

OBSLAG 2022 - volet eutrophisation

Etat de la colonne d'eau et du phytoplancton des lagunes méditerranéennes (2017-2022). Indicateurs de tendance et de confiance



Vue sur l'étang de Bages-Sigean (2015) © Anais Crottier, Ifremer.

Avec le soutien de :



Fiche documentaire

<p>Titre du rapport : OBSLAG 2022 - volet eutrophisation. Etat de la colonne d'eau et du phytoplancton des lagunes méditerranéennes (2017-2022). Indicateurs de tendance et de confiance</p>	
<p>Référence rapport : ODE/UL/LER-LR/23.07</p> <p>Diffusion : xLibre (internet)</p> <p>Restreinte (intranet) – date de levée d'embargo : AAAA/MM/JJ</p> <p>Interdite (confidentielle) – date de levée de confidentialité : AAAA/MM/JJ</p>	<p>Date de publication : Août 2023</p> <p>Version : 1.0.0</p> <p>Référence de l'illustration de couverture Crédit photo : Anaïs Crottier, Ifremer.</p> <p>Langue(s) : français</p>
<p>Résumé/Abstract :</p> <p>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 dans le cadre du volet "eutrophisation" d'OBSLAG, répondant aux objectifs suivants :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) réaliser un suivi estival en 2022 du phytoplancton et de la physico-chimie de l'eau et évaluer l'état DCE de ces compartiments pour la période 2017-2022 sur les 10 masses d'eau lagunaires OBSLAG, 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 confiance associée aux indicateurs de l'état du phytoplancton et de la colonne d'eau, compartiments les plus réactifs des écosystèmes lagunaires. <p>Les suivis réalisés au cours de l'été 2022 sur les 10 masses d'eau lagunaires ont montré que le bon état DCE est atteint pour la période 2017-2022 pour 6 masses d'eau en ce qui concerne l'élément de qualité "physico-chimie de l'eau" et pour 5 masses d'eau en ce qui concerne l'élément de qualité "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 des pertes de classes de qualité (La Palme en état "mauvais" pour l'eau et en état "bon" pour le phytoplancton) pour la période 2017-2022 par rapport à la période 2015-2020. Deux masses d'eau affichent des gains de classe de qualité (les Palavasiens-Est en état "moyen" pour l'eau et en état "mediocre" pour le phytoplancton et Biguglia en état "mediocre" pour le phytoplancton).</p> <p>L'application de méthodes statistiques adaptées (bootstrap, tests de Mann Kendall et de Kruskal-Wallis) sur les données acquises de 2017 à 2022 ont permis :</p> <ul style="list-style-type: none"> • d'évaluer la confiance accompagnant les indicateurs d'état des masses d'eau, • de mettre en évidence une tendance à l'augmentation au cours de la période 2017-2022 des concentrations en nutriments sur une masse d'eau (La Palme) et une tendance à la diminution sur deux masses d'eau (Canet et Or), • de mettre en évidence une tendance à l'augmentation au cours de la période 2017-2022 de la biomasse de phytoplancton sur une masse d'eau (Or) et de l'abondance du phytoplancton sur trois masses d'eau (La Palme, Bages-Sigean et Palavasiens-Ouest). <p>Les indicateurs fournis permettent ainsi de détecter des changements de façon plus fine que les classes de qualité DCE et d'attirer l'attention sur des nouveaux signes de dégradation ou de restauration de l'état des lagunes.</p>	
<p>Mots-clés : Directive Cadre sur l'Eau (DCE), lagunes, masses d'eau de transition, eutrophisation, phytoplancton, confiance, précision, tendance.</p>	
<p>Comment citer ce document : Derolez V., Bec B., Cimiterra N., Munaron D., Foucault E., Messiaen G., Hatey E., Malet N. (2023). OBSLAG 2022 - volet eutrophisation. Etat de la colonne d'eau et du phytoplancton des lagunes méditerranéennes (2017-2022). Indicateurs de tendance et de confiance. 100 p.</p>	
<p>Disponibilité des données de la recherche : Données bancarisées dans Q², accessibles via le portail SURVAL (https://surval.ifremer.fr/ ; programme RSLHYD).</p>	
<p>DOI : https://doi.org/10.13155/95650</p>	

Commanditaire du rapport : AERMC Montpellier	
Nom / références du contrat : PROJET OBSLAG : Suivi des lagunes des bassins Rhône-Méditerranée et de Corse 2022-2023 / Convention n°21/1002385 Rapport intermédiaire xRapport Final de contrat	
Projets dans lesquels ce rapport s'inscrit : OBServatoire des LAGunes (OBSLAG) : Suivi des lagunes du bassin RMC	
Auteur(s) / adresse mail	Affiliation / Direction / Service
Valérie DEROLEZ ¹ , valerie.derolez@ifremer.fr	1) Ifremer ODE/UL/LERLR (Laboratoire Environnement Ressources d'Occitanie), Sète – MARBEC, Univ. Montpellier, Ifremer, IRD, CNRS 2) Université de Montpellier – MARBEC, Univ. Montpellier, Ifremer, IRD, CNRS 3) Ifremer ODE/VIGIES, Nantes 4) Ifremer ODE/UL/LERPAC-Co (Laboratoire Environnement Ressources Provence-Alpes-Côte d'Azur et Corse) 5) AERMC, délégation de Montpellier
Béatrice BEC ² , beatrice.bec@umontpellier.fr	
Nicolas CIMITERRA ¹ nicolas.cimiterra@ifremer.fr	
Dominique MUNARON ¹ dominique.munaron@ifremer.fr	
Elodie FOUCAULT ¹	
Grégory MESSIAEN ¹	
Elise HATEY ²	
Nathalie MALET ⁴	
Sincères remerciements aux autres contributeurs de cette étude (ordre alphabétique) : Coralie CONNES ⁴ , Emeric GAUTIER ³ , Anaïs GIRAUD ⁵ , Ophélie SERAIS ¹ , Dominique SOUDANT ³ Remerciements également à : 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.	
Validé par : Yannick GUEGUEN ¹	

Sommaire

1	Contexte et objectifs	7
1.1	La mise en œuvre de la DCE dans les lagunes méditerranéennes	7
1.2	Objectifs de l'étude	8
2	Matériel et méthodes.....	10
2.1	Objectifs 1 - Diagnostic de l'état DCE des éléments de qualité « physico-chimie de l'eau » et « phytoplancton »	10
2.1.1	Stations et périodes suivies	10
2.1.2	Protocoles de prélèvements et d'analyses.....	11
2.1.3	Evaluations des états DCE.....	12
a)	Agrégation spatiale et temporelle des données	12
b)	Etat physico-chimique de l'eau	12
c)	Etat du phytoplancton	12
2.1.4	Conditions météorologiques	13
2.2	Objectif 2 – Application d'indicateurs de variabilité et de tendance de l'état DCE des éléments de qualité « physico-chimie de l'eau » et « phytoplancton »	14
2.2.1	Définitions.....	14
a)	Variabilité, confiance et précision	14
b)	Sensibilité et tendances.....	14
2.2.2	Méthodes.....	14
a)	Indicateurs de confiance	14
b)	Mise en évidence de tendances et d'années particulières	15
2.2.3	Présentation des fiches par masse d'eau	16
3	Conditions météorologiques et variables hydrologiques (période 2017-2022)	18
3.1	Températures de l'air	18
3.2	Précipitations.....	19
3.3	Variables hydrologiques	21
4	Etat DCE 2017-2022 des éléments de qualité « physico-chimie de l'eau » et « phytoplancton »	22
5	Conclusions et perspectives	67
6	Bibliographie.....	71
7	Annexes	74
7.1	Méthode pour le calcul du percentile 90 intervenant dans le calcul des indicateurs de l'état de la physico-chimie de l'eau et du phytoplancton	74
7.2	Méthode du bootstrap appliquée pour le calcul des intervalles de confiance (Soudant, 2008)	74

7.3	Tests de Mann Kendall et de Kruskal-Wallis	75
7.4	Etats DCE 2017-2022 des compartiments « physico-chimie de l'eau » et « phytoplancton » et indicateurs de variabilité et de tendance.	76
7.5	Résultats des suivis des compartiments « physico-chimie de l'eau » et « phytoplancton » pour les stations hydrologiques complémentaires.....	78
7.6	Evolution des paramètres hydrologiques et des nutriments dissous sur la période 2017-2022.	90

1 Contexte et objectifs

1.1 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 ; Herlory *et al.*, 2022). 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 hydro-morphologiques 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) :

$EQR = \text{valeur de l'indicateur dans les conditions de référence} / \text{valeur de l'indicateur mesuré}$.

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.**

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 physico-chimie, 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.

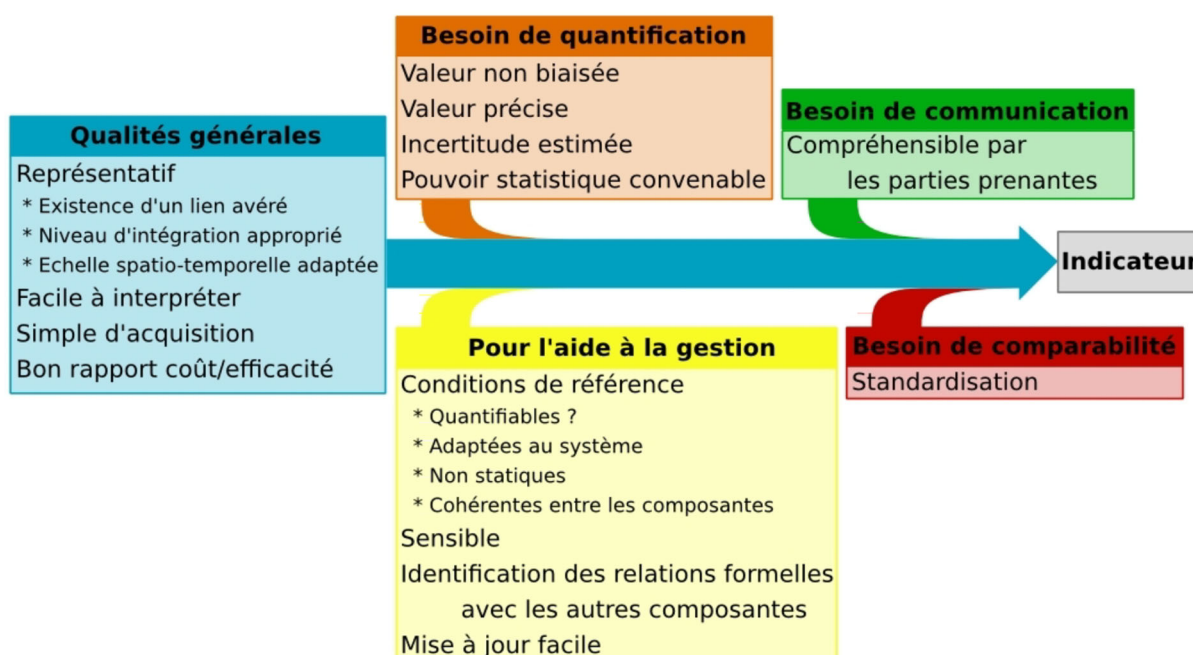


Figure 2. Qualités attendues d'un indicateur (Brun et Soudant, 2015).

1.2 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 2022 dans le cadre du volet « eutrophisation » répondant aux objectifs suivants :

(1) **réaliser un suivi estival en 2022 de l'état DCE des deux éléments de qualité « physico-chimie de l'eau » et « phytoplancton » pour la période 2017-2022 et 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 des éléments de qualité « physico-chimie de l'eau » et « phytoplancton », éléments les plus réactifs des écosystèmes lagunaires.

2 Matériel et méthodes

2.1 Objectifs 1 - Diagnostic de l'état DCE des éléments de qualité « physico-chimie de l'eau » et « phytoplancton »

2.1.1 Stations et périodes suivies

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 des deux éléments de qualité « physico-chimie de l'eau » et « phytoplancton ».

Tableau 1. Stations hydrologiques suivies en 2022 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 DCE	Lagune	Stations hydrologiques suivies
FRDT01	Canet	CNS
FRDT03	La Palme	LAP
FRDT04	Bages-Sigean	BGN, BGS
FRDT05a	Ayrolle	AYR
FRDT10	Thau	TES, TWS, <i>TPE, TEF, TWF, TANG</i>
FRDT11c Palavasiens-Ouest	Ingril	INN
	Vic	VIC
FRDT11b Palavasiens-Est	Prévoist	PRE
	Méjean	MEW
	Grec	<i>GRC</i>
FRDT11a	Or	ORE, ORW
FRDT15a	Berre	BES, <i>BEF</i>
FRET01	Biguglia	BIN, BIS

Les diagnostics DCE des éléments de qualité « physico-chimie de l'eau » et « 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 éléments de qualité « physico-chimie de l'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 2017 à 2022. Outre les données acquises dans le cadre de cette étude lors de l'été 2022, les diagnostics s'appuient donc sur les données :

- des campagnes de diagnostic DCE de 2017, 2019 et 2021 (Bouchoucha *et al.*, 2019 ; Herlory *et al.*, 2022) ;
- des suivis estivaux des lagunes effectués en 2018 et 2020 dans le cadre du projet OBSLAG (Derolez *et al.*, 2019, 2021).

2.1.2 Protocoles de prélèvements et d'analyses

Les suivis de la physico-chimie de l'eau et du phytoplancton ont été effectués selon les protocoles décrits dans les études de Baehr *et al.* (2013) et David *et al.* (2019). 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 (Nt), phosphore total (Pt), 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_4^{3-}), 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 d'eau ont été réalisés en grande partie par les laboratoires Ifremer LER/LR et le LER/PAC, avec un soutien des structures de gestion des lagunes. Les analyses de nutriments dans les eaux - azote total (NT), phosphore total (PT), azote inorganique dissout (NID, qui regroupe les nitrites, les nitrates et l'ammonium) et orthophosphates (PO_4^{3-}), sont réalisées par le LER/LR, accrédité par le COFRAC¹ depuis le 21/01/2014. Les analyses de chlorophylle *a* et d'abondance de pico- et nano-phytoplancton sont réalisées par l'Université de Montpellier. Les méthodes d'analyses sont détaillées dans la publication de David *et al.* (2019). Chaque prélèvement est accompagné de mesures *in situ* de température, salinité et oxygène dissous.

Les données sont saisies dans la base Quadrige² et accessibles à tous via le site web Surval². Les résultats obtenus sur les 10 masses d'eau lagunaires poly-euhalines sont interprétés selon les grilles DCE décrites dans le paragraphe ci-dessous (§ 2.1.3). Les données sont également saisies dans la base MEDTRIX³.

¹ Accréditation n° 1-1655, portée disponible sur www.cofrac.fr.

² https://envlit.ifremer.fr/resultats/acces_aux_donnees/presentation, sélectionner le Programme « RSLHYD : Réseau de Suivi des Lagunes méditerranéennes Hydrologie et phytoplancton »

³ https://medtrix.fr/portfolio_page/obsлаг/

2.1.3 Evaluations des états DCE

Le diagnostic de l'état des 10 masses d'eau, comprenant les deux éléments de qualité « physico-chimie de l'eau » et « 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).

Les indicateurs, métriques et paramètres des éléments de qualité sont calculés pour chaque masse d'eau lagunaire, après agrégation spatiale et temporelle des données.

a) Agrégation spatiale et temporelle des données

Pour chaque paramètre, une agrégation spatiale et temporelle des données est réalisée (MTES, 2018a, 2018b et 2018c) :

- **agrégation spatiale** : dans le cas des masses d'eau suivies sur plusieurs stations, les données de chaque paramètre/métrique sont agrégées en prenant chaque mois d'été 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/métriques, une agrégation temporelle des données est effectuée. La donnée prise en compte pour chacun des paramètres/métriques 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 2017 à 2022. Au contraire de la valeur maximale, le P90 - en-dessous duquel se trouvent au moins 90% des valeurs du jeu de données (voir Annexe 7.1) - permet d'en ôter les valeurs extrêmes qui pourraient être dues à des dégradations très ponctuelles.

b) Etat physico-chimique de l'eau

Le diagnostic de l'état de l'élément de qualité « physico-chimie de l'eau » des masses d'eau lagunaires est établi à partir d'une grille à 4 paramètres : Nt, Pt, NID et PO_4^{3-} . La grille de diagnostic ci-dessous est utilisée (Tableau 2), en retenant l'état le plus déclassant des P90 des 4 paramètres suivis (MTES, 2018a, 2018b et 2018c).

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

Paramètre	Unité	Etat				
		Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
$[PO_4^{3-}]$	$\mu\text{mol} / \text{l}$	0,3	1	1,5	4	
[NID]	$\mu\text{mol} / \text{l}$	2	6	10	20	
[NT]	$\mu\text{mol} / \text{l}$	50	75	100	120	
[PT]	$\mu\text{mol} / \text{l}$	2	3	4	5	

c) Etat du phytoplancton

En tant qu'élément de qualité de l'état biologique DCE, le compartiment « phytoplancton » est évalué à l'aide des deux métriques suivantes :

- **biomasse phytoplanctonique** (concentration de chlorophylle a en $\mu\text{g}/\text{L}$),
- **abondance phytoplanctonique** (millions de cellules/L), composée de deux paramètres :

- abondance de nanophytoplancton (diamètre > 3 µm),
- abondance de picophytoplancton (diamètre < 3 µm).

La valeur de chaque métrique ou paramètre est transformée en valeur de ratio écologique de qualité (EQR) (en relativisant le P90 de la période de diagnostic par rapport à la valeur de référence), puis une intégration des métriques est effectuée pour obtenir l'état du phytoplancton de la masse d'eau :

- la métrique d'abondance (EQR_A) est obtenue en retenant le minimum des EQR des densités de nano- et de pico-phytoplancton,
- l'état du « phytoplancton » (EQR_{PHY}) est obtenu en retenant la moyenne des métriques d' « abondance » (EQR_A) et de « biomasse » (EQR_B) (Tableau 3) (MTES, 2018a et 2018c).

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

(a)		Très bon		Bon		Moyen		Médiocre		Mauvais	Référence
abondance (nb cell. / L (x10 ⁶))	picophytoplancton		20		50		100		500		15
	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
EQR _A abondance	picophytoplancton		0.75		0.3		0.15		0.03	
	nanophytoplancton		0.75		0.3		0.15		0.03	
EQR _B biomasse			0.67		0.48		0.33		0.17	
EQR _{PHY}			0.71		0.39		0.24		0.10	

NB : Les composantes pico- et nano-phytoplanctoniques (tailles respectivement inférieures à 3 µm et comprises entre 3 et 20 µm) 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 µm).

2.1.4 Conditions météorologiques

Afin d'analyser les résultats des suivis estivaux de 2017 à 2022 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.

2.2 Objectif 2 – Application d’indicateurs de variabilité et de tendance de l’état DCE des éléments de qualité « physico-chimie de l’eau » et « phytoplancton »

2.2.1 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 :

$IC95\% = [M - p ; M + p]$; 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).

2.2.2 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). Ces méthodes sont appliquées : *i*) aux P90 des 4 paramètres suivis pour l’état physico-chimique de l’eau et *ii*) à l’indicateur d’état du phytoplancton et aux métriques de biomasse et d’abondance le composant.

a) Indicateurs de confiance

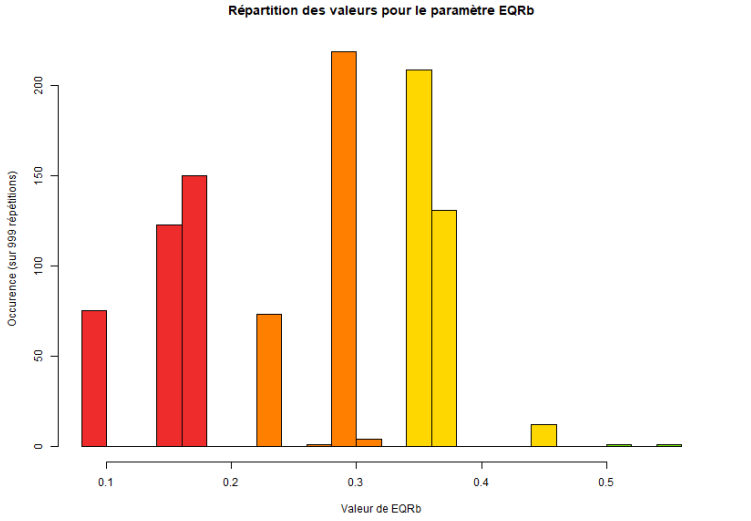
Les indicateurs des éléments de qualité « eau » et « phytoplancton » n’étant pas fondés sur des moyennes mais sur des percentiles 90 des valeurs estivales, les **intervalles de confiance (IC)** ne peuvent pas être calculés avec les méthodes classiques. Les intervalles de confiance sont donc calculés avec la méthode statistique du bootstrap non paramétrique (Soudant, 2008 ; Annexe 7.2).

L’approche par 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**, exprimé en pourcentage, au diagnostic fourni.

Exemple 1 : L’application du bootstrap aux données de biomasse phytoplanctonique (EQR_B) acquises sur la masse d’eau des Palavasiens-Est (FRDT11b) pour la période 2017-2022 permet d’illustrer les trois types d’informations qui sont obtenus par cette méthode (Tableau 4). La

valeur de l'EQR_B est de 0,29 et correspond à l'état médiocre (Tableau 3). Les 1000 échantillons issus du bootstrap définissent un intervalle de confiance à 95% qui s'étend de 0,1 (situé dans la classe d'état médiocre) à 0,37 (situé dans la classe de l'état moyen) (Tableau 4). L'histogramme de répartition illustre la gamme de valeurs prises par les 1000 EQR_B, allant également de l'état mauvais (rouge) à l'état moyen (jaune). La colonne « confiance » précise que ces valeurs sont réparties majoritairement dans la classe de l'état médiocre (45%) et dans la classe de l'état moyen (35%), moins fréquemment dans la classe de l'état mauvais (20%), et absentes des classes d'état bon et très bon. Ainsi, le bootstrap indique que l'état médiocre attribué à l'EQR de biomasse phytoplanctonique est assorti d'une confiance modérée (45%), un pourcentage important des données brutes (55%) prenant des valeurs de la classe de l'état moyen à la classe du mauvais état.

