.b. Concentrations en NT et PT (en  $\mu$ M) des étés 2015 à 2020 aux Palavasiens-Est (stations PRE, MEW *et GRC*).



**Figure 9.c.** Concentration de chlorophylle-*a* ( $\mu$ g/L), abondances de pico- et de nano-phytoplancton (millions de cellules/L) des étés 2015 à 2020 aux Palavasiens-Est (stations PRE, MEW *et GRC*) (échelles  $\log_{10}$ ).

Ifremer



Figure 10.a. Concentrations en NID et PO<sub>4</sub> (en  $\mu$ M) des étés 2015 à 2020 à Thau (stations *TWF*, *TEF*, *TANG et TPE*).



Figure 10.b. Concentrations en NT et PT (en  $\mu$ M) des étés 2015 à 2020 à Thau (stations *TWF*, *TEF*, *TANG et TPE*).




**Figure 10.c.** Concentration de chlorophylle-*a* ( $\mu$ g/L), abondances de pico-phytoplancton et de nano-phytoplancton (millions de cellules/L, des étés 2015 à 2020 à Thau (stations *TWF*, *TEF*, *TANG et TPE*) (ordonnées en échelle log<sub>10</sub>).



Figure 11.a. Concentrations en NID et PO<sub>4</sub> (en µM) des étés 2015 à 2020 à Berre (station BES et *BEF*).





Figure 11.b. Concentrations en NT et PT (en µmol/L) des étés 2015 à 2020 à Berre (station BES et *BEF*).





**Figure 11.c.** Concentration de chlorophylle-*a* ( $\mu$ g/L), abondances de pico-phytoplancton et de nano-phytoplancton (million de cellules/L) des étés 2015 à 2020 à Berre (stations BES et *BEF*) (ordonnées en échelle log<sub>10</sub>).

Ifremer

## Annexe 4. Etats DCE 2015-2020 de la « colonne d'eau » et du « phytoplancton » et indicateurs de variabilité et de tendance.

**Tableau 7.** Evolution de l'état DCE physico-chimique de la colonne d'eau des 10 masses d'eau OBSLAG pour la période 2015-2020. EQR et état DCE (représenté par la couleur de bleu à rouge), intervalle de confiance à 95% (IC) de l'EQR (obtenu par bootstrap), répartition en pourcentage des résultats du bootstrap selon les 5 classes de qualité (confiance), tendance d'évolution des concentrations (obtenue par le test de Mann Kendall) et années particulières de la période 2015-2020 (obtenues par le test de Kruskal-Wallis). En grisé, nombre de données inférieur à 18.