Tableau 4. EQR et état DCE de la biomasse phytoplanctonique des étangs Palavasiens-Est (FRDT11b) pour la période 2017-2022. 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_B obtenues par bootstrap.

EQR _B	Histogramme de répartition des valeurs de l'EQR _B	Confiance en % (très bon-bon-moyen-médiocre-mauvais). En gras et surligné : classe dominante	Intervalle de confiance de l'EQR
0,29	<p style="text-align: center;">Répartition des valeurs pour le paramètre EQR_B</p> 	0-0-35- 45 -20	[0,1 ; 0,37]

b) Mise en évidence de tendances et d'années particulières

Les tendances interannuelles ont été identifiées au moyen des tests statistiques non paramétriques de Mann Kendall et de Kruskal-Wallis (voir détails en Annexe 7.3).

Le test de Mann Kendall permet d'identifier si **une tendance monotone, c'est-à-dire continûment croissante ou décroissante**, est présente au sein d'un jeu de donnée. Sur les tableaux récapitulatif les résultats, la tendance (augmentation, diminution ou pas de tendance) est indiquée, avec le cas échéant **le niveau moyen annuel d'augmentation ou de diminution**. Il est important de noter que le test de Mann Kendall s'appuie sur les données passées et n'a pas de pouvoir prédictif. Par ailleurs, ce test n'est en mesure de détecter que des tendances monotones. Ainsi, il ne permet

pas d'identifier de tendance en cas de rupture dans le jeu de données, par exemple plusieurs années de croissance suivies d'une décroissance ou inversement.

Le test de Kruskal-Wallis, complété par le test post-hoc de Dunn, permettent de **comparer les données des différentes années des périodes de diagnostic afin d'identifier celles pour lesquelles les valeurs des indicateurs ou métriques/paramètres sont significativement différentes des autres**. Les résultats sont fournis sous la forme de lettres attribuées à chaque année de la période de diagnostic. Si deux années possèdent une lettre différente, cela signifie que les valeurs de l'indicateur pour ces deux années sont significativement différentes.

Exemple 2 : L'application des tests de Mann Kendall et de Kruskal-Wallis aux données de biomasse phytoplanctonique (EQRB) 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 µg/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 : **a**, **b**, **b**, ab, **b** et **b**. Les valeurs des années 2002, 2003, 2005 et 2006, regroupées sous la même lettre b, ne sont donc pas significativement différentes. En revanche, elles sont différentes des valeurs de l'année 2001, qui se voit attribuer la lettre **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).

EQR biomasse (valeur de Chl-a en µg/L)	Tendance d'évolution de la chlorophylle-a : → pas de tendance ↑ en hausse ↓ en baisse	Années particulières (années 2001 à 2006 de la période d'évaluation). En gras années avec des valeurs inférieures ; en gras surligné années avec des valeurs supérieures.
0,13 (24,8)	↓ -1.6 µg/L par an	a b b ab b b (valeurs de 2001 supérieures à celles de 2002, 2003, 2005 et 2006)

2.2.3 Présentation des fiches par masse d'eau

Les résultats des diagnostics de l'état des éléments de qualité « physico-chimie de l'eau » et « phytoplancton » sont présentés sous forme de fiche pour chacune des 10 masses d'eau (partie 4). Pour chaque masse d'eau, les informations suivantes sont données pour qualifier l'état et l'évolution des éléments de qualité « physico-chimie de l'eau » et « phytoplancton » au cours de la période 2017-2022 :

- **N** : nombre de valeurs disponibles pour le calcul de l'indicateur, sur la période 2017 à 2022 ($N_{\max}=18$) ;
- **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'élément de qualité « physico-chimie de l'eau » : « P90 et état » : résultat du calcul du percentile 90 en $\mu\text{mol/L}$ (μM) pour chacun des 4 paramètres : NID et PO_4^{3-} , Nt et Pt ;
- pour l'élément de qualité « 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 » ;
- **Confiance** : pourcentage de valeurs de l'indice (1000 valeurs P90 ou EQR) réparties selon les 5 classes de qualité (cf. § 2.2.2.a) ;
- **Tendance** : une flèche de couleur indique si une tendance monotone croissante (flèche rouge) ou décroissante (flèche verte) au sein de la période 2017-2022 est significative selon le test de Mann Kendall (cf. § 2.2.2.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 physico-chimie de l'eau »** 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 2017 à 2022, 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 de qualité (Figure 3).

NB : l'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. § 2.2.2.a), apporte une information complémentaire à celle de la confiance associée à la classe de qualité. En effet, l'IC rend compte de l'étendue de la gamme de valeurs prises par chaque indice. Afin de concilier la quantité et la précision des informations contenues dans les fiches OBSLAG, cet indicateur, moins facilement interprétable que les pourcentages de confiance, est désormais disponible uniquement en annexe 7.4, mais complété d'un code couleurs pour en faciliter la lecture (Derolez et Cimiterra, 2023).

- Le cas échéant, un encart listant les points de vigilance (**positifs** et/ou **négatifs**) soulevés par les indicateurs de confiance et de tendance est ajouté, afin de mettre en lumière les informations complémentaires qu'ils apportent sur l'évolution des éléments de qualité.

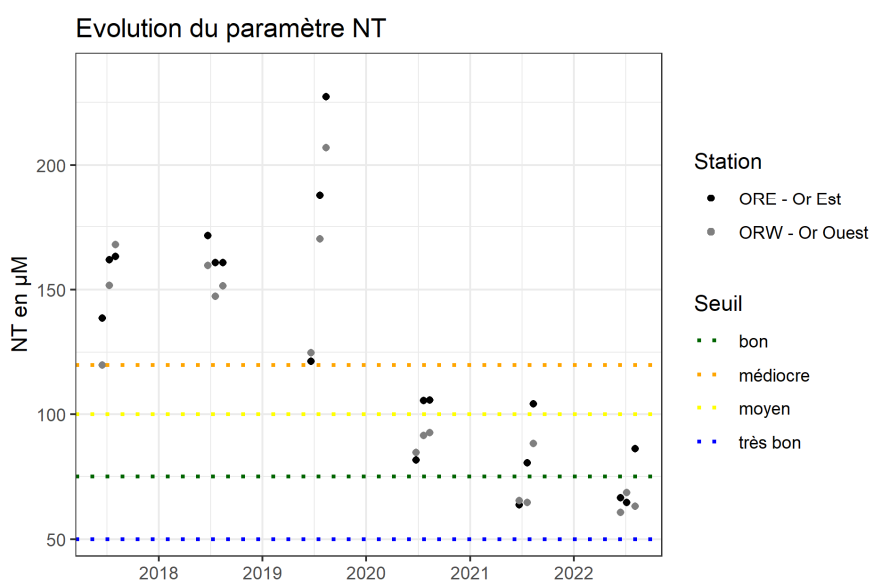


Figure 3. Concentrations en NT (en μM) des étés 2017 à 2022 à l'Or.

3 Conditions météorologiques et variables hydrologiques (période 2017-2022)

Les données météorologiques acquises au cours de la période de diagnostic de 2017 à 2022, au niveau des stations Météo-France d’Aigues-Mortes, Arles, Bastia, Leucate, Montpellier, Narbonne, Perpignan et Sète sont représentées sur les Figures 4 à 6.

Selon Météo-France, l’année 2022 est l’année la plus chaude jamais enregistrée en France depuis le début du XX^e siècle. 2022 est qualifiée d’ « année hors normes, exceptionnellement chaude, ensoleillée et peu arrosée » (Météo-France, 2023).

3.1 Températures de l’air

En Méditerranée, les moyennes mensuelles des températures de l’année 2022 ont été particulièrement élevées de mai à août, ainsi qu’en octobre pour la partie continentale (Figure 4). Seules les températures des mois de janvier et mars-avril se positionnent dans la gamme moyenne des valeurs de la période de diagnostic.

Au niveau des 8 stations suivies pour l’analyse des données OBSLAG, la température de l’air moyenne annuelle en 2022 s’étend de 16,4°C à Arles à 17,5°C à Perpignan, et atteint en moyenne 17°C, dépassant de 0,7°C la température moyenne de la période 2015 à 2020.

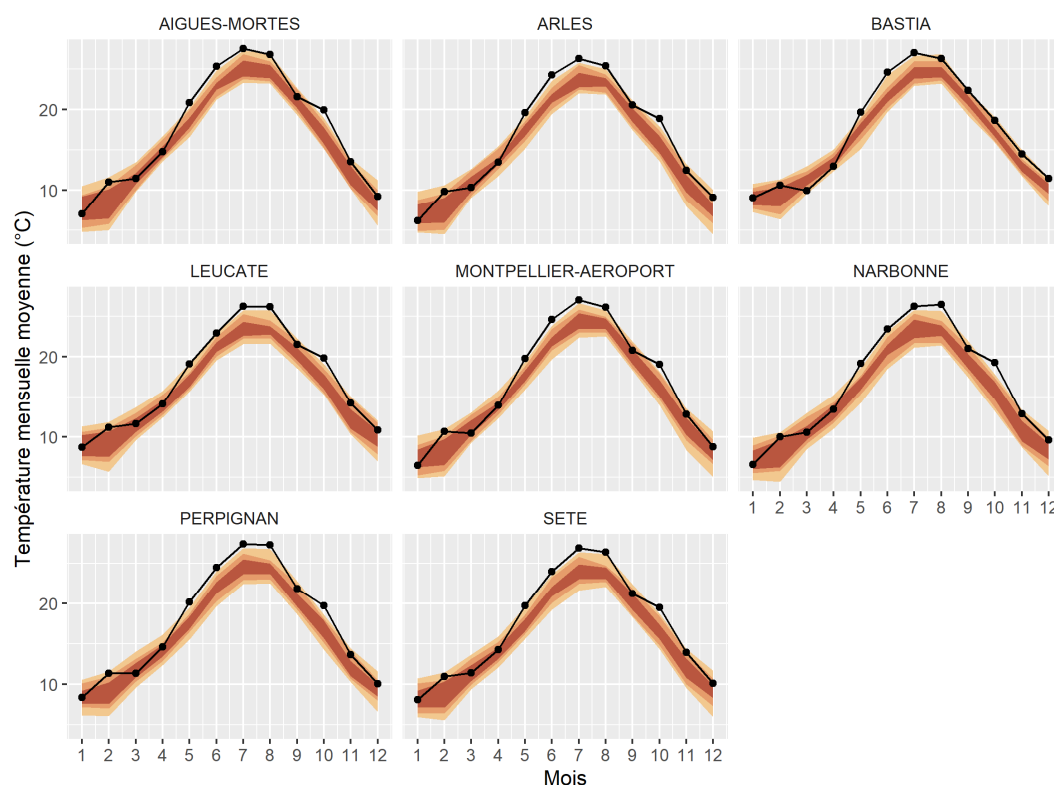


Figure 4. Températures mensuelles de l’année 2022 (courbe et points noirs) aux stations Météo-France d’Aigues-Mortes, Arles, Bastia, Leucate, Montpellier, Narbonne, Perpignan et Sète. Les zones colorées représentent la répartition des valeurs mensuelles des années 2017 à 2022 (en orange foncé : 50% des données, orange clair : 80% des données et orange très clair : 95% des données).

L'épisode de chaleur du mois de mai 2022 est exceptionnel par sa précocité, sa durée (8 jours du 15 au 23 mai) et son intensité (températures bien supérieures aux normales). Les températures moyennes mensuelles sur les 8 stations se situent entre 19,1°C à Leucate et 20,8°C à Aigues-Mortes (Figure 4). L'été 2022, au deuxième rang des étés les plus chauds observés en France depuis le début du XX^{ème} siècle, a été ponctué par trois vagues de chaleur intenses et remarquables : du 15 au 19 juin, du 12 au 25 juillet et du 31 juillet au 13 août. Si la sévérité cumulée des épisodes de l'été 2022 reste nettement inférieure à celle de l'été 2003, le total inédit de trente-trois jours de vagues de chaleur a été supérieur aux vingt-deux jours enregistrés en 2003 (Météo-France, 2023). A l'automne, on enregistre un épisode de chaleur inédit par son caractère tardif (15-31 octobre), sa durée (17 jours) et son intensité (~+3°C au-dessus de la normale⁴) (Météo-France, 2023).

3.2 Précipitations

En 2022, les cumuls annuels de précipitation se situent entre 266 mm à Leucate et 527 mm à Montpellier, en-dessous des cumuls de la période 2017-2022 (Figure 5) et de la période 2015-2020 (Derolez *et al.*, 2021). Les cumuls de précipitations ont été déficitaires⁴ de plus de 40% sur l'est de la région PACA, le Roussillon et le nord-est de la Corse (Météo-France, 2023). La période de diagnostic 2017-2022 se caractérise par 4 à 5 années très sèches par rapport aux normales.

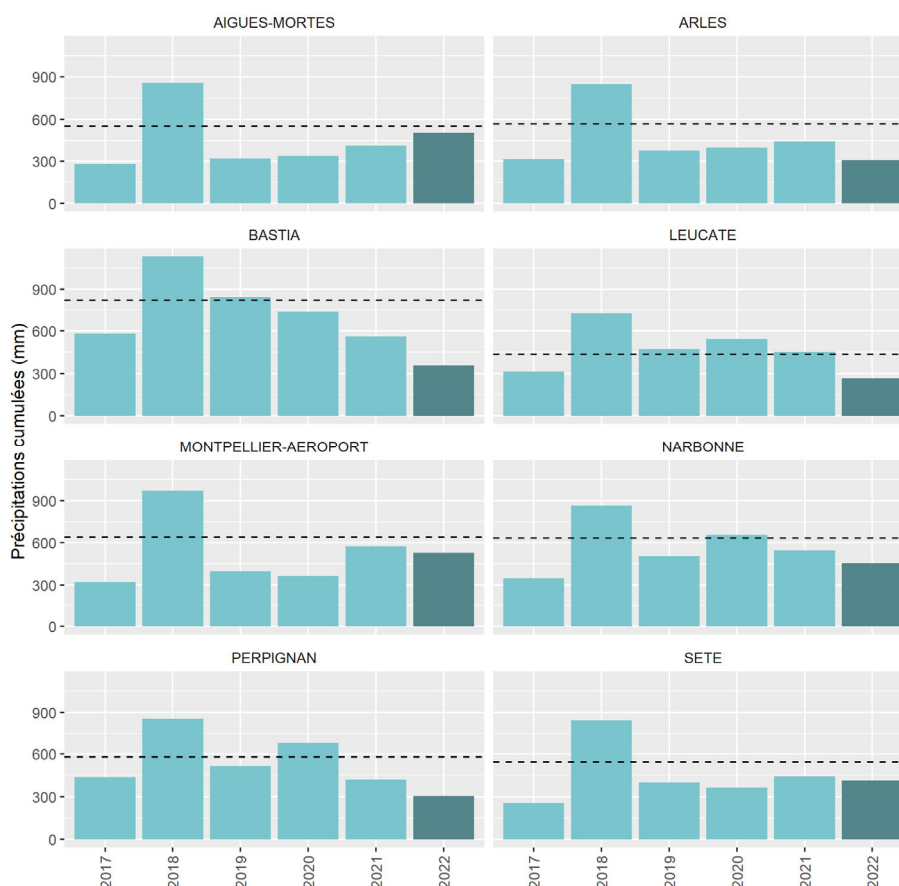


Figure 5. Cumuls annuels de précipitations des années 2017 à 2022 aux stations Météo France d'Aigues-Mortes, Arles, Bastia, Leucate, Montpellier, Narbonne, Perpignan et Sète. Le trait représente la moyenne de 2017 à 2022.

⁴ Comparaison avec la normale de la période 1991-2020.

L'année est marquée par la quasi-absence de précipitations significatives en janvier et février (Figure 6). Après un hiver peu arrosé, le déficit marqué de précipitations durant le printemps, associé à des températures très élevées en mai, a accentué l'assèchement des sols et provoqué une sécheresse précoce des sols superficiels qui s'est poursuivie durant l'été avec des niveaux records atteints fin juillet en région PACA, Corse, et Occitanie (Météo-France, 2023).

En revanche, un épisode méditerranéen, durable et atypique pour la saison printanière, a engendré des cumuls très importants au mois de mars (11 au 13 mars) au niveau des stations de Leucate et Perpignan (Figure 6), provoquant d'importantes inondations sur l'Aude et l'Hérault (Météo-France, 2023).

De la fin du printemps à l'automne, de nombreuses remontées très chaudes en provenance de Méditerranée et de la péninsule ibérique ont généré des supercellules orageuses souvent accompagnées de pluies intenses (Météo-France, 2023). Des cumuls excédentaires ont ainsi été enregistrés en août aux stations d'Aigues-Mortes, Arles, Montpellier et Sète.

Les épisodes pluvieux méditerranéens ont été peu fréquents et peu intenses durant l'automne. Avec des pluies quasi-absentes en octobre et déficitaires en novembre sur la plupart des stations (Figure 6), la combinaison du déficit pluviométrique et des températures remarquablement élevées pour la saison, a maintenu l'humidité des sols à un niveau particulièrement bas pour l'automne, en particulier en Occitanie (Météo-France, 2023).

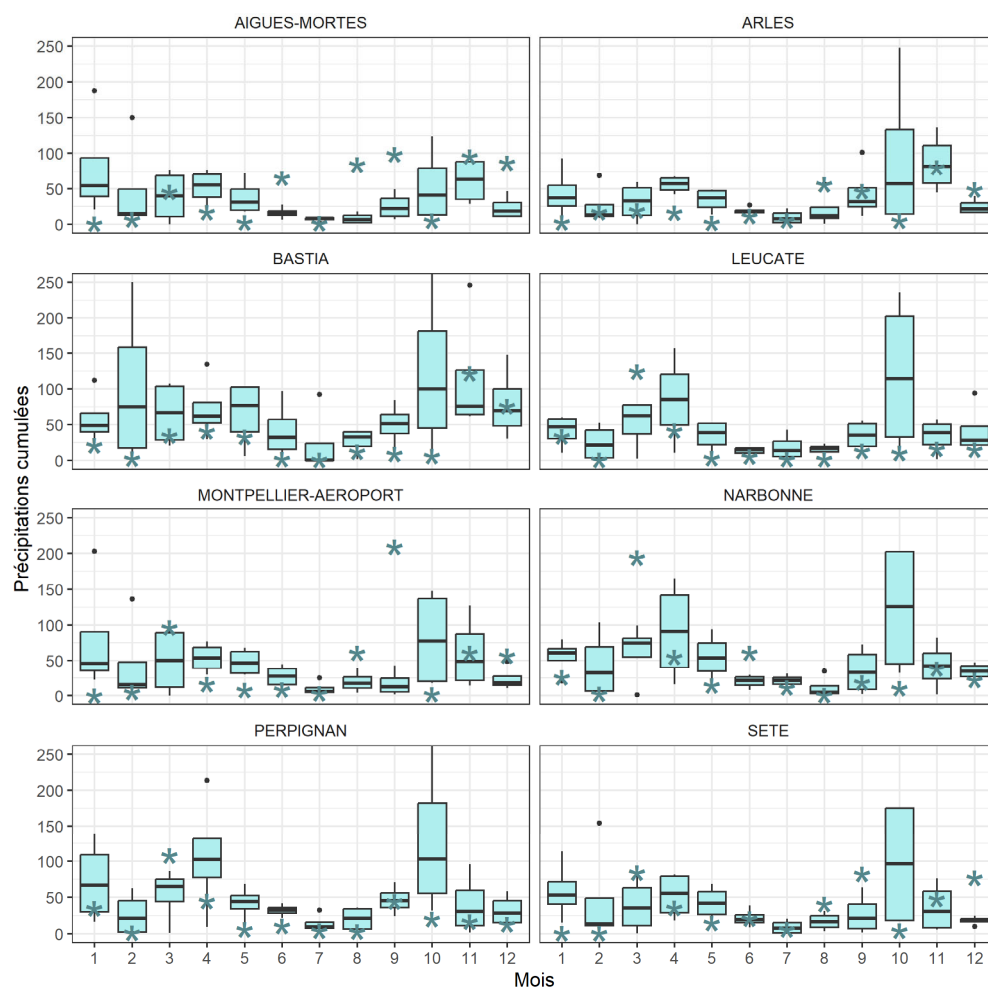


Figure 6. Cumuls mensuels de précipitations des années 2017 à 2012 aux stations Météo France d’Aigues-Mortes, Arles, Bastia, Leucate, Montpellier, Narbonne, Perpignan et Sète. Les étoiles bleu foncé représentent les valeurs mensuelles de l’année 2022.

3.3 Variables hydrologiques

L’évolution, au cours des été 2017 à 2022, des variables hydrologiques (température de l’eau, salinité et oxygène dissous) est disponible en Annexe 7.6 pour les stations OBSLAG.

Au cours de la période de diagnostic 2017-2022, les conditions météorologiques ont impacté l’hydrologie des lagunes OBSLAG lors des diagnostics estivaux. En particulier, les cumuls pluviométriques déficitaires de l’hiver et du printemps 2022 se sont répercutés sur les niveaux de salinité des lagunes lors de l’été 2022, avec une salinité moyenne de 34,1 contre des salinités de 26,2 (en 2018, année pluvieuse) à 34,3 (en 2019) les cinq années précédentes. On note également que les niveaux de salinité de la période 2017-2022 sont supérieurs à ceux de la période précédente (2015-2020), avec une médiane de 33,4 contre 31,4 précédemment. On observe des hausses marquées de salinité au cours de la période 2017-2022 sur plusieurs lagunes (Canet, Méjean-Ouest, Or, Vic) et des dépassements du seuil hyperhalin (40 PSU) au niveau de plusieurs stations (Ayrolle en 2019, Bages-sud et La Palme en 2019 et 2021, Canet en 2021 et 2022, Grec en 2019 et 2022, Ingril et Vic sur toute la période sauf en 2018, Méjean et Prévost en 2022, Thau en 2017, 2019, 2021 et 2022) (Annexe 7.6). Des valeurs extrêmes (> 45 PSU) sont relevées sur les lagunes de Canet (maximum 47 en 2022), Vic (maximum 48,9 en 2019) et de La Palme (53,4 en 2021).

Les épisodes de chaleur des étés 2018, 2019, et 2022 - et dans une moindre mesure des étés 2017 et 2020 - sont visibles sur les températures de l’eau des stations OBSLAG, avec des valeurs de surface supérieures à 29°C lors de plusieurs mesures mensuelles (en 2018 sur les stations, des Palavasiens, de Berre et la station TANG ; en 2019 sur les Palavasiens ; en 2022 sur les stations des Palavasiens, de la Palme, de Berre et la station TANG ; et les 5 étés sur Biguglia). Ces chaleurs ont impacté les niveaux d’oxygène mesurés dans l’eau au cours de la période 2017-2022, avec des conditions d’hypoxie (< 2 mg.L⁻¹ d’O₂) voire d’anoxie observées de 2018 à 2022 à la station de fond de Berre (BEF) et en 2018 aux stations de fond de Thau (TEF et TWF). En outre, des conditions de stress biologique (entre 2 et 5 mg.L⁻¹ d’O₂) ont été rencontrées au niveau d’1 station en 2017 (PRE), 3 en 2018, 8 stations en 2019, 10 stations en 2020, 2 stations en 2021 et 9 stations en 2022. Pour l’été 2022, ces observations concernent Thau dès le mois de juin (station TANG, complétée de TEF dès juillet puis de TWF et TPE en août), Biguglia-Nord et l’Ayrolle en juillet, puis les Palavasiens (stations INN, VIC et GRC) et La Palme au mois d’août.

4 Etat DCE 2017-2022 des éléments de qualité « physico-chimie de l'eau » et « phytoplancton »

Les résultats des diagnostics 2017-2022 de l'état des éléments de qualité « physico-chimie de l'eau » et « phytoplancton » sont présentés ci-après sous forme de « fiche » par masse d'eau (p. 26 à 65). 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 7.4. Les résultats des stations complémentaires suivies sur Thau, les Palavasiens-Est et sur Berre sont présentés en Annexe 7.5.

Le bilan des états DCE diagnostiqués pour la période 2017-2022 sur les 10 masses d'eau lagunaires méditerranéennes françaises est synthétisé dans le Tableau 6 et comparé aux diagnostics des périodes précédentes (2009-2014, 2011-2016, 2013-2018, 2015-2020 et 2017-2022).

Tableau 6. Etat DCE des éléments de qualité « physico-chimie de l'eau » (a) et « phytoplancton » (b), pour les périodes de diagnostic OBSLAG (2009-2014, 2011-2016, 2013-2018, 2015-2020 et **2017-2022**), des 10 masses d'eau lagunaires méditerranéennes du suivi. Les flèches indiquent qu'une tendance monotone à l'amélioration (↗) ou à la dégradation (↘) a été détectée au cours de la période de 6 ans, pour au moins une des métriques/paramètres de l'indicateur de la physico-chimie de l'eau ou du phytoplancton.

a) Physico-chimie de l'eau						
Code de la masse d'eau	Nom de la masse d'eau	2009-2014	2011-2016	2013-2018	2015-2020	2017-2022
FRDT 01	Canet		↗			↗
FRDT 03	La Palme	↗	↗	↘	↘	↘
FRDT 04	Bages-Sigean		↘			
FRDT 05a	Ayrolle			↘		
FRDT 10	Thau	↗	↗	↘	↘	
FRDT 11c	Palavasiens-Ouest	↘				
FRDT 11b	Palavasiens-Est	↘		↗	↗	
FRDT 11a	Or	↘				↗
FRDT 15a	Berre	↗		↗		
FRET 01	Biguglia	↗	↘	↘		

b) Phytoplancton						
Code de la masse d'eau	Nom de la masse d'eau	2009-2014	2011-2016	2013-2018	2015-2020	2017-2022
FRDT 01	Canet					
FRDT 03	La Palme	↗	↗		↘	↗
FRDT 04	Bages-Sigean		↘	↘		↗
FRDT 05a	Ayrolle					
FRDT 10	Thau	↗				
FRDT 11c	Palavasiens-Ouest	↘				↗
FRDT 11b	Palavasiens-Est	↘				
FRDT 11a	Or	↘				↗
FRDT 15a	Berre					
FRET 01	Biguglia	↗		↗		

Les diagnostics établis selon les grilles DCE pour les 10 masses d'eau poly-euhalines méditerranéennes pour la période 2017-2022 indiquent que **4 d'entre elles atteignent le bon état, voire le très bon état, pour les deux éléments de qualité « physico-chimie de l'eau » et « phytoplancton »** : Bages-Sigean, Ayrolle, Thau et Berre.

Concernant la **physico-chimie de l'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 La Palme) affichent un mauvais état de la physico-chimie de l'eau en 2017-2022. Pour les masses d'eau de Canet et de l'Or, cet état mauvais est conforme aux 4 précédents diagnostics OBSLAG (2009-2014, 2011-2016, 2013-2018 et 2015-2020), avec cependant une tendance à l'amélioration pour cette période 2017-2022 :

- sur l'Or, l'amélioration, encore jamais observée dans le cadre des diagnostics OBSLAG, résulte d'une nette diminution des teneurs en PO_4^{3-} , Nt et Pt (baisse significative pour les deux premiers paramètres), brutale à partir de 2020, suggérant une inflexion dans la trajectoire écologique de cette lagune (p. 54) ;
- sur Canet, l'amélioration s'explique par la baisse des teneurs en NID et Nt, qui passent en-dessous du seuil séparant les états moyens et bon. Les concentrations en paramètres phosphorés se maintiennent en revanche dans un état mauvais (p. 26).

Les Palavasiens-Est affichent, pour la première fois depuis le début des suivis de leur état vis-à-vis de l'eutrophisation en 2000 (RSL, DCE et OBSLAG), un état moyen pour la physico-chimie de l'eau et confirment la tendance à l'amélioration détectée pour les paramètres PO_4^{3-} et Pt lors des précédents diagnostics de 2013-2018 et 2015-2020. Seules les teneurs en NID sont encore au-dessus du seuil de l'état moyen. Les six dernières années, bien qu'inscrites dans une période relativement sèche, ont montré des périodes plus humides contrastées, qui suggèrent que les étangs Palavasiens-Est sont engagés dans une réelle dynamique de restauration, laquelle fournit aujourd'hui des résultats visibles au niveau des indicateurs de l'état vis-à-vis de l'eutrophisation.

Au contraire, l'étang de La Palme poursuit la tendance à la dégradation identifiée depuis la période 2013-2018 et dépasse pour la première fois le seuil de l'état mauvais pour ce diagnostic de 2017-2022. Les quatre paramètres physico-chimiques sont en hausse significative, avec les paramètres azotés au-dessus de l'état moyen. L'état mauvais, attribué par le NID, est dû à des pics d'ammonium qui se sont répétés en 2019, 2021 et 2022 et sont probablement associés à des dysfonctionnements de la station d'épuration des eaux usées (STEU) de La Palme (p. 30).

Comme pour les périodes précédentes, **les états diagnostiqués pour le phytoplancton sur la période 2017-2022 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). Deux masses d'eau affichent un gain d'une classe de qualité :

- les Palavasiens-Est qui passent de l'état mauvais à médiocre, grâce à une biomasse chlorophyllienne et des abondances de picophytoplancton moindres (p. 50) ;
- l'étang de Biguglia dont les abondances de nanophytoplancton sont inférieures à celles de la période 2015-2020, passe tout juste d'un état médiocre à un état moyen pour le diagnostic de 2017-2022 (EQR phytoplancton à 0,2 points du seuil moyen-médiocre) (p. 62).

Le phytoplancton de l'étang de La Palme est au contraire concerné par la perte d'une classe de qualité, due à des abondances phytoplanctoniques supérieures à celles de la période précédente. Cependant, l'état reste « Bon » et les abondances de picophytoplancton sont en baisse au cours

de la période de diagnostic 2017-2022 (p. 30). Trois autres masses d'eau affichent une tendance à l'amélioration pour les métriques du phytoplancton :

- l'étang de l'Or, pour lequel la biomasse chlorophyllienne est en baisse continue de 2017 à 2022, avec une chute brutale en 2020. Cette baisse drastique ($-6.5 \mu\text{g.L}^{-1}$ de chlorophylle *a* en 6 étés consécutifs) se répercute sur le paramètre Nt, également en diminution. Les métriques du phytoplancton demeurent cependant conformes à un état mauvais avec une biomasse chlorophyllienne et des abondances de picophytoplancton encore bien au-dessus du seuil médiocre-mauvais (p. 54) ;
- les Palavasiens-Ouest, concernés par une baisse significative des abondances de nanophytoplancton, se maintiennent en état bon pour la période 2017-2022 (p. 46) ;
- l'étang de Bages-Sigean, dans lequel les abondances de picophytoplancton baissent continûment au cours de la période 2017-2022, mais se maintiennent dans un état moyen (p. 34).

Les stations complémentaires suivies 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 et la mise en exergue de perturbations plus importantes sur ces secteurs que sur les stations DCE. En particulier, des situations d'hypoxies ont été observées au niveau de la station de fond sur Berre (BEF) les trois mois de l'été 2022. Les stations de fond et de bordure de Thau (TEF, TWF, TANG et TPE) et la station GRC des Palavasiens-Est ont été marquées par des situations de stress biologique en fin d'été. Ces déficits estivaux d'oxygène sont associés à des fortes chaleurs (28-29°C) et ont très probablement favorisé des relargages sédimentaires à l'origine de teneurs très élevées en août 2022 en chlorophylle *a* et en abondances phytoplanctoniques au niveau des stations TPE et GRC (respectivement nano- et pico-phytoplancton).

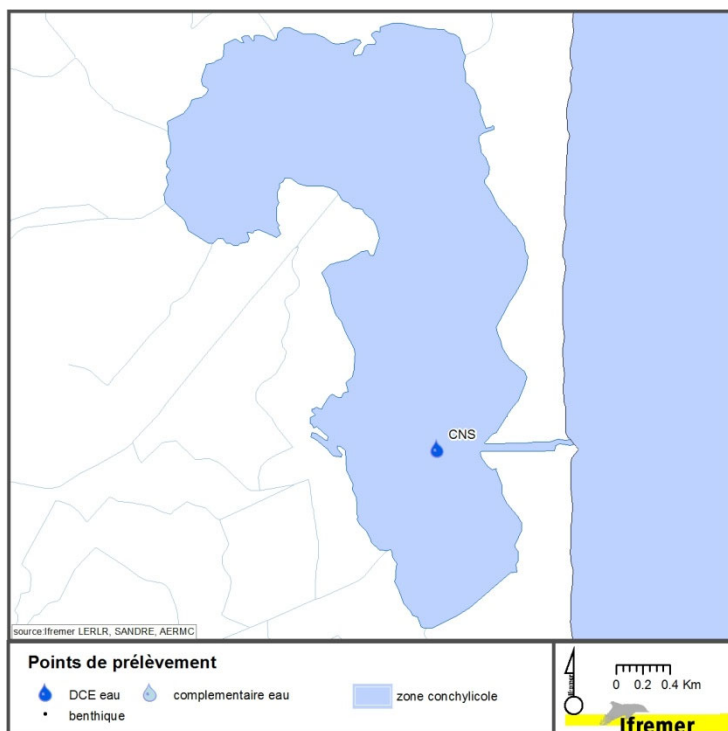


Figure 01-1. Localisation des stations de suivi sur Canet.

Tableau 01-1. Colonne d'eau : état physico-chimique DCE 2022* pour Canet (N=18).

	P90 et état	Confiance (%)	Tendance sur la période 2017-2022
NID	5.9	8-51-5-29-6	↓ - 0.06 µM/an
PO4	13.9	0-0-0-0-100	➡
NT	67.1	0-92-7-0-0	↓ - 5.5 µM/an
PT	16	0-0-0-0-100	➡
Etat physico-chimique			

Tableau 01-2. Phytoplancton : état DCE 2022* pour Canet (N=18).

	EQR et état	Confiance (%)	Tendance sur la période 2017-2022
Biomasse	0.3	0-2-40-53-5	➡
Abondance	0.11	0-0-11-82-6	➡
Phytoplancton	0.2	0-0-23-77-0	➡

! **Confiance** : seulement 51% de confiance associée au bon état et 29% à l'état médiocre du NID.

• Etat de la colonne d'eau et du phytoplancton (*données de 2017 à 2022) :

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 2017-2022 (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) en août 2018, caractérisé par de fortes chaleurs, et également en août 2020 (4,3 et 4,6 O₂ mg/L, respectivement) (Annexe 7.6).

Les concentrations en azote inorganique dissous (NID) et total (NT) diminuent significativement dans la colonne d'eau sur la période 2017-2022 (Figure 01-2). Si les concentrations des formes azotées (NID et NT) étaient très variables en 2018 et 2019, avec des intervalles de confiance couvrant les cinq classes de qualité, elles ont diminué en 2020, 2021 et 2022 (avec un état « très bon » pour NT et un état « très bon » à « bon » pour 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 2017-2022. L'état « mauvais » associé aux paramètres physico-chimiques sur la période 2017-2022 est similaire aux diagnostics précédents.

Les teneurs en chlorophylle *a* sont très variables sur la période 2017-2022, avec des intervalles de confiance couvrant trois classes de qualité (Annexe 7.4). Ainsi, la teneur en chlorophylle *a* dans la colonne d'eau dépasse 10 µg/L en 2018 et 2020, caractérisant un état « mauvais » (Figure 01-4). Par opposition, les étés 2017 et 2022 sont marqués par des biomasses phytoplanctoniques plus faibles, caractérisant un état « bon » à « très bon ». Ces biomasses phytoplanctoniques sont associées à du pico- et du nano-phytoplancton présents en grandes densités durant la période 2017-2022, avec des intervalles de confiance couvrant trois classes de qualité. L'EQR « Phytoplancton » affiche un état « médiocre » sur la période 2017-2022 et la période 2015-2020, s'améliorant ainsi par rapport aux périodes précédentes de diagnostic (2013-2018 et 2011-2016) où l'état était qualifié de « mauvais ».

L'évolution de l'EQR « Phytoplancton » est à mettre en regard avec la dégradation de l'EQR « Macrophytes », passé d'un état « très bon » à un état « mauvais » entre 2017 et 2021 (Cimiterra *et al.*, 2022).

Sur la période 2017-2022, 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.

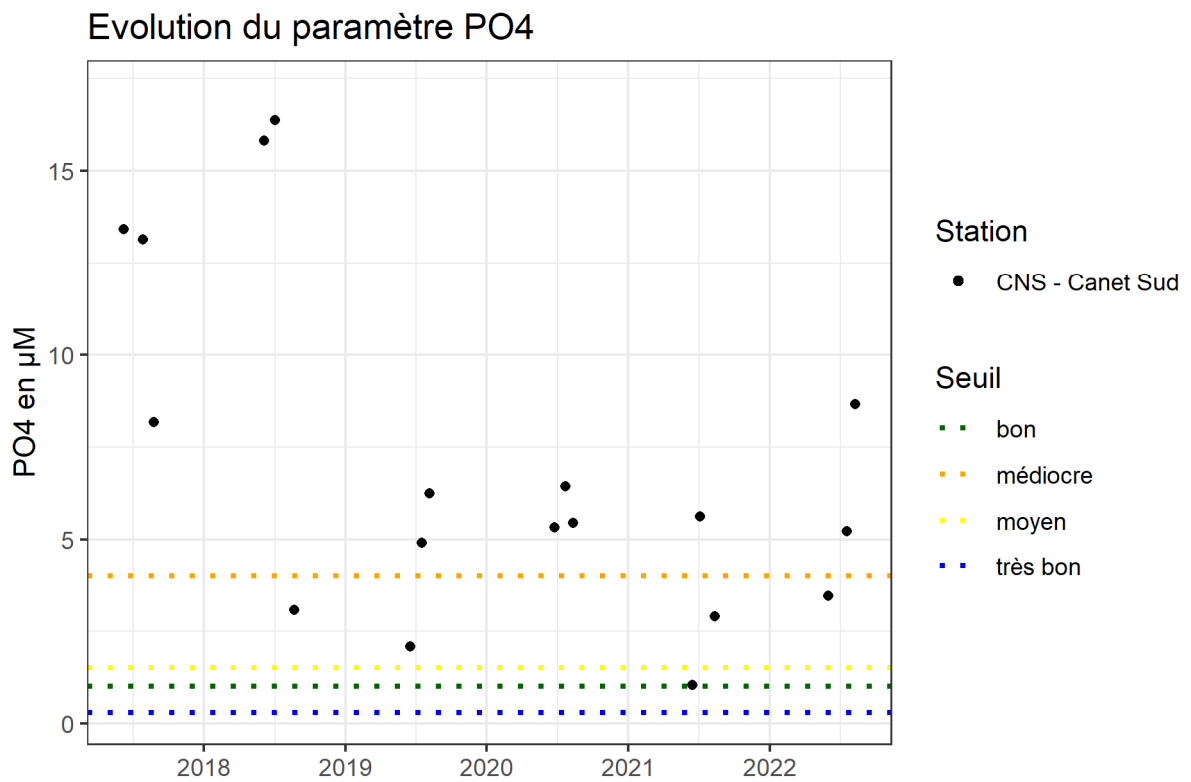
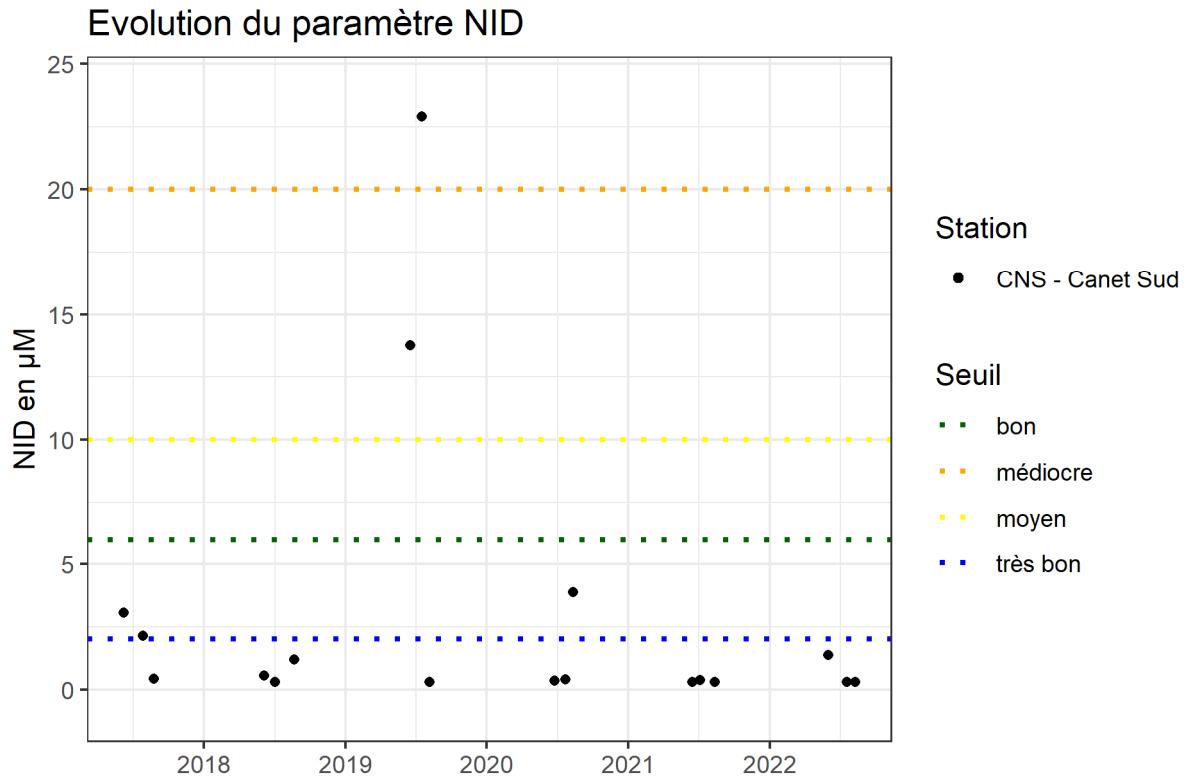


Figure 01-2. Concentrations en NID et PO₄³⁻ (µM) des étés 2017 à 2022 à Canet.