	Nom de la masse d'eau	NID							PO4						NT						PT						
Code masse d'eau		Nombre de valeurs	P90 (µmol/L)	IC du P90	Confiance	Tendance monotone (Mann Kendall)	Années particulières (Kruskal-Wallis)	Nombre de valeurs	P90 (µmol/L)	IC du P90	Confiance	Tendance monotone (Mann Kendall)	Années particulières (Kruskal-Wallis)	Nombre de valeurs	P90 (μmol/L)	IC du P90	Confiance	Tendance monotone (Mann Kendall)	Années particulières (Kruskal-Wallis)	Nombre de valeurs	P90 (µmol/L)	IC du P90	Confiance	Tendance monotone (Mann Kendall)	Années particulières (Kruskal-Wallis)		
FRDT01	Canet	18	15.6	[2.1;50.9]	2 - 30 - 7 - 28 - 33	Pas de tendance	a a a a a a	18	13.9	[9.3;16.4]	0 - 0 - 0 - 0 - 100	Pas de tendance	ab ab <u>a</u> ab <b>b</b> ab (valeurs de <u>2017</u> supérieures à celles de 2019)	18	91.2	[66.8;147.4]	0 - 17 - 46 - 32 - 6	Pas de tendance	ab <u>a</u> ab ab ab b (valeurs de <u>2016</u> supérieures à celles de 2020)	18	20	[10.7;24]	0 - 0 - 0 - 0 - 100	Pas de tendance	a a a a a a		
FRDT03	La Palme	18	6.8	[2.3;29.1]	1 - 46 - 17 - 30 - 6	Tendance à l'augmentation (+0.33 µM/an)	<b>b b</b> <u>a</u> b <u>a a</u> (valeurs de <u>2017, 2019 et</u> <u>2020</u> supérieures à celles de 2015, 2016 et 2018)	18	0.2	[0.1;0.2]	100 - 0 - 0 - 0 - 0	Tendance à l'augmentation (+0.02 µM/an)	<b>b b b <u>a a a</u></b> (valeurs de <u>2018 à 2020</u> supérieures à celles de 2015 à 2017)	18	60.1	[49.9;85.3]	3 - 90 - 8 - 0 - 0	Tendance à l'augmentation (+4.67 µM/an)	d cd <u>a</u> ab <u>a</u> bc (valeurs de <u>2017 et</u> <u>2019</u> supérieures à celles de 2015, 2016 et 2020)	18	0.8	[0.7;0.9]	100 - 0 - 0 - 0 - 0	Tendance à l'augmentation (+0.09 μM/an)	<b>d d <u>b b a c</u></b> (valeurs de <u>2017 à 2020</u> supérieures à celles de 2015 et 2016)		
FRDT04	Bages - Sigean	18	0.8	[0.5;2.7]	94 - 6 - 0 - 0 - 0	Pas de tendance	<b>b b</b> ab ab <u>a</u> ab (valeurs de <u>2019</u> supérieures à celles de 2015 et 2016)	18	0.1	[0.1;0.3]	100 - 0 - 0 - 0 - 0	Pas de tendance	a a a a a a	18	38.9	[37.3;40.3]	100 - 0 - 0 - 0 - 0	Pas de tendance	a a a a a a	18	1	[0.8;1.2]	100 - 0 - 0 - 0 - 0	Pas de tendance	ab <u>a</u> ab <b>b b b</b> (valeurs de <u>2017</u> supérieures à celles de 2018 à 2020)		
FRDT05a	Ayrolle	18	0.6	[0.5;0.6]	100 - 0 - 0 - 0 - 0	Pas de tendance	<u>a</u> bc ab c bc abc (valeurs de <u>2015</u> supérieures à celles de 2016, 2018 et 2019)	18	0.1	[0.1;0.2]	100 - 0 - 0 - 0 - 0	Pas de tendance	<b>b</b> ab ab <u>a</u> ab ab (valeurs de <u>2018</u> supérieures à celles de 2015)	18	40.3	[36.7;47.3]	100 - 0 - 0 - 0 - 0	Pas de tendance	a a a a a a	18	0.6	[0.6;0.7]	100 - 0 - 0 - 0 - 0	Pas de tendance	a a a a a a		