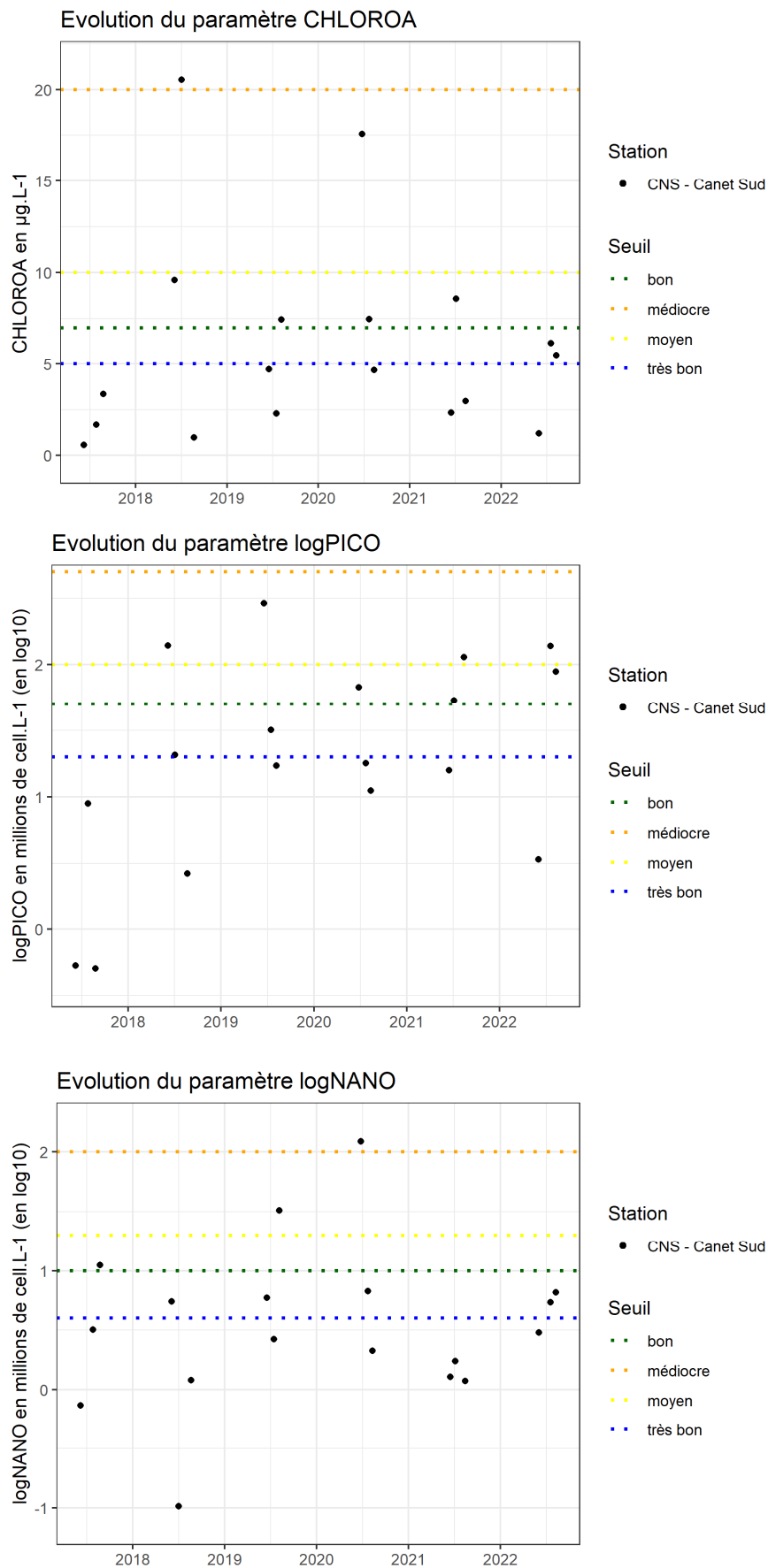


Figure 01-4 (de haut en bas). Concentration de chlorophylle-*a* ($\mu\text{g/L}$), abondances de pico- et de nano-phytoplancton (millions de cellules/L, valeurs en log10) des étés 2017 à 2022 à Canet.

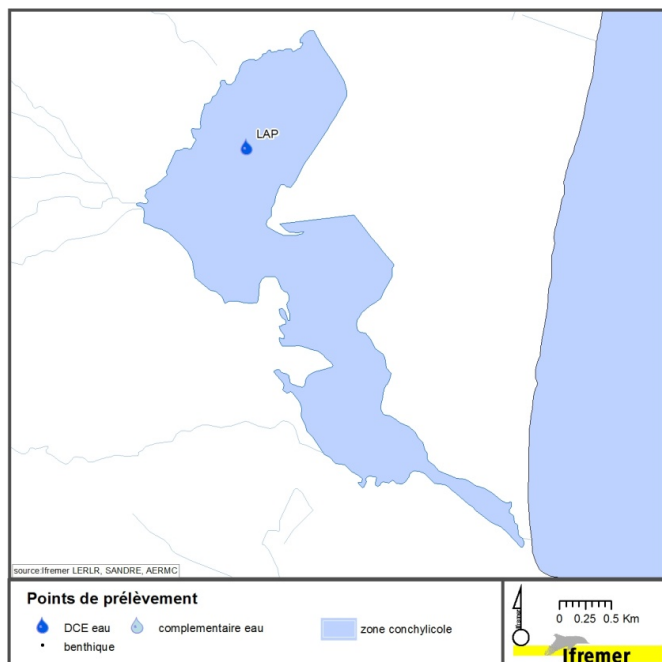


Figure 03-1. Localisation des stations de suivi sur La Palme.

Tableau 03-1. Colonne d'eau : état physico-chimique DCE 2022* pour La Palme (N=18).

	P90 et état	Confiance (%)	Tendance sur la période 2017-2022
NID	32.7	1-46-17-30-6	↑ + 0.33 µM/an
PO4	0.3	100-0-0-0-0	↑ + 2.58 µM/an
NT	87.3	0-16-78-6-0	↑ + 5.89 µM/an
PT	1.2	100-0-0-0-0	↑ + 0.08 µM/an
Etat physico-chimique			

Tableau 03-2. Phytoplancton : état DCE 2022* pour La Palme (N=18).

	EQR et état	Confiance (%)	Tendance sur la période 2017-2022
Biomasse	1	94-6-0-0-0	➔
Abondance	0.3	10-53-37-0-0	↓ - 0.99 10 ⁶ cell/an pico
Phytoplancton	0.65	36-64-0-0-0	➔

Tendance : hausse monotone des 4 paramètres de l'état physico-chimique et perte de 2 classes pour la physico-chimie et d'1 classe pour le phytoplancton depuis 2020. **Confiance** : 53% associés au bon état de l'abondance de phytoplancton et EQR=seuil Bon/Moyen.

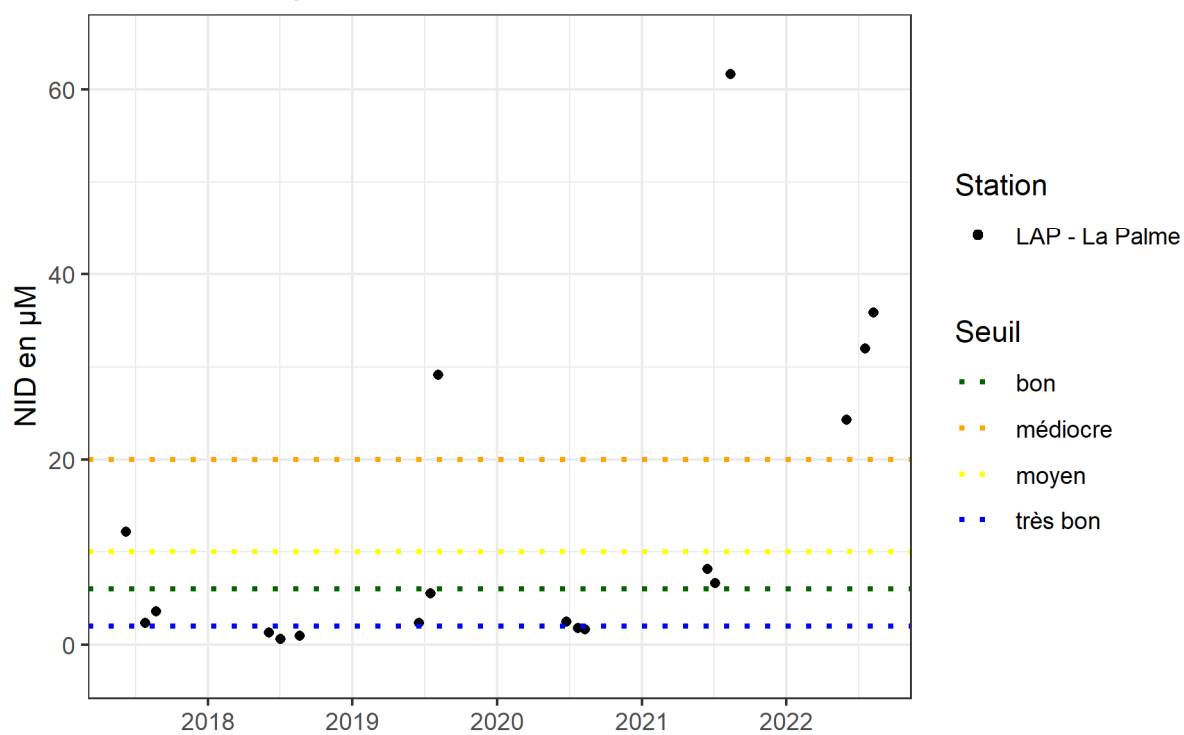
• Etat de la colonne d'eau et du phytoplancton (*données de 2017 à 2022) :

Le diagnostic de la masse d'eau « La Palme » est établi à partir des suivis réalisés sur une station située au centre du bassin nord (Figure 03-1). Cette masse d'eau affiche un bon état du compartiment « Phytoplancton » (Tableau 03-2), mais un état « mauvais » en ce qui concerne la physico-chimie de la colonne d'eau (Tableau 03-1) sur la période 2017-2022.

Le « mauvais » état de la colonne d'eau est attribué par l'azote inorganique dissous (NID) et résulte des pics d'ammonium (NH₄) enregistrés en août 2019 (28,3 µM) et 2021 (61,3 µM) et sur les trois mois de l'été 2022 (31,6 µM en juillet et 35,3 µM en août) (Figures 03-2, Annexe 7.6). La hausse significative des teneurs en NID se répercute sur les concentrations en azote total (NT), augmentant significativement au cours de la période 2017-2022 et passant de l'état « Bon » en 2020 à l'état « Moyen » en 2022 (Tableau 03-1, Figures 03-2 et 03-03). Les concentrations en phosphore dissous et total (PO₄ et PT) restent en état « Très bon » avec toutefois une tendance à l'augmentation sur ces six dernières années. Cette dégradation de l'état physico-chimique de La Palme se répercute sur les teneurs en oxygène, avec des conditions de stress biologique observées en 2021 et 2022 (Annexe 7.6). Sur les périodes estivales 2017-2022, les abondances de nanophytoplancton sont toutes inférieures aux valeurs de référence (Tableau 03-2 et Figure 03-4). Les concentrations en chlorophylle *a* et les abondances de picophytoplancton présentent au moins un pic (dans la classe « Mauvais » en juillet 2022 pour la chlorophylle *a* et « Médiocre » en juillet 2018 et juin 2022 pour le picophytoplancton) (Figure 03-4). Cependant, la métrique « Biomasse » se maintient en état « Très bon », mais la métrique « Abondance » et l'indicateur « Phytoplancton » passent tout juste en état « Bon » (EQR égaux ou très proches des valeurs seuils), même si une tendance à la baisse est observée sur le picophytoplancton (Tableau 03-2).

Les données d'auto-surveillance acquises sur la station d'épuration (STEU) de La Palme mettent en évidence d'éventuels dysfonctionnements, tels que les pics d'azote enregistrés en août 2019 et 2021 (Benau, 2022), qui pourraient expliquer en partie les concentrations excessives en NH₄ observées. Les diagnostics des macrophytes, réalisés par le Parc Naturel Régional de la Narbonnaise en Méditerranée mettent en évidence des dégradations depuis 2017 (Benau *et al.*, 2023). Les diagnostics des macrophytes réalisés dans le cadre de la DCE corroborent ce constat avec une baisse du recouvrement total (de 57 % en 2018 à 22 % en 2021) et du recouvrement relatif en espèces de référence (de 86 % en 2018 à 51% en 2021) (Cimiterra *et al.*, 2022). Ces fortes limitations du développement des macrophytes pourraient être liées en partie à des salinités élevées sur de longues périodes (Benau *et al.*, 2023). En outre, des travaux récents (Andrisoa *et al.*, 2019) montrent qu'en fonctionnement normal de la STEU, la production de macrophytes sur cette lagune est majoritairement soutenue par les flux d'azote à l'interface eau-sédiment (sources karstiques et recirculation des eaux interstitielles). Des conditions hydro-climatiques particulières (grau fermé et sécheresse printanière entraînant des salinités élevées dès le printemps) pourraient déstabiliser le compartiment « Macrophytes » et réduire ainsi la capacité de ce compartiment à piéger les flux de NID à l'interface eau-sédiment. 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 2017-2022, l'état biologique pour le phytoplancton répond aux exigences de la DCE, toutefois l'état mauvais 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

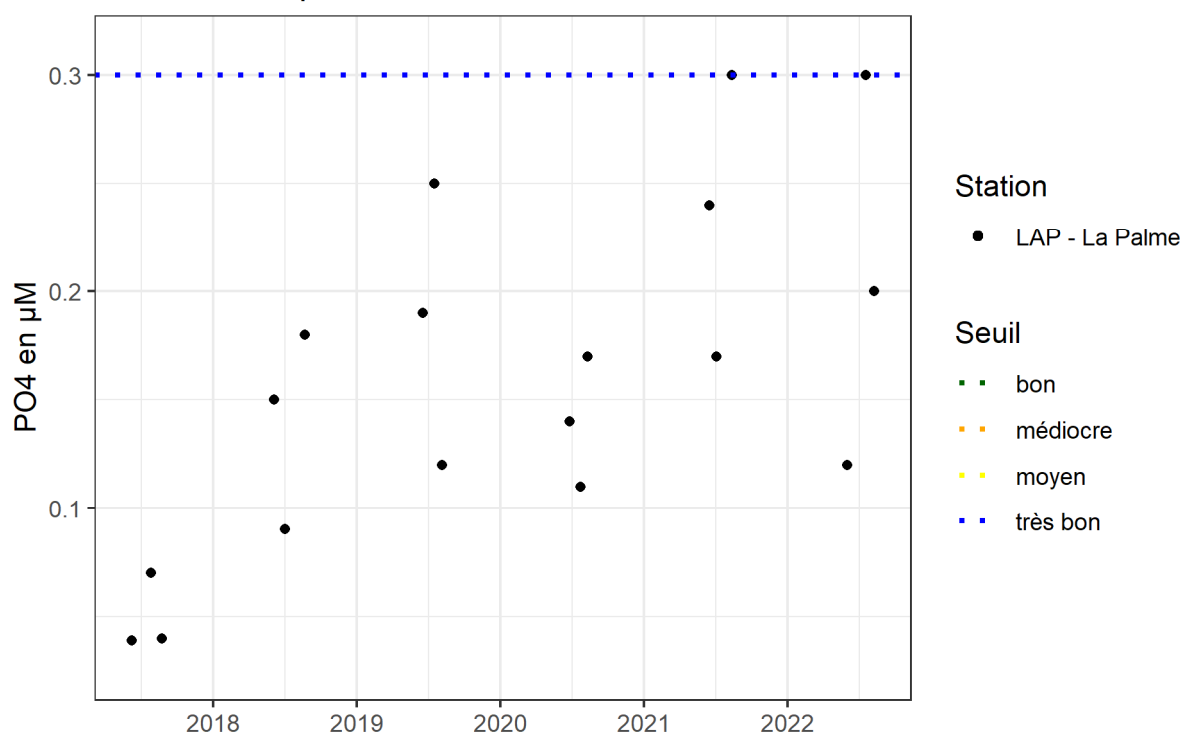
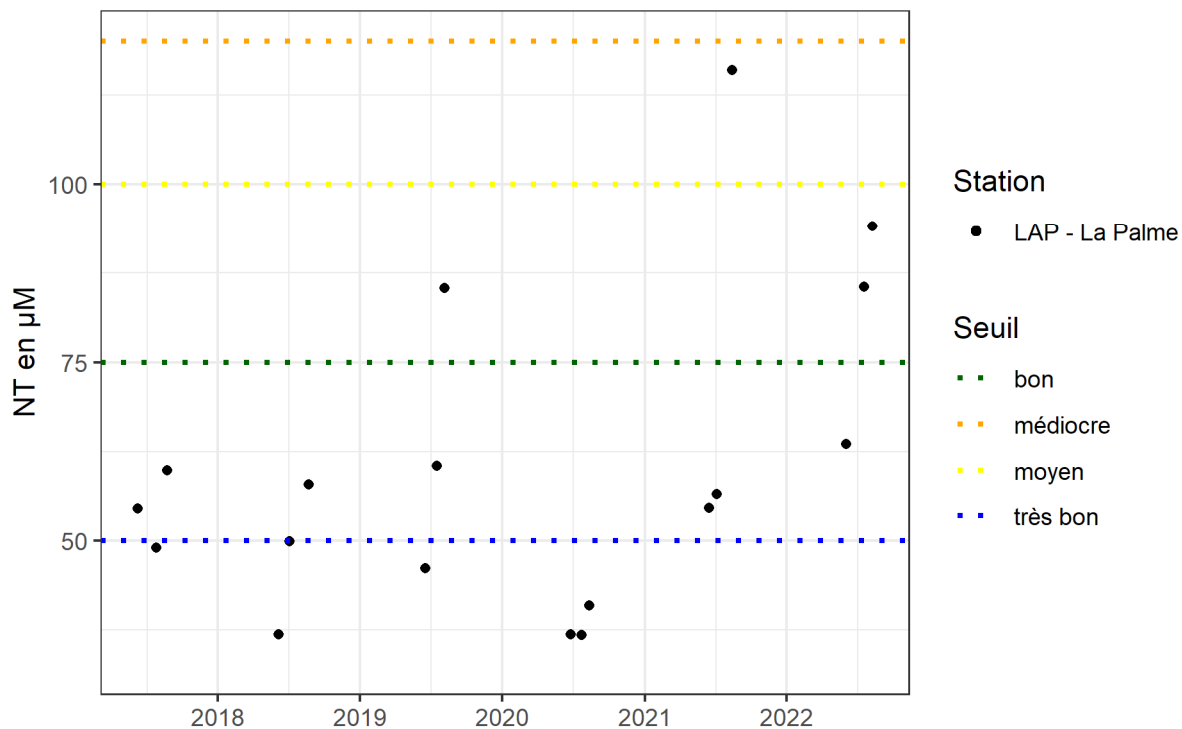


Figure 03-2. Concentrations en NID et PO₄³⁻ (µM) des étés 2017 à 2022 à La Palme.

Evolution du paramètre NT



Evolution du paramètre PT

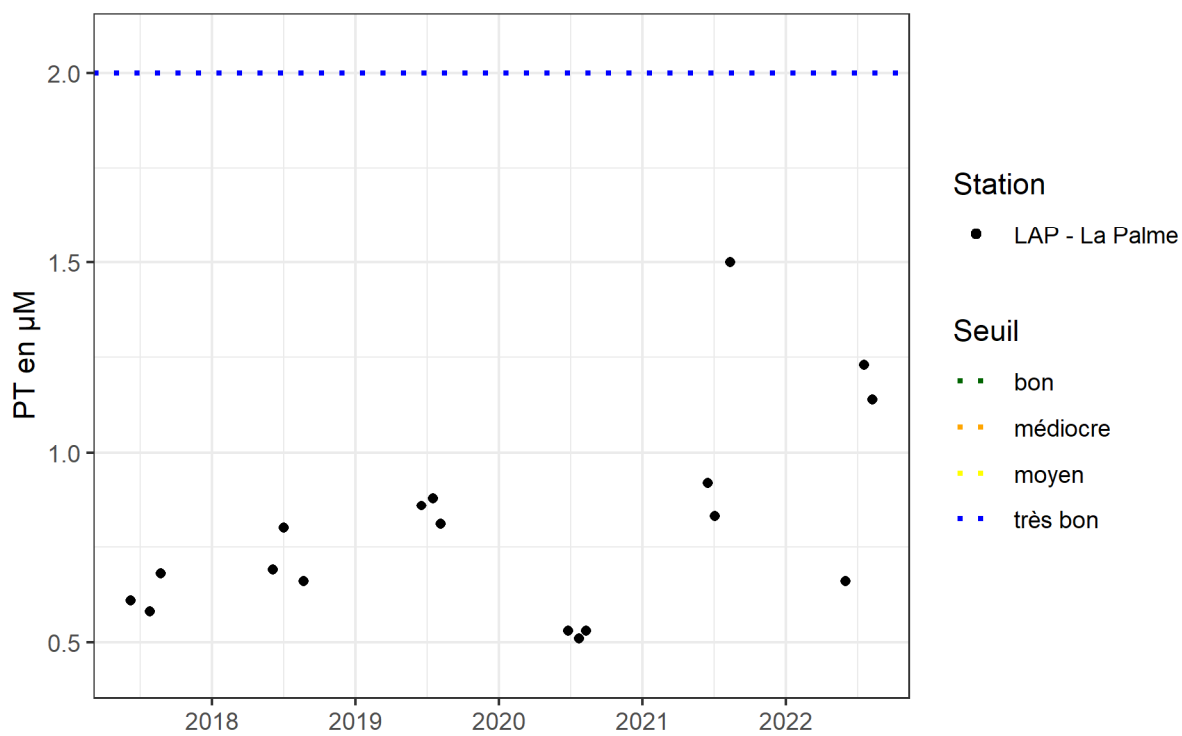


Figure 03-3. Concentrations en NT et PT (µM) des étés 2017 à 2022 à La Palme.

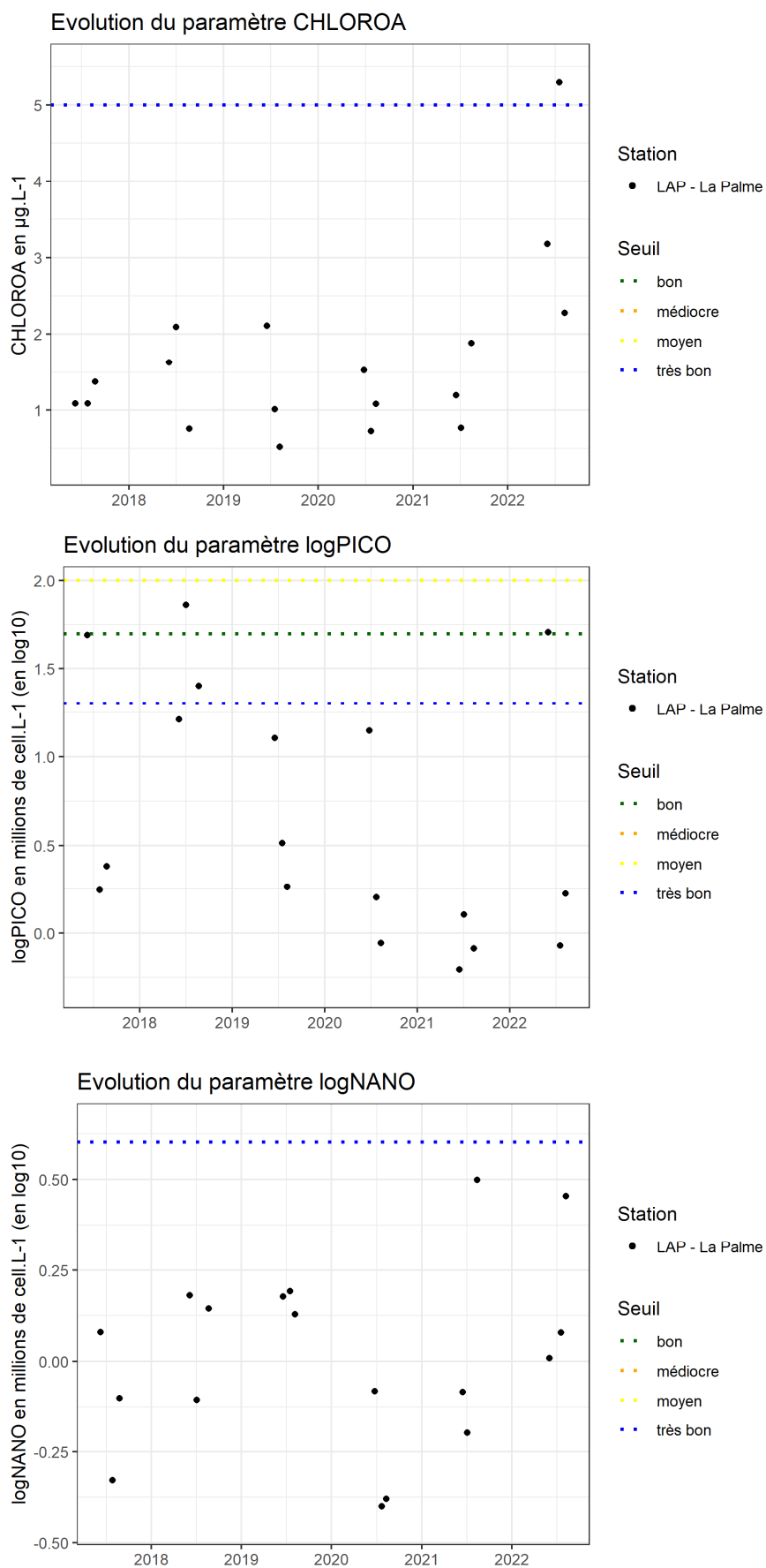


Figure 03-4 (de haut en bas). Concentration de chlorophylle-*a* ($\mu\text{g/L}$), abondances de pico- et de nano-phytoplancton (millions de cellules/L, valeurs en \log_{10}) des étés 2017 à 2022 à La Palme.

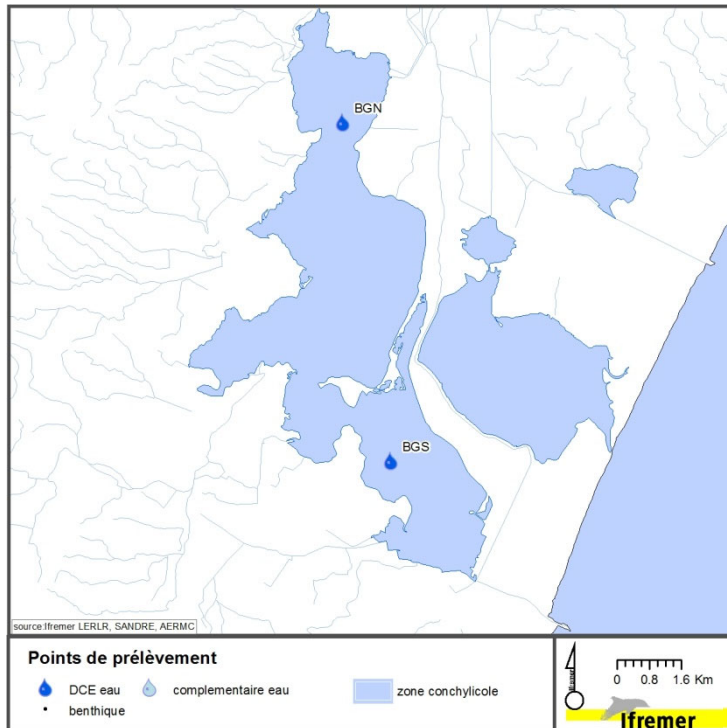


Figure 04-1. Localisation des stations de suivi sur Bages-Sigean.

Tableau 04-1. Colonne d'eau : état physico-chimique DCE 2022* pour Bages-Sigean (N=18).

	P90 et état	Confiance (%)	Tendance sur la période 2017-2022
NID	0.8	94-7-0-0-0	➡
PO4	0.2	100-0-0-0-0	➡
NT	39.7	100-0-0-0-0	➡
PT	0.9	100-0-0-0-0	➡
Etat physico-chimique			

Tableau 04-2. Phytoplancton : état DCE 2022* pour Bages-Sigean (N=18).

	EQR et état	Confiance (%)	Tendance sur la période 2017-2022
Biomasse	1	100-0-0-0-0	➡
Abondance	0.19	0-8-85-7-0	⬇ - 6.96 10 ⁶ cell/an pico
Phytoplancton	0.59	1-99-0-0-0	➡

Confiance : 94 à 100% de confiance associée au très bon état physico-chimique. Tendance : baisse monotone de l'abondance du picophytoplancton.

• Etat de la colonne d'eau et du phytoplancton (*données de 2017 à 2022) :

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 2017-2022, 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 hydrobiologiques agrégés sur les deux stations est principalement gouvernée par la station BGN, où les concentrations sont globalement les plus élevées.

Sur les périodes estivales 2017-2022, 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_B est égal à sa valeur maximale (1).

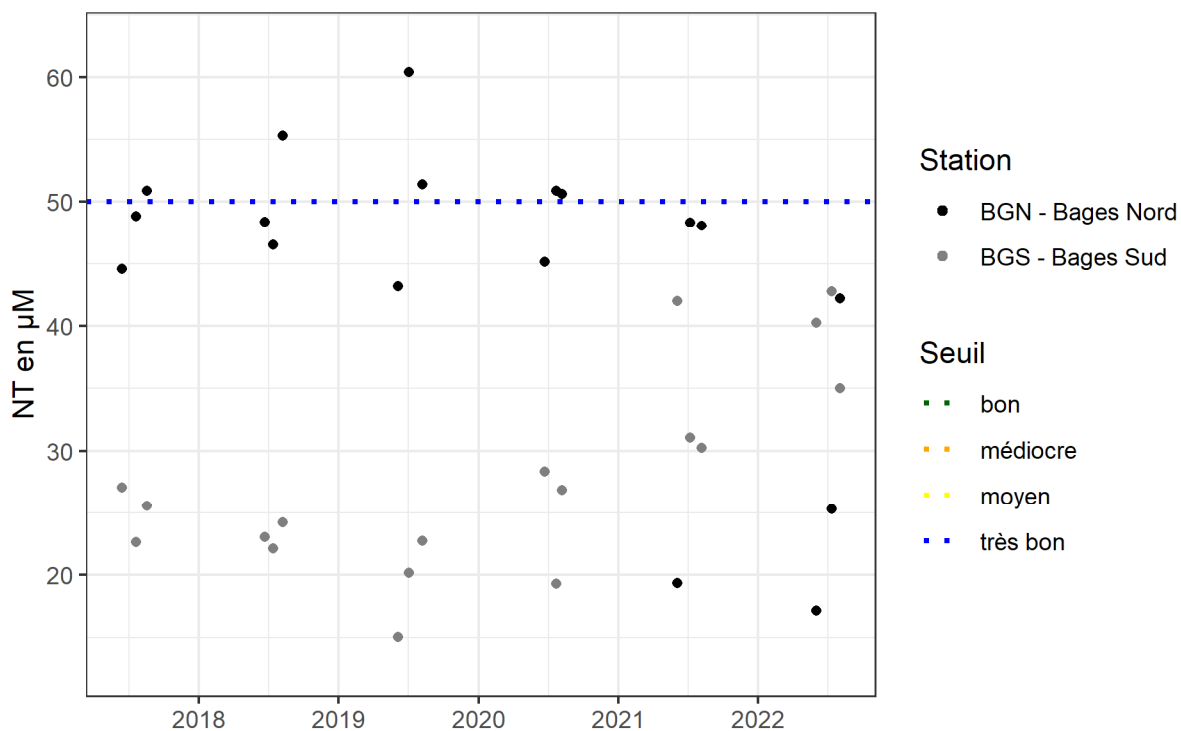
Sur la période 2017-2022, les conditions hydrologiques ont été relativement contrastées - avec notamment des printemps plutôt secs et des automnes très pluvieux, et une année 2018 qui cumule un printemps pluvieux et un été particulièrement chaud. Malgré cela, dans le secteur sud de la lagune, les abondances 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 » (2017). Les apports supplémentaires lors d'événements pluvieux en période printanière notamment (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 ». Une tendance à la baisse est cependant observée (Tableau 04-2).

Les paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau varient peu et sont, pour la plupart, dans la gamme caractéristique du très bon état. Les tendances, pour chacun des quatre paramètres restent stables (Tableau 04-1).

Sur la période 2017-2022, 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.

Evolution du paramètre NT



Evolution du paramètre PT

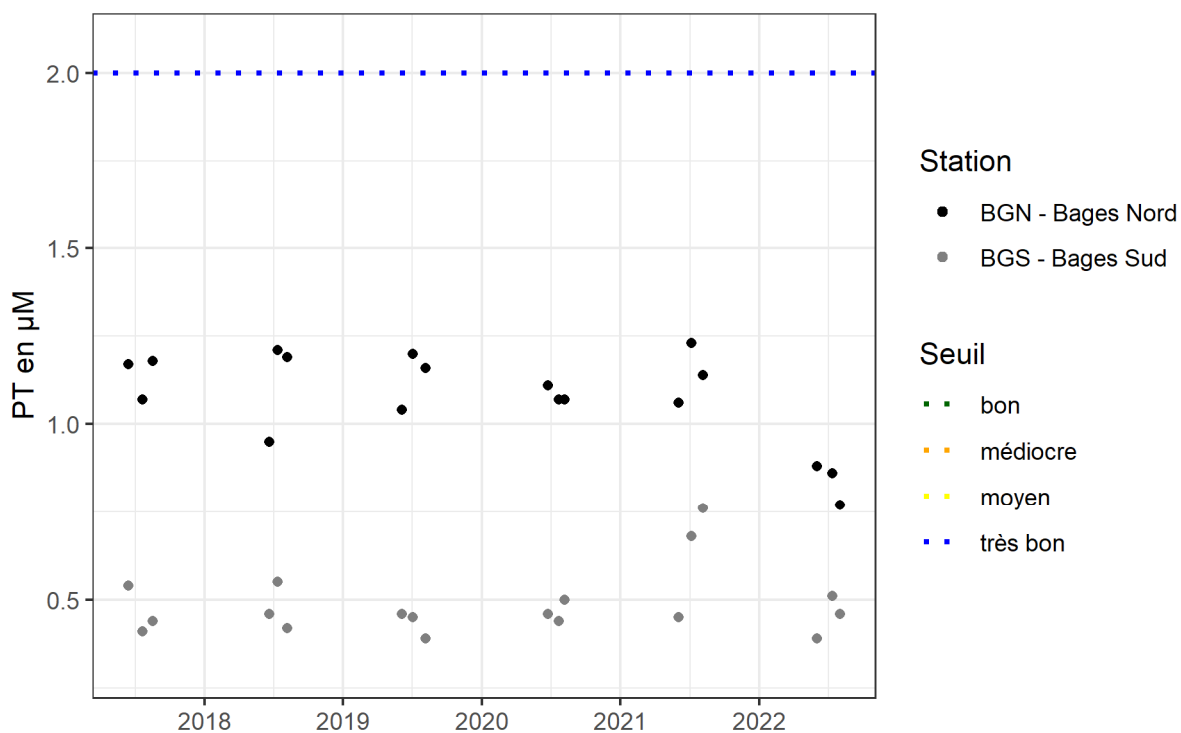


Figure 04-3. Concentrations en NT et PT (µM) des étés 2017 à 2022 à Bages-Sigean.

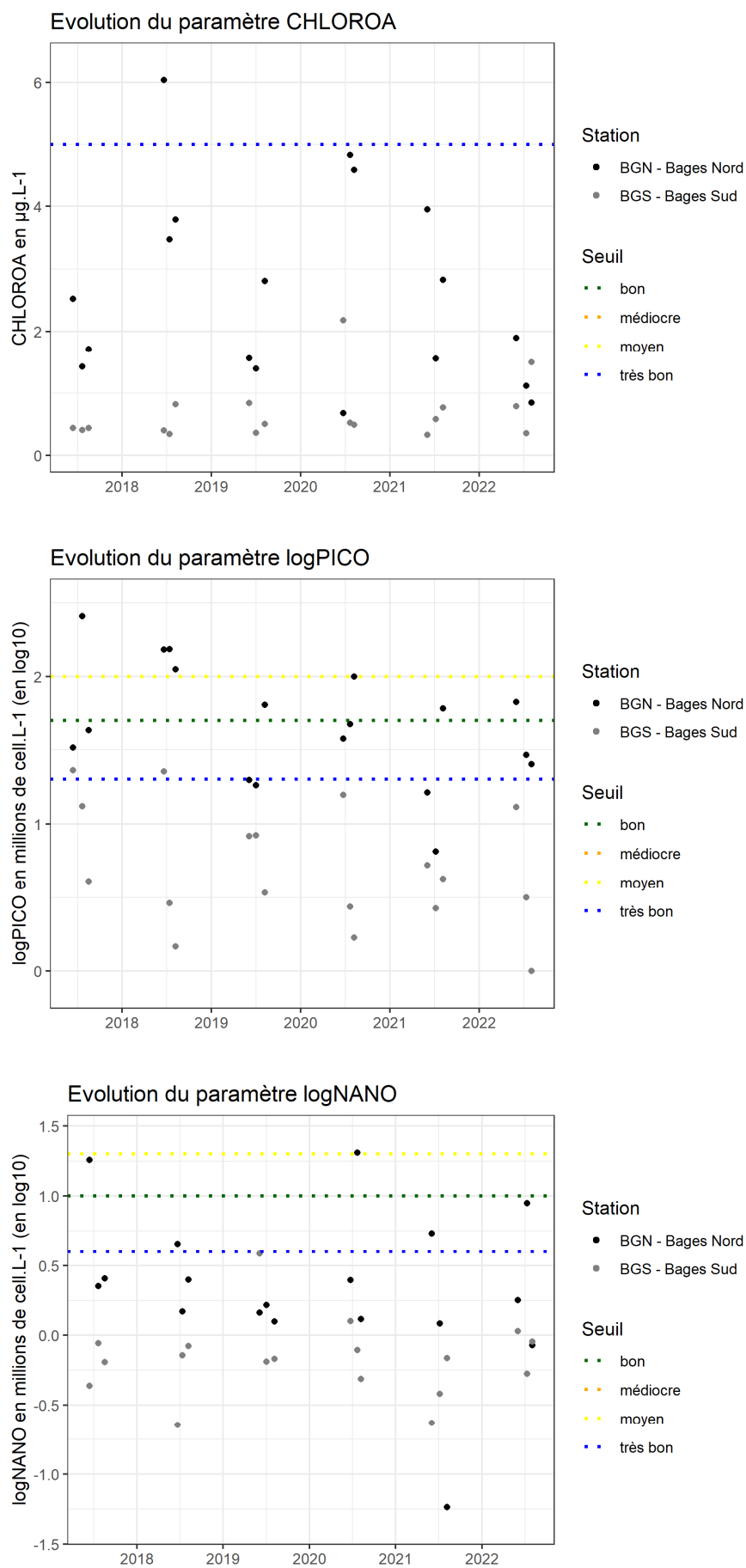


Figure 04-4 (de haut en bas). Concentration de chlorophylle-*a* ($\mu\text{g/L}$), abondances de pico- et de nano-phytoplancton (millions de cellules/L, valeurs en \log_{10}) des étés 2017 à 2022 à Bages-Sigean.



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

Tableau 05a-1. Colonne d'eau : état physico-chimique DCE 2022* pour Ayrolle (N=18).

	P90 et état	Confiance (%)	Tendance sur la période 2017-2022
NID	0.6	100-0-0-0-0	➡
PO4	0.1	100-0-0-0-0	➡
NT	40.6	100-0-0-0-0	➡
PT	0.7	100-0-0-0-0	➡
Etat physico-chimique			

Tableau 05a-2. Phytoplancton : état DCE 2022* pour Ayrolle (N=18).

	EQR et état	Confiance (%)	Tendance sur la période 2017-2022
Biomasse	1	100-0-0-0-0	➡
Abondance	1	100-0-0-0-0	➡
Phytoplancton	1	100-0-0-0-0	➡

! **Confiance** : 100% de confiance associée au très bon état de la physico-chimique et du phytoplancton.

- Etat de la colonne d'eau et du phytoplancton (*données de 2017 à 2022) :

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 2017-2022 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 2017 à 2022, et sont toutes assorties d'indices de confiance égaux à 100 % (Figure 05a-2 et 05a-3). Les tendances, pour chacun des quatre paramètres (NID, PO4, NT et PT) sont stables et confirment ces « Très bons » résultats (Figure 05a-2).

Les concentrations en chlorophylle *a* enregistrées dans la lagune de l'Ayrolle sur les périodes estivales 2017-2022 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_B 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 la période 2017-2022, 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.

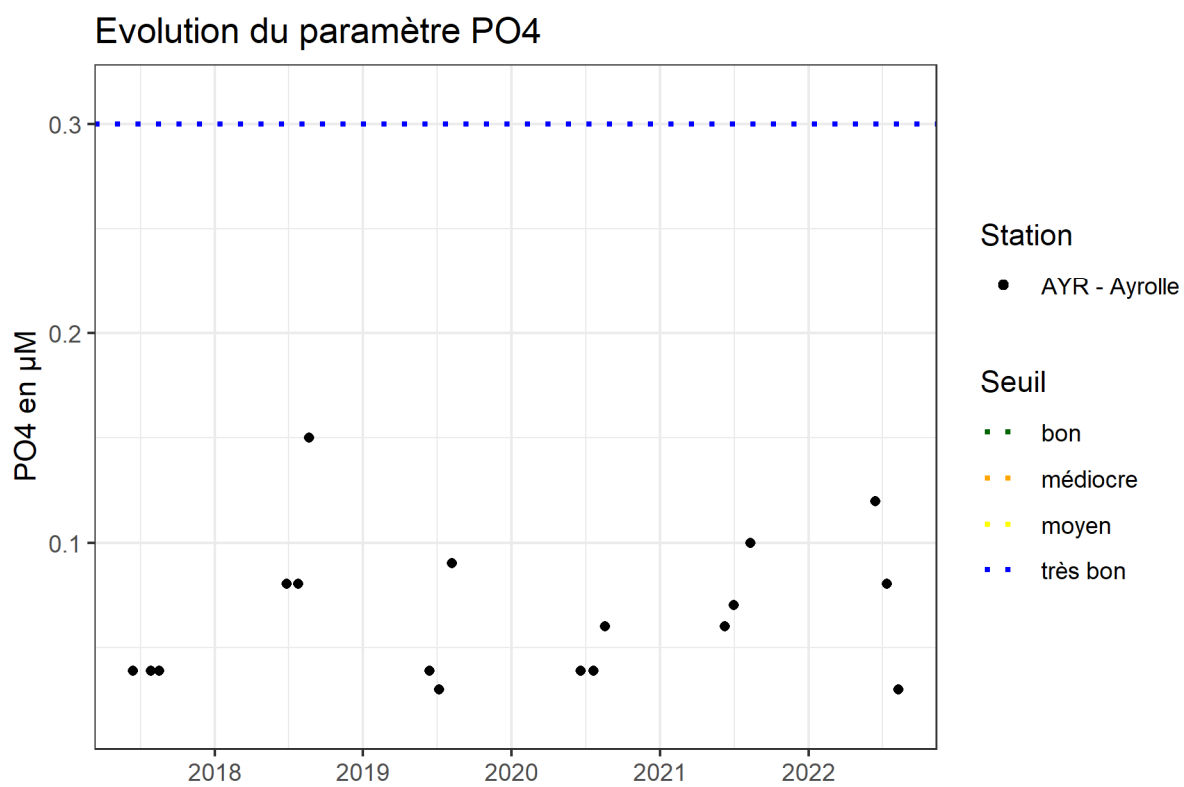
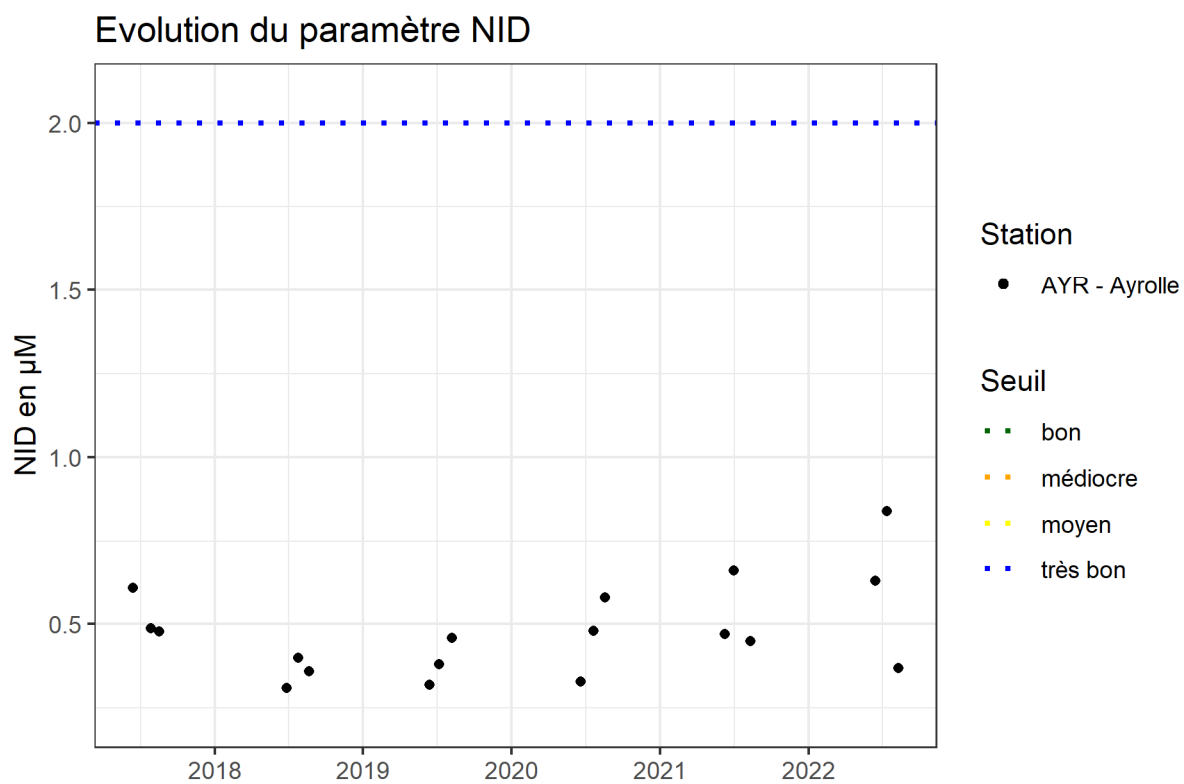


Figure 05a-2. Concentrations en NID et PO_4^{3-} (μM) des étés 2017 à 2022 à l'Ayrolle.