FRDT10	Thau	18	0.5	[0.4;0.8]	100 - 0 - 0 - 0 - 0	Pas de tendance	ab <u>b</u> a ab <u>a a</u> (valeurs de <u>2017, 2019 et</u> <u>2020</u> supérieures à celles de 2016)	18	0.1	[0.1;0.1]	100 - 0 - 0 - 0 - 0	Pas de tendance	a a a a a a	18	26.5	[22;27.7]	100 - 0 - 0 - 0 - 0	Tendance à l'augmentation (+0.94 μM/an)	<b>b b</b> ab ab <u>a</u> ab (valeurs de <u>2019</u> supérieures à celles de 2015 et 2016)	18	0.7	[0.6;0.7]	100 - 0 - 0 - 0 - 0	Pas de tendance	a a a a a a		
FRDT11a	Or	18	30.9	[4.5;41.6]	1 - 2 - 1 - 22 - 75	Pas de tendance	<u>ab</u> c b c c <u>a</u> (valeurs de <u>2015 et 2020</u> supérieures à celles de 2016, 2018 et 2019)	18	2.9	[2.1;3.6]	0 - 0 - 0 - 100 - 0	Pas de tendance	b <u>a a a a</u> b (valeurs de <u>2016 à 2019</u> supérieures à celles de 2015 et 2020)	18	170.4	[158.5;217.1]	0 - 0 - 0 - 0 - 100	Pas de tendance	b <u>a a a a</u> b (valeurs de <u>2015 et</u> <u>2020</u> supérieures à celles de 2016 à 2019)	18	8.7	[7.7;10.2]	0 - 0 - 0 - 0 - 100	Pas de tendance	b <u>a a a a</u> b (valeurs de <u>2015 et</u> <u>2020</u> supérieures à celles de 2016 à 2019)		
FRDT11b	Palavasiens Est	18	6.6	[1.9;12.4]	5 - 35 - 52 - 8 - 0	Pas de tendance	a a a a a a	18	1.8	[0.9;2.1]	0 - 17 - 21 - 62 - 0	Tendance à la diminution (-0.09 μM/an))	<u>ab a</u> bc c c c (valeurs de <u>2015 et 2016</u> supérieures à celles de 2018 à 2020)	18	76.1	[61.6;108.8]	0 - 47 - 47 - 6 - 0	Pas de tendance	a a a a a a	18	6.3	[2.3;9.4]	0 - 9 - 28 - 1 - 61	Tendance à la diminution (-0.20 μM/an)	ab <u>a</u> b b b b (valeurs de <u>2016</u> supérieures à celles de 2017 à 2020)		
FRDT11c	Palavasiens Ouest	18	2.5	[1.3;4.4]	39 - 61 - 0 - 0 - 0	Pas de tendance	a a a a a a	18	0.2	[0.2;0.3]	100 - 0 - 0 - 0 - 0	Pas de tendance	a a a a a a	18	56.2	[52.7;66]	0 - 100 - 0 - 0 - 0	Pas de tendance	a a a a a a	18	1.4	[1.2;1.8]	100 - 0 - 0 - 0 - 0	Pas de tendance	a a a a a a		
FRDT15a	Berre Grand Etang	17	0.4	[0.3;2.6]	95 - 5 - 0 - 0 - 0	Pas de tendance	a a a a a a	17	0.2	[0.1;0.2]	100 - 0 - 0 - 0 - 0	Pas de tendance	a a a a a a	17	31.6	[27;92]	83 - 10 - 6 - 0 - 0	Pas de tendance	aaaaaa	17	1.2	[1.1;1.8]	100 - 0 - 0 - 0 - 0	Pas de tendance	a a a a a a		
FRET01	Biguglia	18	1.7	[1;4.3]	69 - 31 - 0 - 0 - 0	Pas de tendance	ab <b>b</b> ab <u>a a</u> ab (valeurs de <u>2018 et 2019</u> supérieures à celles de 2016)	18	0.4	[0.4;0.6]	0 - 100 - 0 - 0 - 0	Pas de tendance	ab ab <u>a a</u> ab b (valeurs de <u>2017 et 2018</u> supérieures à celles de 2020)	18	57.4	[48.8;73.9]	4 - 96 - 0 - 0 - 0	Pas de tendance	ab ab <u>a</u> ab b ab (valeurs de <u>2017</u> supérieures à celles de 2019)	18	2.1	[1.7;2.7]	39 - 61 - 0 - 0 - 0	Pas de tendance	ab ab <u>a</u> ab ab <b>b</b> (valeurs de <u>2017</u> supérieures à celles de 2020)		