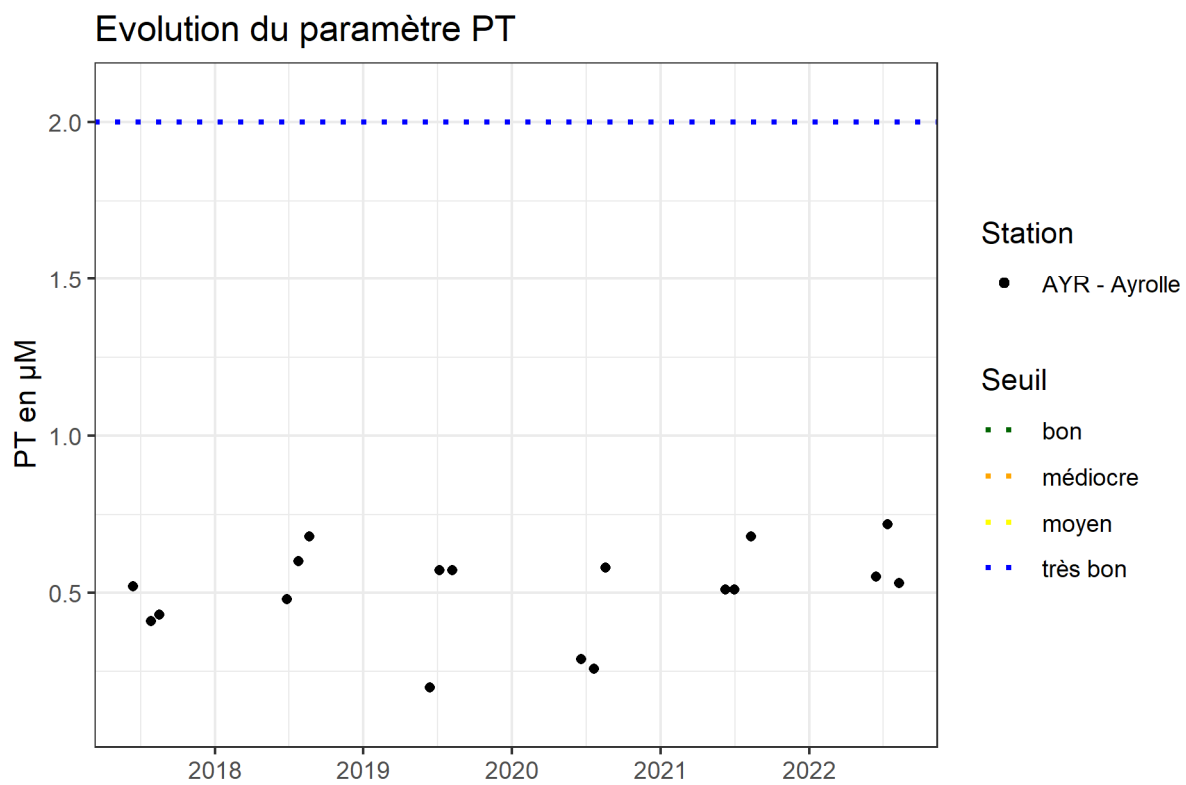
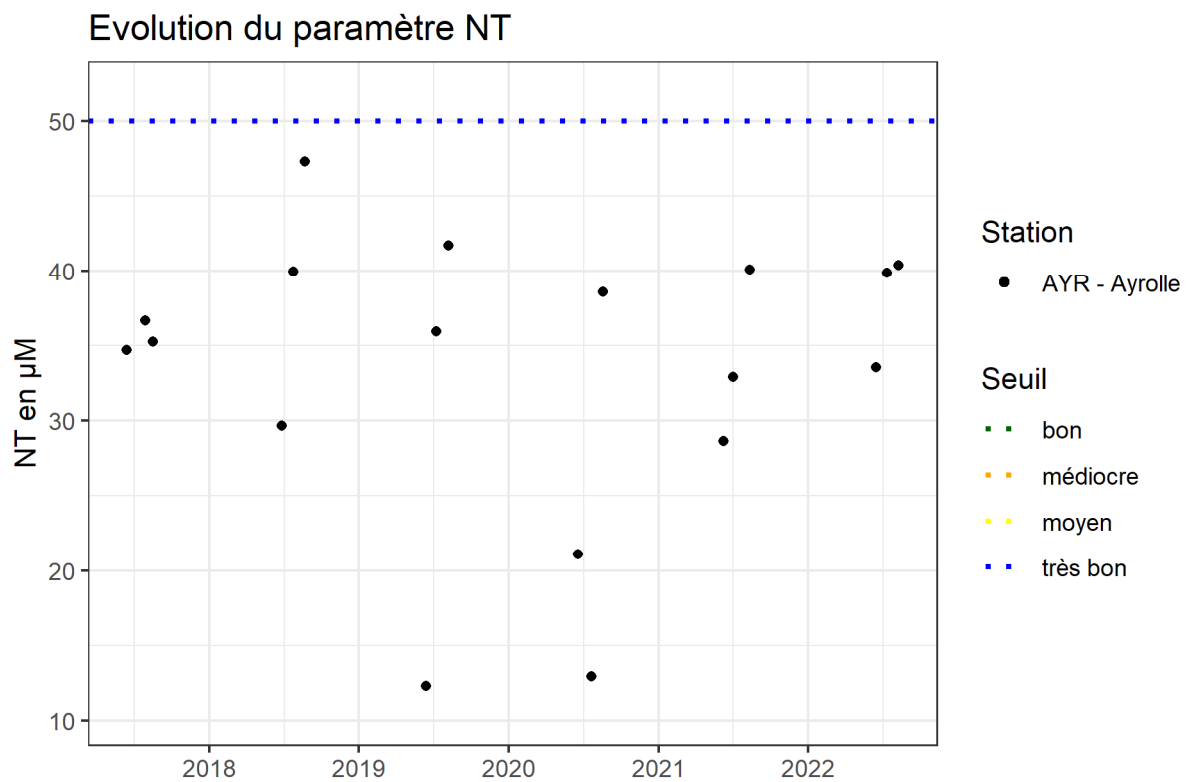


Figure 05a-3. Concentrations en NT et PT (μM) des étés 2017 à 2022 à l'Ayrolle

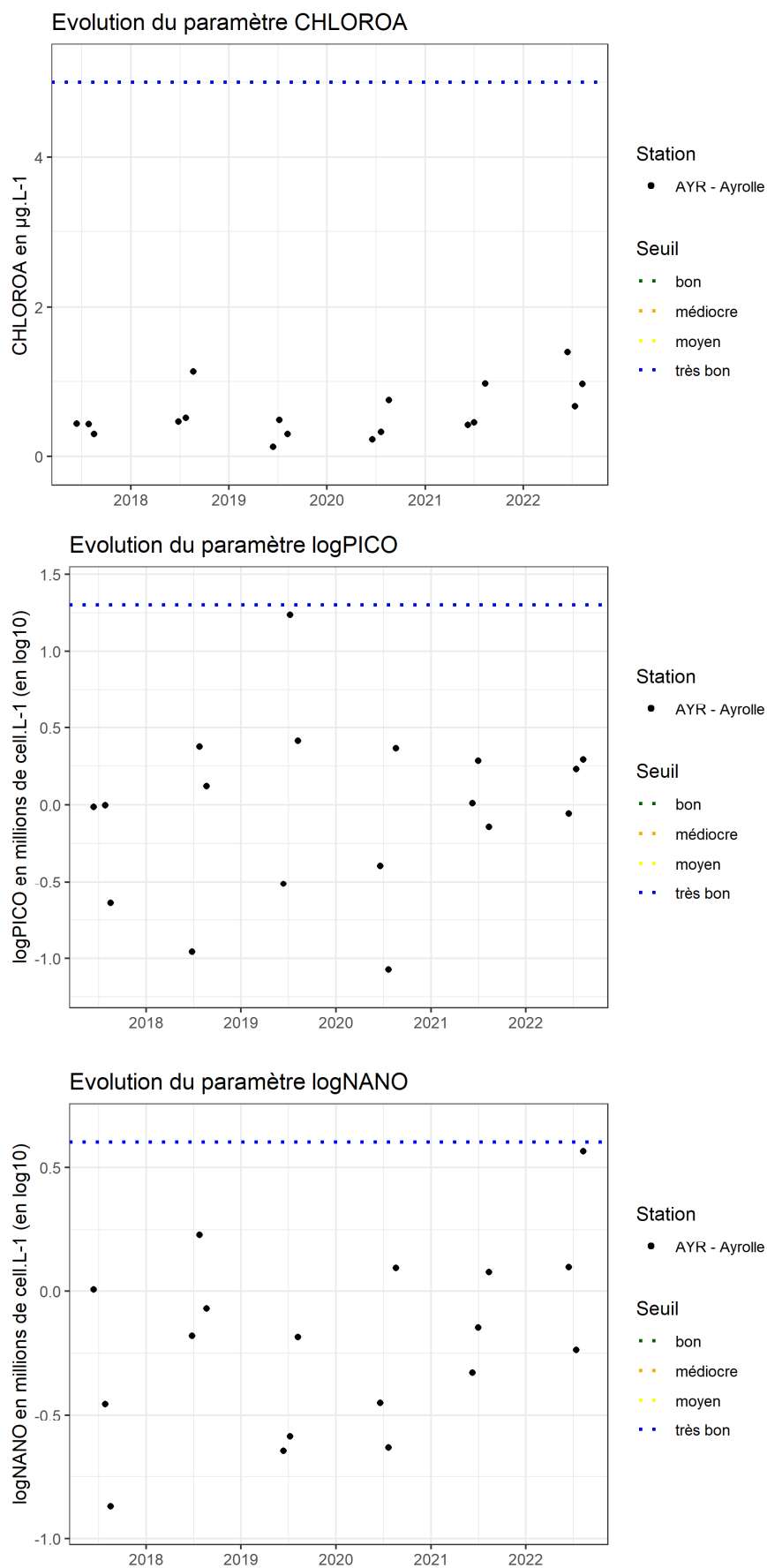


Figure 05a-4 (de haut en bas). Concentration de chlorophylle-*a* ($\mu\text{g/L}$), abondances de pico- et de nano-phytoplancton (millions de cellules/L, valeurs en log10) des étés 2017 à 2022 à l'Ayrolle.

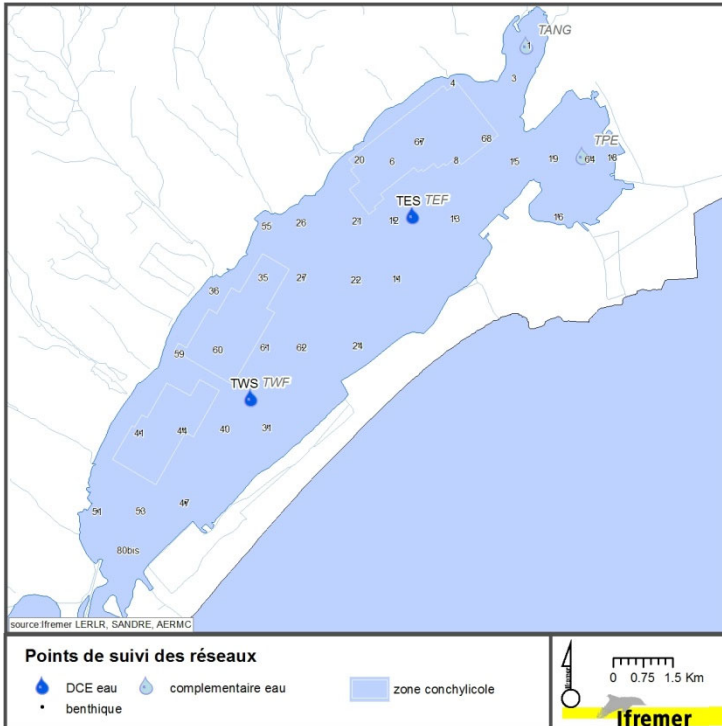


Figure 10-1. Localisation des stations de suivi sur Thau.

Tableau 10-1. Colonne d'eau : état physico-chimique DCE 2022* pour Thau (N=18).

	P90 et état	Confiance (%)	Tendance sur la période 2017-2022
NID	0.4	100-0-0-0-0	➡
PO4	0.1	100-0-0-0-0	➡
NT	27.5	100-0-0-0-0	➡
PT	0.7	100-0-0-0-0	➡
Etat physico-chimique			

Tableau 10-2. Phytoplancton : état DCE 2022* pour Thau sur (N=18).

	EQR et état	Confiance (%)	Tendance sur la période 2017-2022
Biomasse	1	100-0-0-0-0	➡
Abondance	0.52	8-87-8-0-0	➡
Phytoplancton	0.76	69-31-0-0-0	➡

Confiance : 100% de confiance associée au très bon état physico-chimique.

• Etat de la colonne d'eau et du phytoplancton (*données de 2017 à 2022) :

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 7.5). L'état physico-chimique obtenu au regard des grilles DCE sur la période 2017-2022 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 quasi-intégralement par la végétation aquatique. La tendance significative à l'augmentation des teneurs en azote dissous (NID) puis total (NT), qui avait été observée au cours des deux précédents diagnostics OBSLAG (2013-2018 et 2015-2020, Derolez *et al.*, 2019, 2021), ne se confirme pas sur la période 2017-2022.

Les stations de fond, de la Crique de l'Angle et du Petit Etang ont été marquées par des situations de stress biologique ($< 5 \text{ mg.L}^{-1}$ d' O_2 dès le mois de juin à la station TANG, complétée de TEF en juillet puis de TWF et TPE en août) (Annexe 7.5). Ces déficits d'oxygène ont été engendrés par les fortes chaleurs (28-29°C) et ont très probablement favorisé des relargages sédimentaires de nutriments à l'origine de teneurs plus élevées en août 2022 d'abondances de nanophytoplancton et de chlorophylle *a* au niveau des stations TE (surface et fond) et TPE (Figure 10-4 et Annexe 7.5). Malgré ce pic d'abondance au niveau de la station TE en surface (abondance de nanophytoplancton supérieure au seuil de l'état moyen et biomasse chlorophyllienne supérieure au seuil de l'état bon), le phytoplancton se maintient dans un « très bon état » selon la grille DCE, avec un intervalle de confiance qui s'étend du bon au très bon état (Tableau 10-2), tel que cela avait été observé lors des deux précédents diagnostics (2013-2018 et 2015-2020).

Malgré l'anoxie de l'été 2018, suivie du phénomène d'eaux vertes à *Picochlorum* à l'hiver 2018-2019, puis les vagues de chaleur des étés 2019 et 2022, l'état DCE de l'eau et du phytoplancton reste « très bon » pour les stations de surface, signe que la colonne d'eau peut se rétablir relativement vite après de telles perturbations environnementales. Les macrophytes, qui avaient été durablement impactés par la crise environnementale de 2018-2019 avec une baisse marquée du recouvrement (-18% de 2017 à 2019, Lagarde *et al.*, 2021), ont recouvré les conditions de 2017, avec même une hausse du recouvrement total en 2021 (83% en 2021, contre 76% en 2017 et seulement 58% en 2019) et un recouvrement par les espèces de référence du même niveau (24% en 2021 contre 25% en 2017 et seulement 7% en 2019) (Cimiterra *et al.*, 2022).

Sur la période 2017-2022, 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.

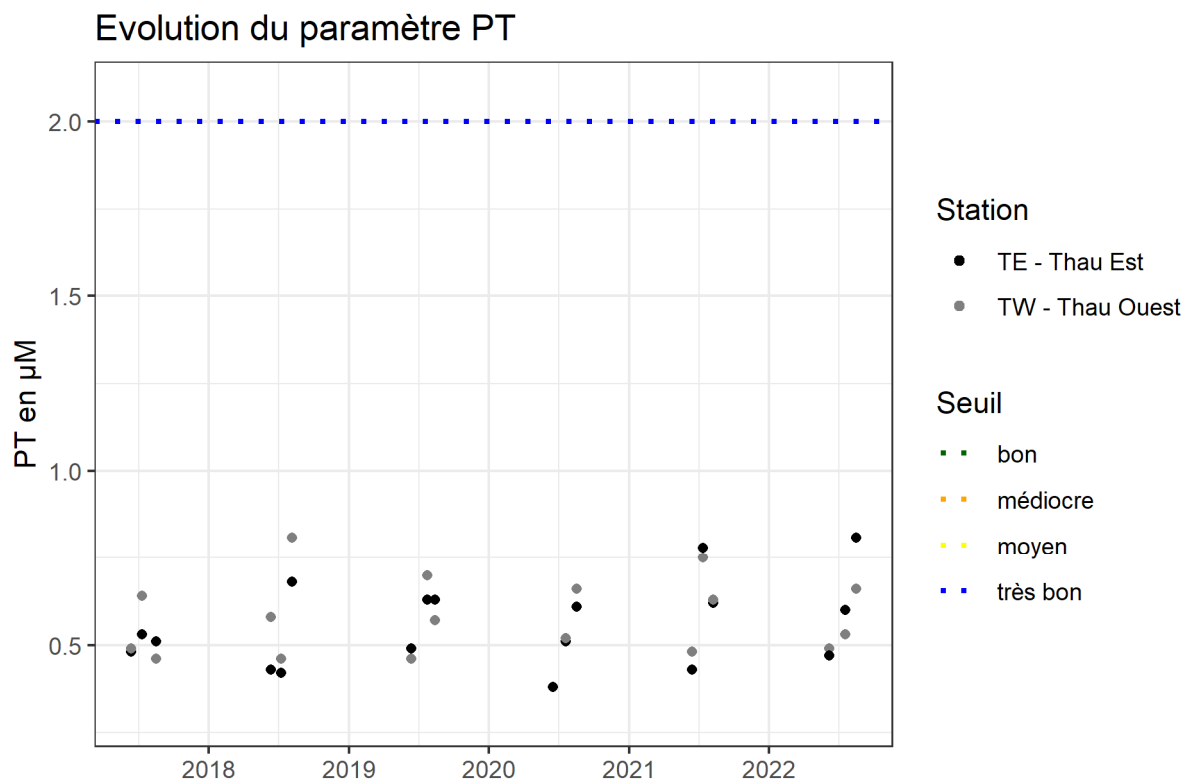
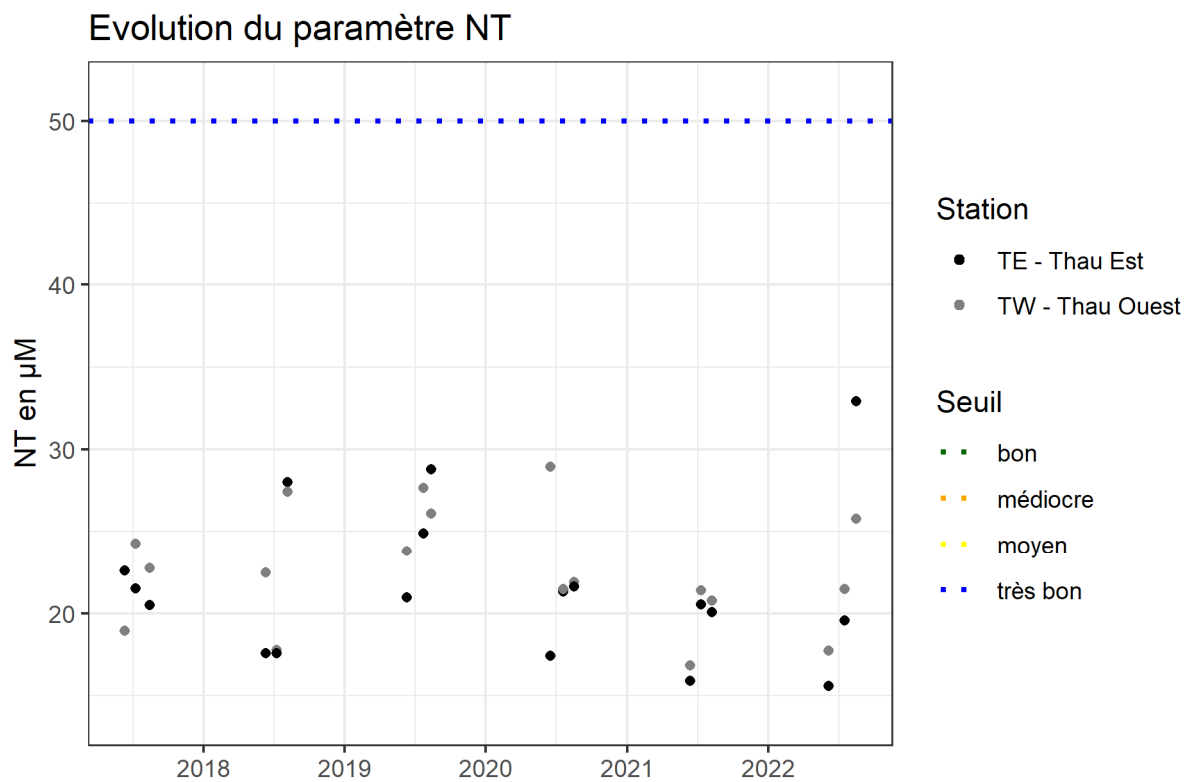


Figure 10-3. Concentrations en NT et PT (μM) des étés 2017 à 2022 à Thau.

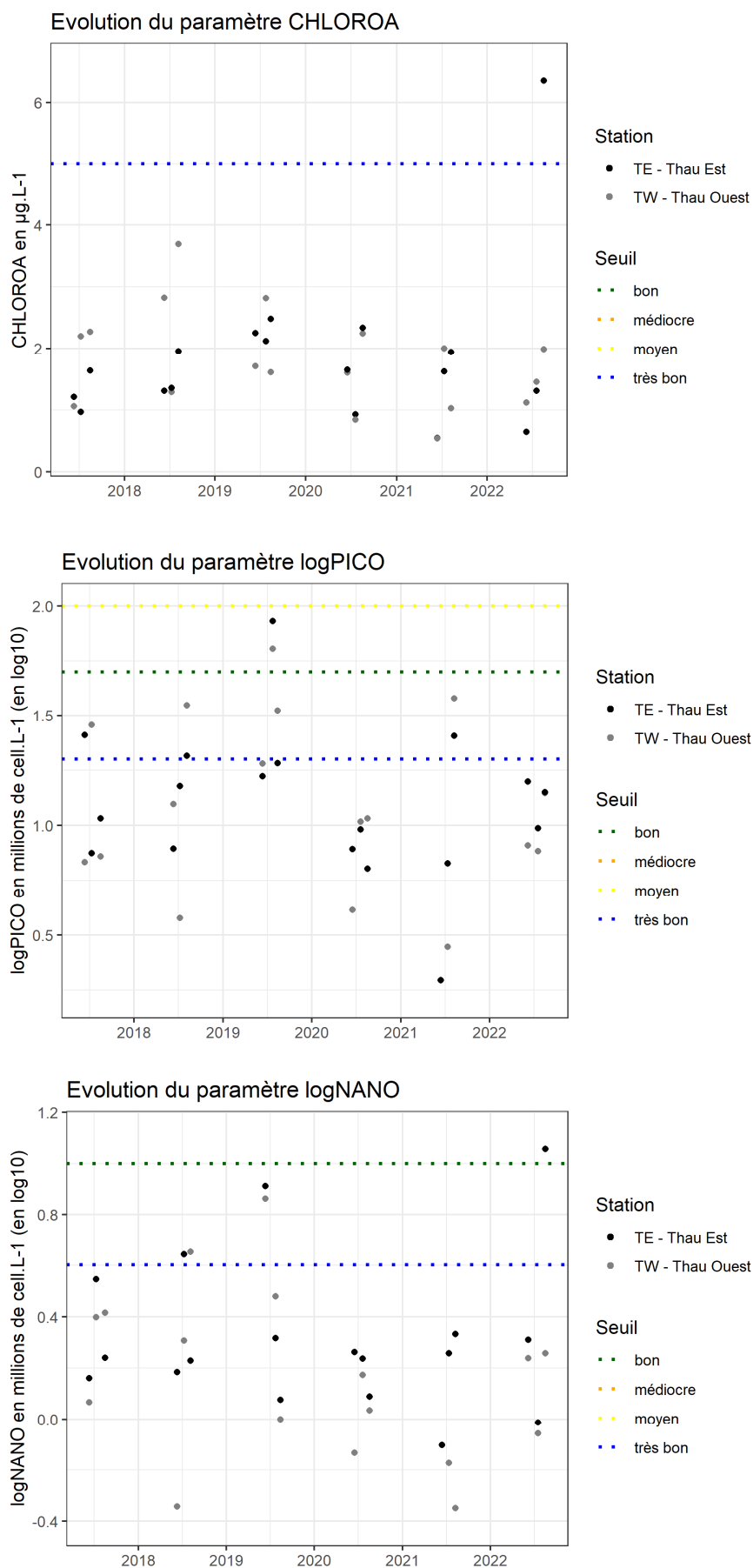


Figure 10-4 (de haut en bas). Concentration de chlorophylle-*a* ($\mu\text{g/L}$), abondances de pico- et de nano-phytoplancton (millions de cellules/L, valeurs en \log_{10}) des étés 2017 à 2022 à Thau).

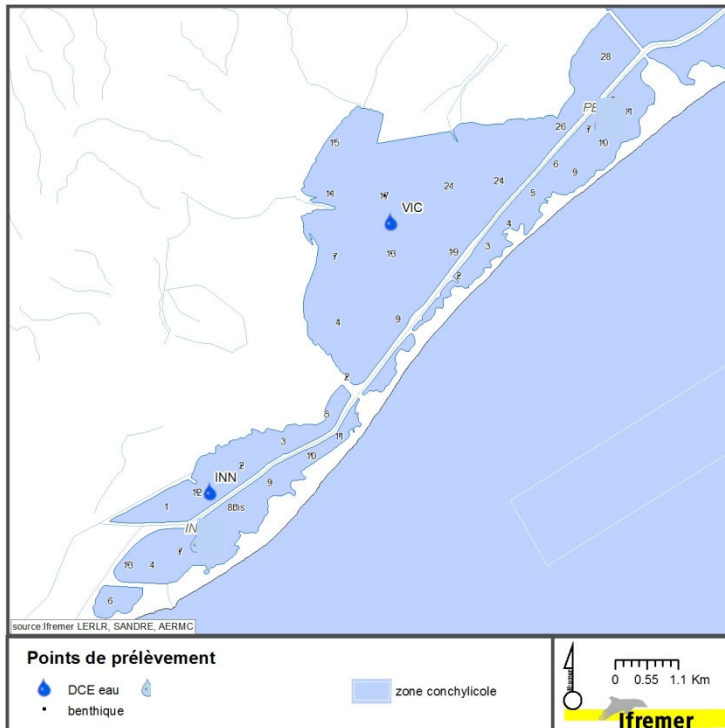


Figure 11c-1. Localisation des stations des Palavasiens-Ouest.

Tableau 11c-1. Colonne d'eau : état physico-chimique DCE 2022* pour Palavasiens-Ouest (N=18).

	P90 et état	Confiance (%)	Tendance sur la période 2017-2022
NID	4.6	1-81-12-6-0	➡
PO4	0.2	100-0-0-0-0	➡
NT	56.2	0-100-0-0-0	➡
PT	1.3	100-0-0-0-0	➡
Etat physico-chimique			

Tableau 11c-2. Phytoplancton : état DCE 2022* pour Palavasiens-Ouest (N=18).

	EQR et état	Confiance (%)	Tendance sur la période 2017-2022
Biomasse	0.48	4-40-49-8-0	➡
Abondance	0.24	0-31-27-42-0	⬇ - 0.57 10 ⁶ cell/an nano
Phytoplancton	0.36	2-29-62-9-0	➡

Confiance : seulement 40% de confiance associée au bon état pour la biomasse (EQR=seuil Bon/Moyen) et 27% à l'état moyen pour l'abondance phytoplanctonique. **Tendance** : baisse monotone du nanophytoplancton.

• Etat de la colonne d'eau et du phytoplancton (*données de 2017 à 2022) :

Le diagnostic de la masse d'eau « Palavasiens-Ouest » s'effectue à partir 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 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-Gardirole 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 2017-2022 (Tableau 11c-1). Les nutriments sont assimilés en grande partie par les producteurs primaires en été, avec des teneurs majoritairement basses en azote inorganique dissous (NID) et en phosphore dissous (PO4) (Figure 11c-2). Au niveau de la station VIC, on note cependant des pics ponctuels de NID (valeurs correspondant à un état moyen à médiocre) dus à des concentrations plus élevées d'ammonium (NH₄) en 2018, 2021 et 2022 et également de NO₃+NO₂ en 2022 (Figure 11c-2 et Annexe 7.6). L'azote et le phosphore totaux (NT et PT) restent en état « bon » et « très bon », malgré des valeurs ponctuellement au-dessus du seuil de l'état « moyen » aux mois d'août 2018 et 2022 à Vic (Figure 11c-3).

L'EQR « phytoplancton » est dans un état « moyen », tout comme lors des précédents diagnostics OBSLAG, mais les indices de confiance associés aux classes de qualité des métriques de biomasse et d'abondance sont faibles (respectivement 40% et 27%), ce qui indique une variabilité encore importante pour cet indicateur au cours de la période 2017-2022 (Tableau 11c-2). Ainsi, la masse d'eau se caractérise par des pics de chlorophylle *a* (en 2017, 2018, 2020 et 2022) et de picophytoplancton (2019, 2021 et 2022) essentiellement observés sur la station VIC (Figure 11c-4). On note cependant pour la première fois une tendance à la diminution des abondances de nanophytoplancton (Tableau 11c-2).

Concernant les paramètres hydrologiques, les fortes chaleurs des étés 2018 à 2022 (> 28°C dans l'eau) ont provoqué des déficits d'oxygène dissous, allant jusqu'à des conditions de stress biologique (< 5 mg.L⁻¹ d'O₂) en 2019, 2020 et 2022 sur les deux stations INN et VIC (Annexe 7.6). Le compartiment macrophytes a quant à lui été marqué par une baisse du recouvrement total au cours de la période 2017-2022 (de 80% en 2017 à 64% en 2021) et de la part relative des espèces de référence (de 16% en 2017 à 12 % en 2021) (Cimiterra *et al.*, 2022). L'ensemble de ces observations indique ainsi que des sources de pollution continuent d'impacter la masse d'eau, en particulier l'étang de Vic, qui peine encore à se restaurer depuis 2005 (mise en route de l'émissaire de l'agglomération montpelliéraine). **Pour 2017-2022, l'état biologique pour le phytoplancton de la masse d'eau « Palavasiens-Ouest » ne répond pas aux exigences de la DCE.**

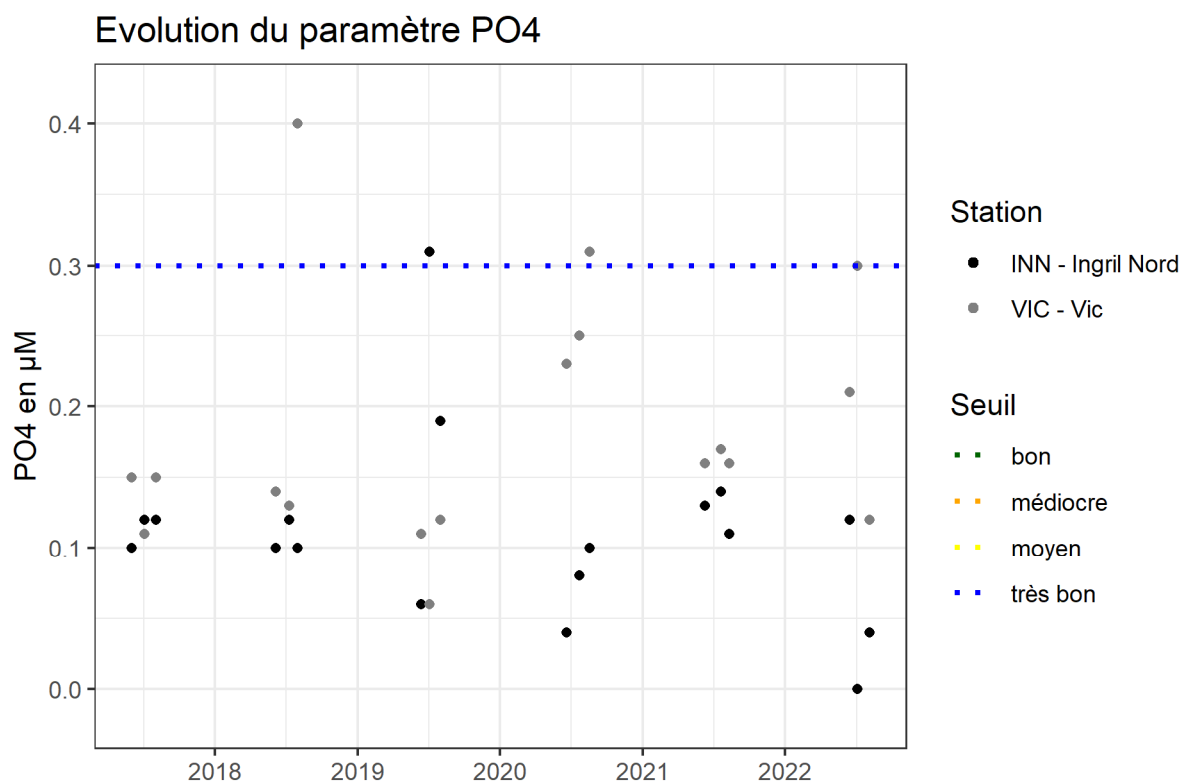
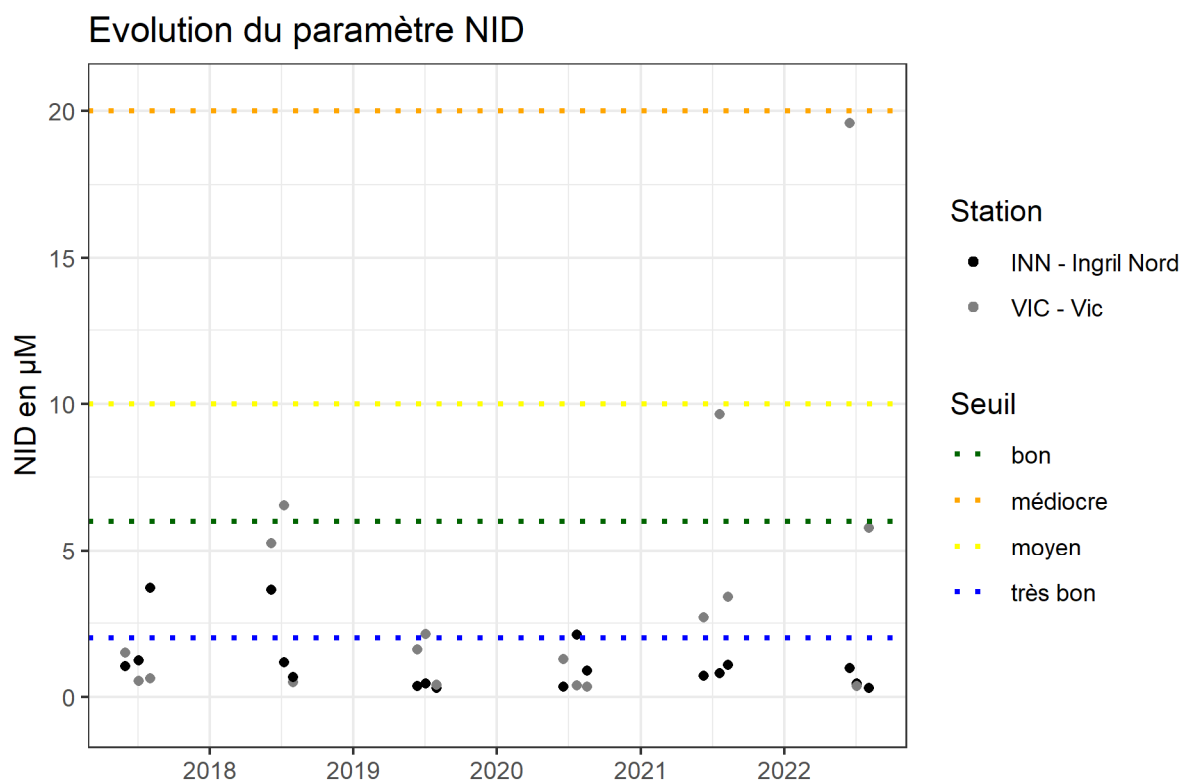


Figure 11c-2. Concentrations en NID et PO_4^{3-} (μM) des étés 2017 à 2022 aux Palavasiens-Ouest.

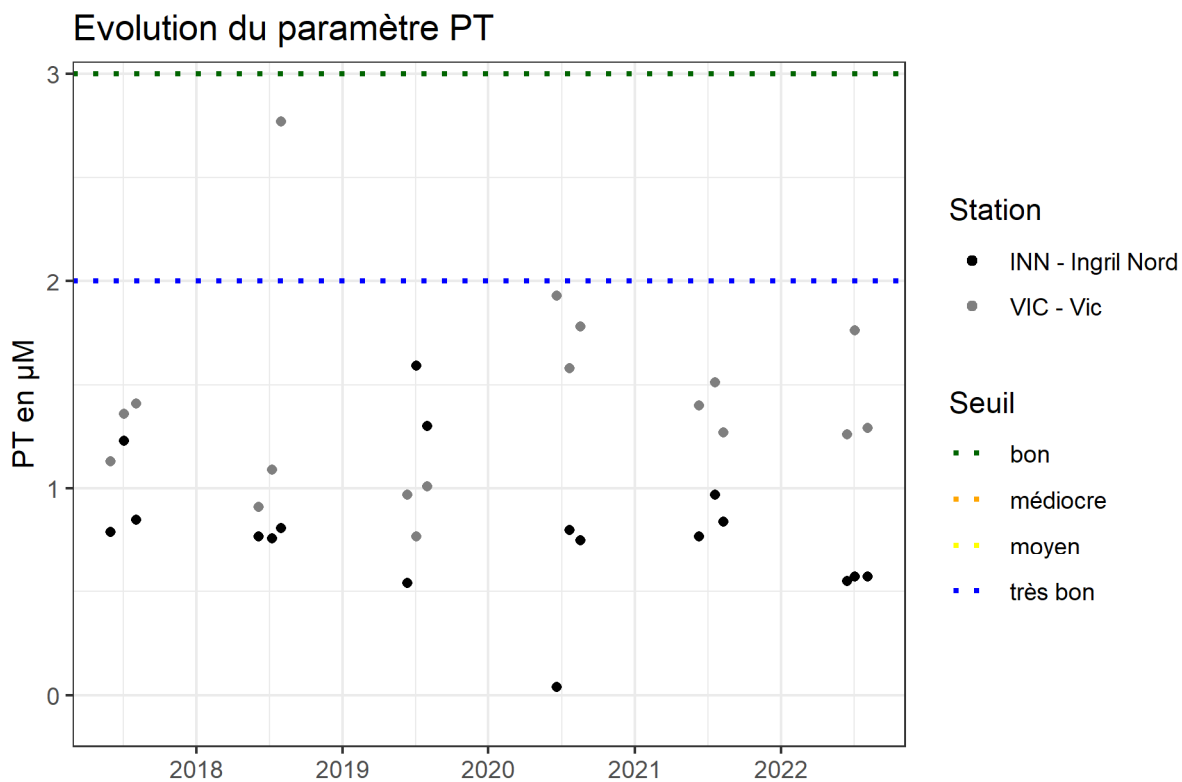
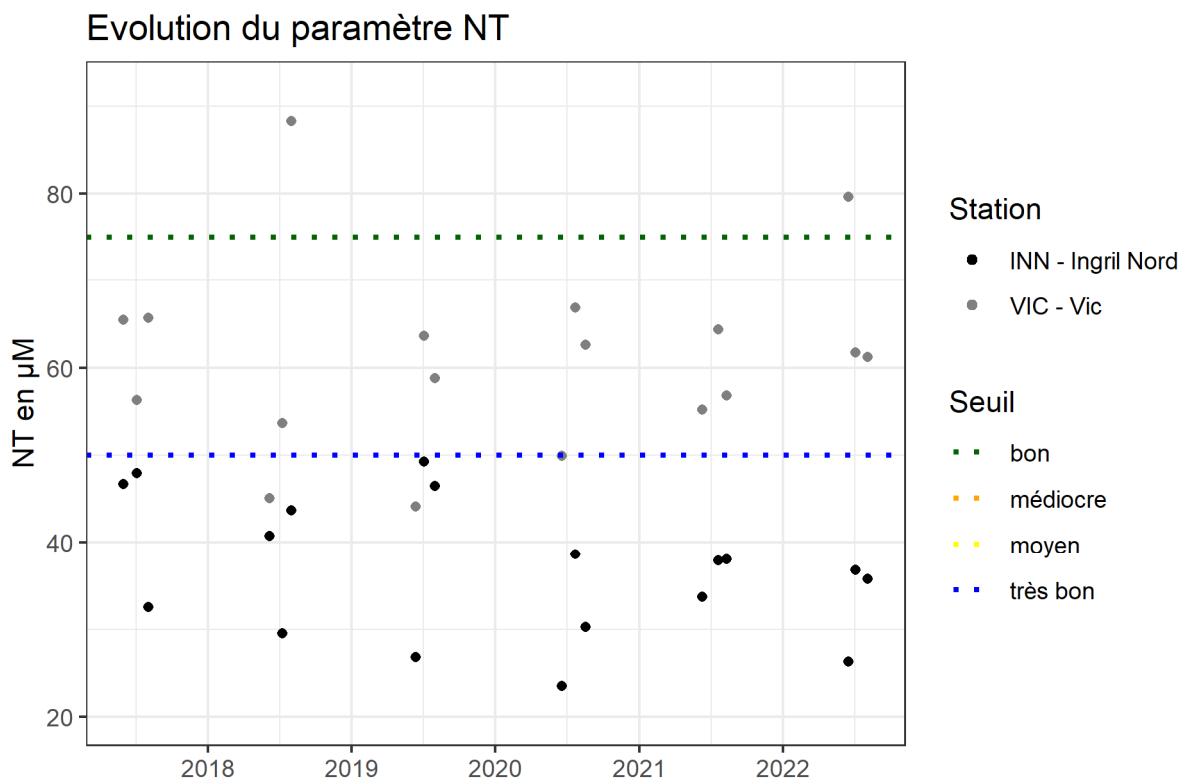


Figure 11c-3. Concentrations en NT et PT (μM) des étés 2017 à 2022 aux Palavasiens-Ouest.