**Tableau 8.** Evolution de l'état DCE de la biomasse et de l'abondance phytoplanctonique des 10 masses d'eau OBSLAG pour la période 2015-2020. EQR et état DCE (représenté par la couleur de bleu à rouge), intervalle de confiance à 95% (IC) de l'EQR (obtenu par bootstrap), répartition en pourcentage des résultats du bootstrap selon les 5 classes de qualité (confiance), tendance d'évolution des concentrations (obtenue par le test de Mann Kendall) et années particulières de la période 2015-2020 (obtenues par le test de Kruskal-Wallis). En grisé, nombre de données inférieur à 18.

CodeMasse	Nom de la masse d'eau	Indice de biomasse du phytoplancton (EQR <sub>8</sub> )								Abondance de nanophytoplancton					ndance de picophytopla	Indice d'a	abondance	e du phytopland	Indice phytoplancton (EQR <sub>PHY</sub> )				
Eau		Nombre de valeurs	Chl-a (µg/L)	EQR	IC de l'EQR	Confiance	Tendance monotone (Mann Kendall)	Années particulières (Kruskal-Wallis)	P90 (10 <sup>6</sup> cell/L)	EQR	Tendance monotone (Mann Kendall)	Années particulières (Kruskal-Wallis)	P90 (10 <sup>6</sup> cell/L)	EQR	Tendance monotone (Mann Kendall)	Années particulières (Kruskal-Wallis)	Nombre de valeurs	EQR	IC de l'EQR	Confiance	EQR	IC de l'EQR	Confiance
FRDT01	Canet	18	12.6	0.26	[0.16;0.42]	0-1-18-75-6	Pas de tendance	ab <u>a</u> b ab ab <u>a</u> (valeurs de <u>2016 et</u> <u>2020</u> supérieures à celles de 2017)	36.3	0.08	Pas de tendance	aaaaaa	369.4	0.04	Pas de tendance	ab <u>a</u> b ab <u>a</u> ab (valeurs de <u>2016 et</u> <u>2019</u> supérieures à celles de 2017)	18	0.04	[0;0.19]	0-0-5-54-41	0.15	[0.09;0.26]	0-0-4-85-11
FRDT03	La Palme	18	1.7	1	[1;1]	100-0-0-0-0	Tendance à l'augmentation (0.19 μg/L par an)	<b>b b</b> <u>a a a a</u> (valeurs de <u>2017 à 2020</u> supérieures à celles de 2015 et 2016)	1.5	1	Pas de tendance	ab <b>c bc</b> ab <u>a</u> <b>c</b> (valeurs de <u>2019</u> supérieures à celles de 2016, 2017 et 2020)	30	0.5	Pas de tendance	d cd ab <u>a</u> abc bc (valeurs de <u>2018</u> supérieures à celles de 2015, 2016 et 2020)	18	0.5	[0.21;1]	31-50-19-0-0	0.75	[0.6;1]	69-31-0-0-0
FRDT04	Bages - Sigean	18	2.6	1	[1;1]	100-0-0-0-0	Pas de tendance	ab ab <b>b</b> <u>a</u> <b>b</b> <u>a</u> (valeurs de <u>2018 et</u> <u>2020</u> supérieures à celles de 2017 et 2019)	9.5	0.32	Pas de tendance	a a a a a a	80	0.19	Pas de tendance	<b>b</b> ab ab <u>a</u> <b>b</b> ab (valeurs de <u>2018</u> supérieures à celles de 2015 et 2019)	18	0.19	[0.11;0.29]	0-2-92-6-0	0.59	[0.56;0.64]	0-100-0-0-0
FRDT05a	Ayrolle	18	0.8	1	[1;1]	100-0-0-0-0	Pas de tendance	a a a a a a	1.9	1	Pas de tendance	<u>a</u> bc bc ab c bc (valeurs de <u>2015</u> supérieures à celles de 2016, 2017, 2019 et 2020)	2.4	1	Pas de tendance	<b>b</b> ab ab ab <u>a</u> ab (valeurs de <u>2019</u> supérieures à celles de 2015)	18	1	[0.87;1]	100-0-0-0-0	1	[0.94;1]	100-0-0-0-0
FRDT10	Thau	18	2.5	1	[0.74;1]	100-0-0-0-0	Pas de tendance	a a a a a a	5.6	0.54	Pas de tendance	a a a a a a	26.6	0.56	Pas de tendance	<b>b</b> ab ab ab <u>a</u> <b>b</b> (valeurs de <u>2019</u> supérieures à celles de 2015 et 2020)	18	0.54	[0.2;0.76]	3-89-7-0-0	0.77	[0.6;0.88]	72-28-0-0-0
FRDT11a	Or	18	48	0.07	[0.03;0.09]	0-0-0-0-100	Pas de tendance	c <u>a ab b ab</u> c (valeurs de <u>2016 à 2019</u> supérieures à celles de 2015 et 2020)	6.5	0.46	Pas de tendance	<b>b</b> ab ab <u>a</u> ab <b>b</b> (valeurs de <u>2018</u> supérieures à celles de 2015 et 2020)	2793.2	0.01	Pas de tendance	c ab ab b <u>a</u> c (valeurs de <u>2019</u> supérieures à celles de 2015, 2018 et 2020)	18	0.01	[0;0.01]	0-0-0-0-100	0.04	[0.02;0.05]	0-0-0-0-100
FRDT11b	Palavasiens Est	18	31.7	0.11	[0.09;0.29]	0-0-1-20-80	Pas de tendance	a a a a a a	12.1	0.25	Pas de tendance	aaaaaa	747.5	0.02	Pas de tendance	c <u>a</u> abc <u>a</u> ab <b>bc</b> (valeurs de <u>2016 et</u> <u>2018</u> supérieures à celles de 2015 et 2020)	18	0.02	[0;0.12]	0-0-0-34-66	0.06	[0.05;0.16]	0-0-0-29-71
FRDT11c	Palavasiens Ouest	18	7	0.48	[0.25;0.67]	2-41-52-5-0	Pas de tendance	a a a a a a	7.5	0.4	Pas de tendance	<u>a</u> b <u>a</u> ab ab b (valeurs de <u>2015 et</u> <u>2017</u> supérieures à celles de 2017 et 2020)	85.3	0.18	Pas de tendance	aaaaaa	18	0.18	[0.08;0.59]	0-26-39-36-0	0.33	[0.19;0.54]	0-25-68-7-0
FRDT15a	Berre Grand Etang	17	6.1	0.55	[0.34;0.59]	0-77-23-0-0	Pas de tendance	a a a a a a	9.9	0.3	Pas de tendance	ab <b>a b b</b> ab ab (valeurs de <u>2016</u> supérieures à celles de 2017 et 2018)	28.5	0.53	Pas de tendance	a a a a a a	17	0.3	[0.17;0.43]	0-55-45-0-0	0.42	[0.31;0.5]	0-75-25-0-0
FRET01	Biguglia	18	9.4	0.35	[0.17;0.57]	2-27-34-38-0	Pas de tendance	<u>a</u> bc <u>a</u> ab c ab (valeurs de <u>2015 et</u> <u>2017</u> supérieures à celles de 2016 et 2019)	22.8	0.13	Pas de tendance	aaaaaa	28.7	0.52	Pas de tendance	<u>a</u> bc bc c ab bc (valeurs de <u>2015</u> supérieures à celles 2016, 2017, 2018 et 2020)	18	0.13	[0.06;0.51]	0-13-26-60-0	0.24	[0.15;0.5]	0-14-52-34-0