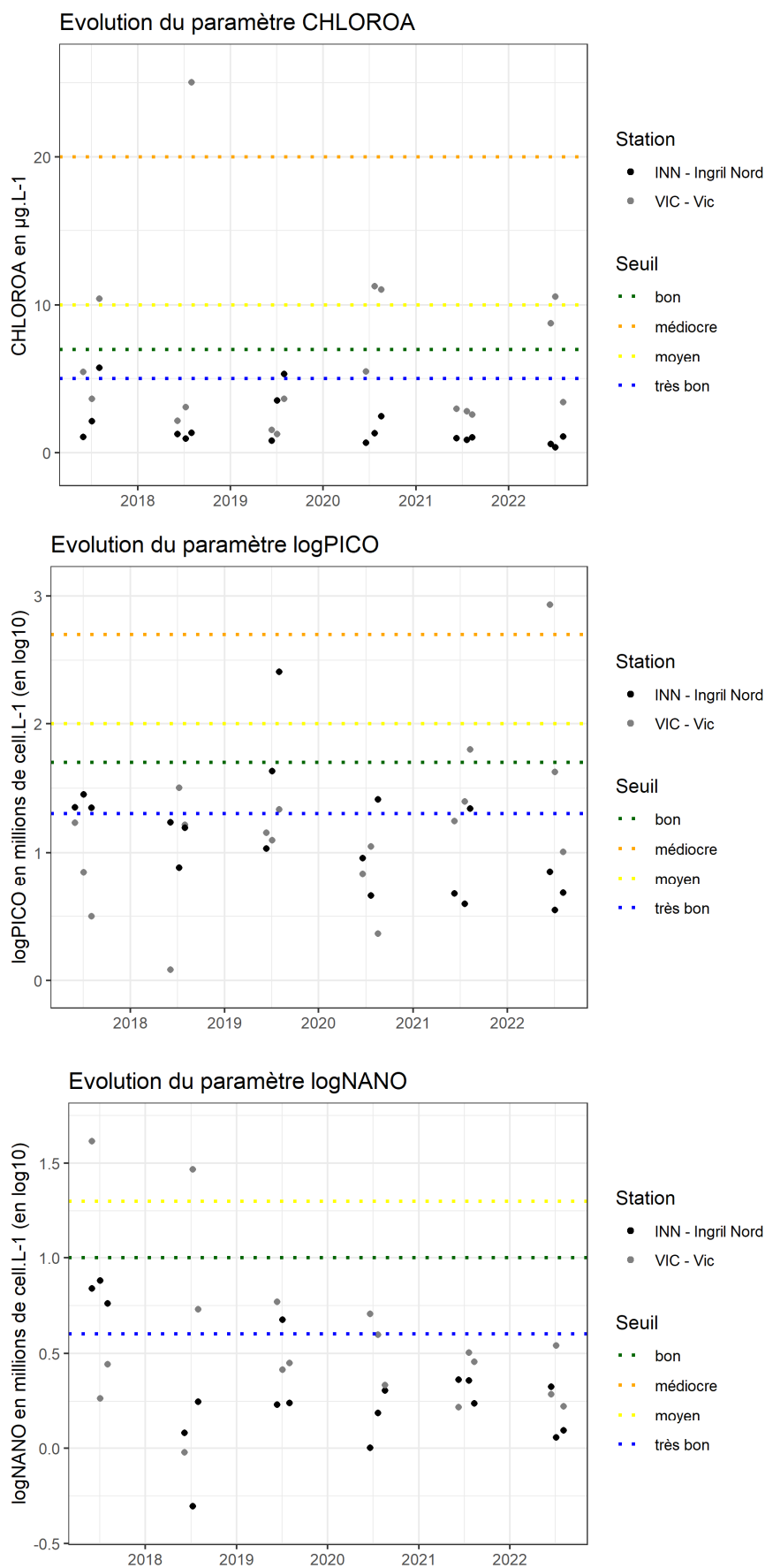


Figure 11c-4 (de haut en bas). Concentration de chlorophylle-*a* ($\mu\text{g}/\text{L}$), abondances de pico- et de nano-phytoplancton (millions de cellules/ L , valeurs en \log_{10}) des étés 2017 à 2022 aux Palavasiens-Ouest.

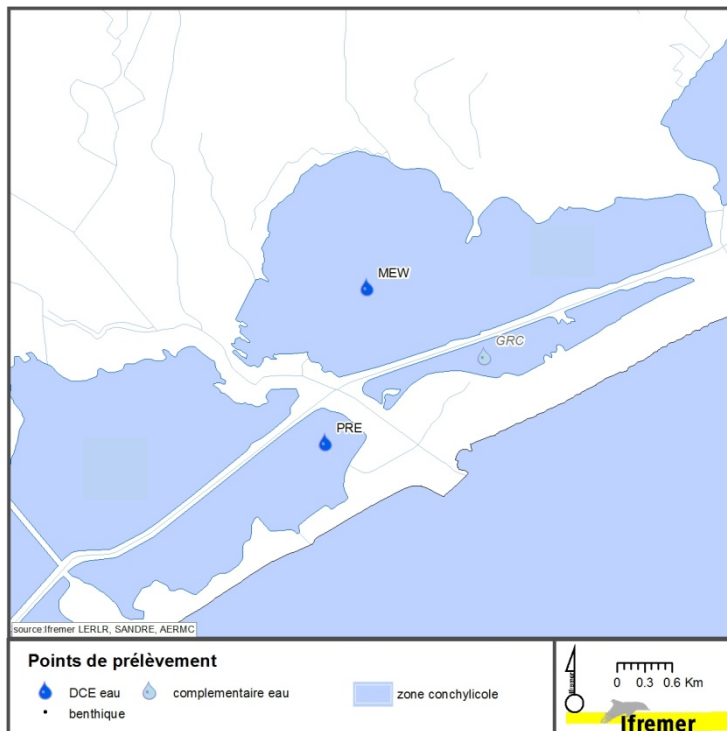


Figure 11b-1. Localisation des stations de suivi sur les étangs Palavasiens-Est.

Tableau 11b-1. Colonne d'eau : état physico-chimique DCE 2022* pour Palavasiens-Est (N=18).

	P90 et état	Confiance (%)	Tendance sur la période 2017-2022
NID	8.6	0-20-46-34-0	➡
PO4	0.6	0-100-0-0-0	➡
NT	66.1	0-94-6-0-0	➡
PT	2.8	0-93-7-0-0	➡
Etat physico-chimique			

Tableau 11b-2. Phytoplancton : état DCE 2022* pour Palavasiens-Est (N=18).

	EQR et état	Confiance (%)	Tendance sur la période 2017-2022
Biomasse	0.29	0-0-35-45-20	➡
Abondance	0.11	0-0-1-93-6	➡
Phytoplancton	0.2	0-0-4-92-4	➡

Confiance : seulement 46% de confiance associée à l'état moyen pour NID et 45% à l'état médiocre pour la biomasse phytoplanctonique. **Tendance** : pas de tendance mais, par rapport à 2020, amélioration de deux classes pour la physico-chimie et d'une classe pour le phytoplancton.

• Etat de la colonne d'eau et du phytoplancton (*données de 2017 à 2022) :

Le diagnostic de la masse d'eau « Palavasiens Est » est effectué à partir du suivi de 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 historiquement la plus dégradée du complexe des étangs palavasiens, et l'une des lagunes les plus eutrophisées d'Occitanie. La lagune du Prévost est 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 7.5.

Cette masse d'eau est caractérisée par un état moyen des paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau et un état médiocre du phytoplancton au cours de la période 2017-2022 (Tableaux 11b-1 et 11b-2).

Cependant, c'est la première fois qu'un diagnostic aussi « bon » est mis en évidence sur cette masse d'eau qui montre enfin, plus de quinze ans après la mise en service de l'émissaire en mer de la station d'épuration de l'agglomération montpellieraine (MAERA en 2005), une amélioration générale des indicateurs d'eutrophisation dans l'eau, amélioration relativement stable à l'échelle de la dernière période d'observation de six ans. **Ces meilleurs résultats pour les paramètres de la colonne d'eau (physico-chimie et phytoplancton) ont débuté dès 2017 et se confirment année après année depuis 6 ans.** L'étang du Méjean enregistre assez logiquement les teneurs les plus élevées en PT, NT, PO4 et chlorophylle-*a* dans la colonne d'eau, sous forme de pics souvent en fin d'été. Cela contraste avec le Prévost où plusieurs indicateurs montrent des valeurs compatibles avec le bon état depuis plusieurs années (à l'exception de la chlorophylle-*a* et du picophytoplancton en état moyen). Le Méjean est donc le point qui conditionne l'état de cette masse d'eau. La station complémentaire du Grec suit la même dynamique positive, sans se singulariser nettement des deux autres stations, si ce n'est par quelques pics d'ammonium et de biomasses phytoplanctoniques parfois plus concentrés que sur le Méjean (Annexe 7.5). Les dernières années ont été les plus chaudes jamais enregistrées selon Météo-France, ce qui peut avoir une incidence sur les diagnostics de l'eutrophisation réalisés. Mais en matière de pluviométrie, les six dernières années, bien qu'inscrites dans une période relativement sèche, ont montré des niveaux de précipitation assez différents (>950 mm en 2018 contre près de 300 mm tombés en 2017 à Montpellier-Fréjorgues) et des périodes plus humides contrastées, qui suggèrent que les étangs Palavasiens-Est sont engagés dans une réelle dynamique de restauration, laquelle fournit aujourd'hui des résultats « visibles » au niveau des indicateurs de l'état vis-à-vis de l'eutrophisation. La période 2005-2015, pendant laquelle les indicateurs ne semblaient pas évoluer, était probablement liée à l'inertie due aux relargages sédimentaires et possiblement à la réorganisation des communautés microbiennes naturelles après l'arrêt du rejet de MAERA dans le Lez. A l'inverse des indicateurs de la colonne d'eau, le compartiment des macrophytes ne semble pas encore donner de signes d'amélioration (Cimiterra *et al.*, 2022), son diagnostic reste stable, en état médiocre entre 2015 et 2021. **Sur la période 2017-2022, 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 les caractéristiques physico-chimiques de la colonne d'eau.**

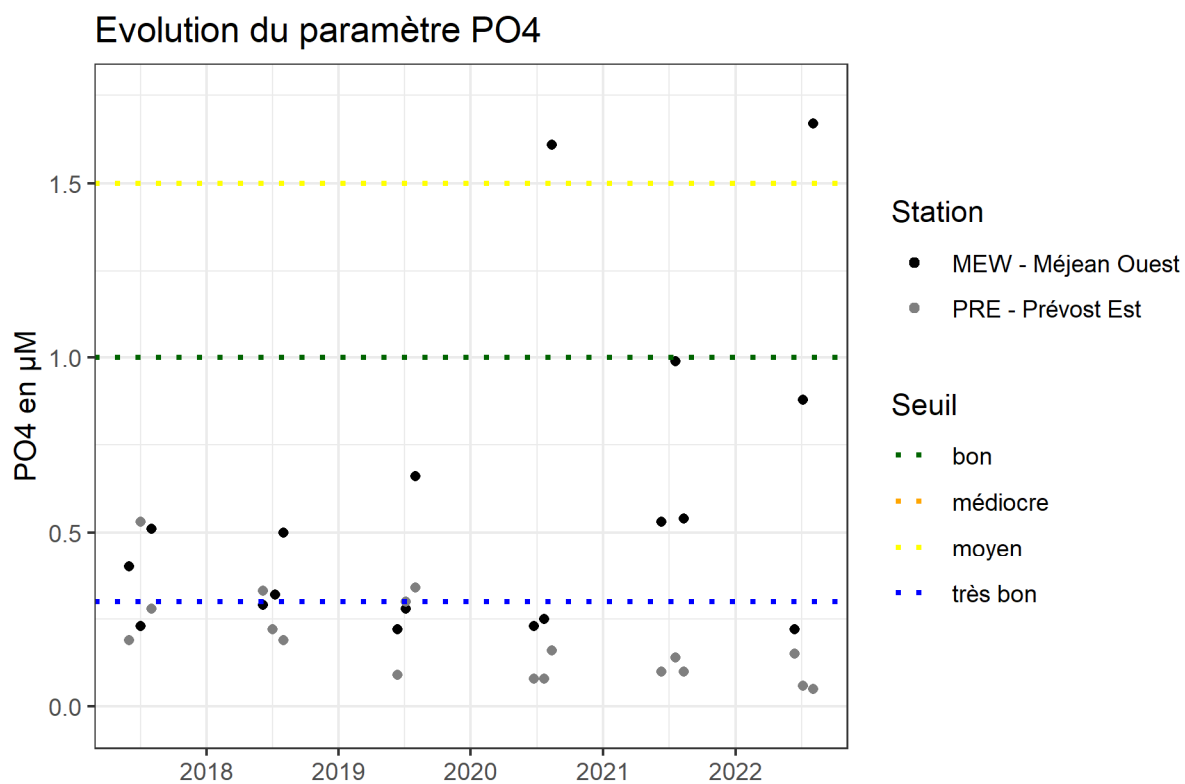
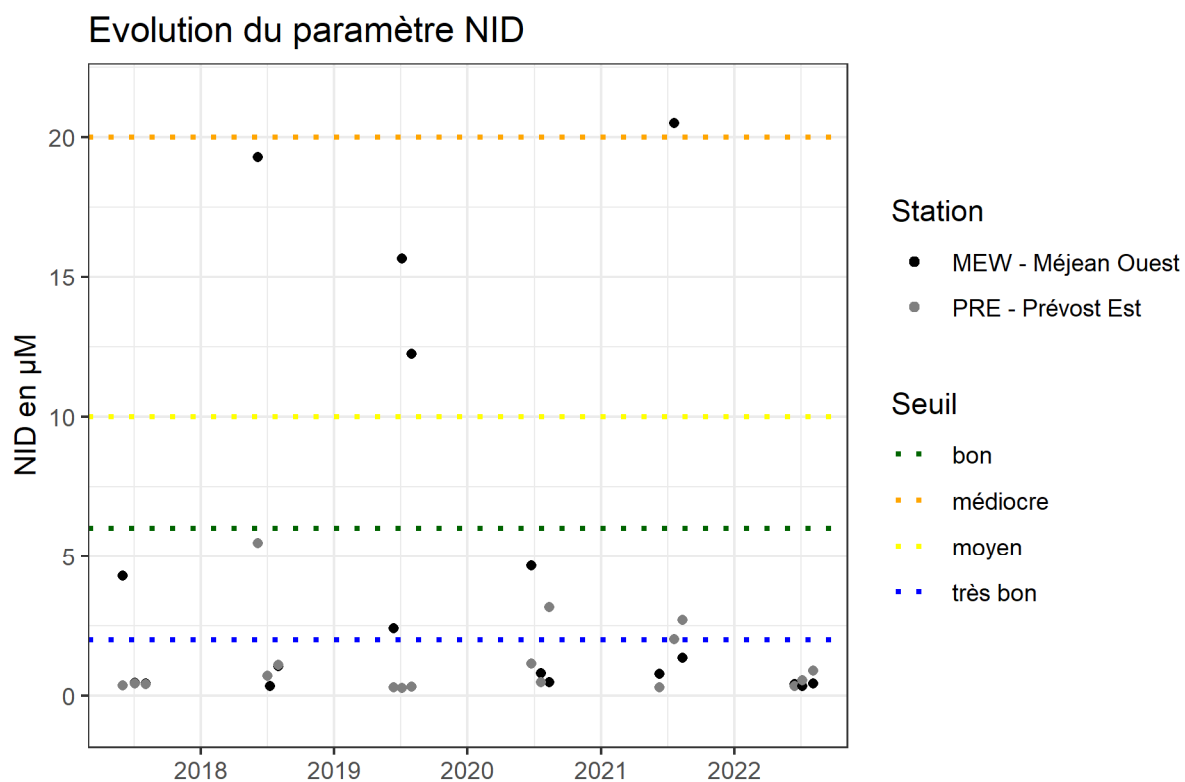
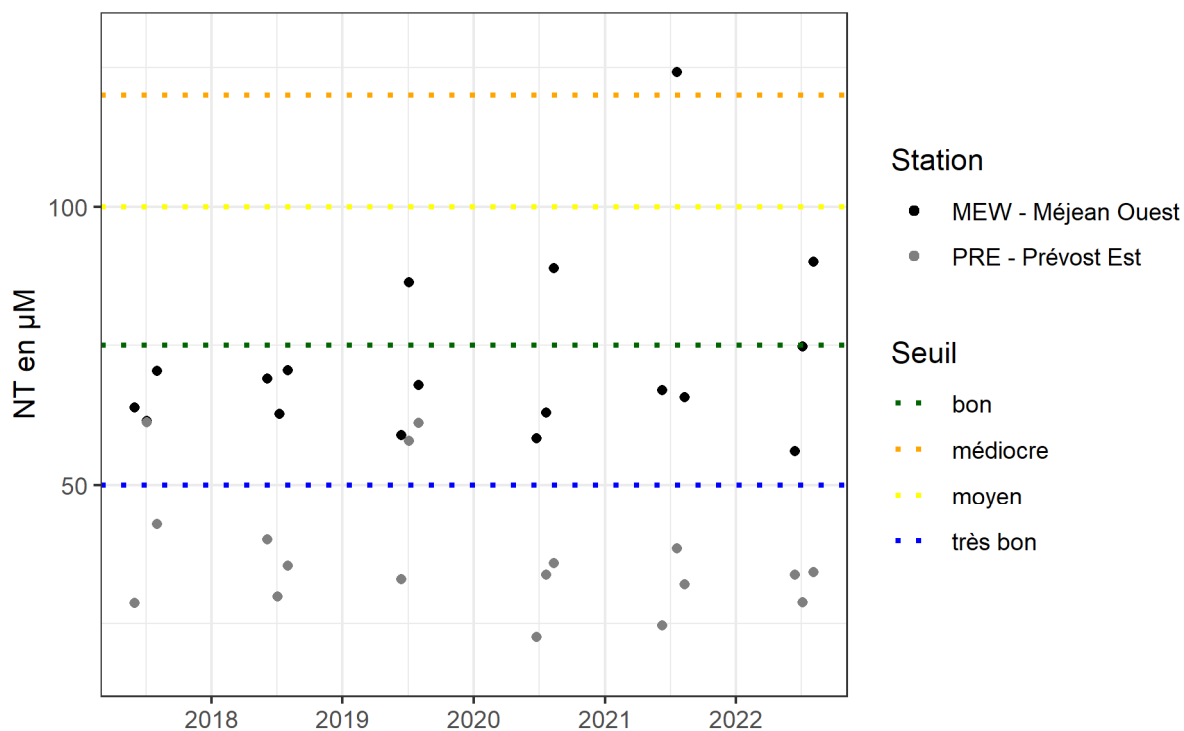


Figure 11b-2. Concentrations en NID et PO₄³⁻ (µM) des étés 2017 à 2022 aux Palavasiens-Est.

Evolution du paramètre NT



Evolution du paramètre PT

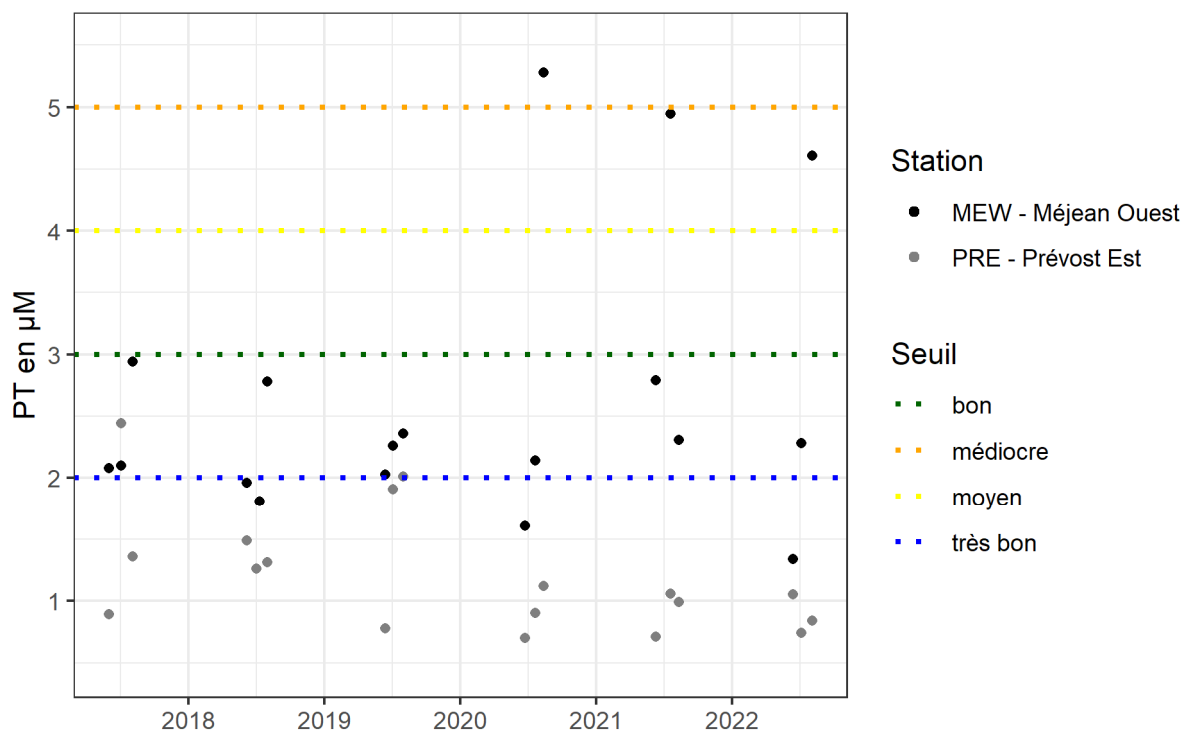


Figure 11b-3. Concentrations en NT et PT (µM) des étés 2017 à 2022 aux Palavasiens-Est.

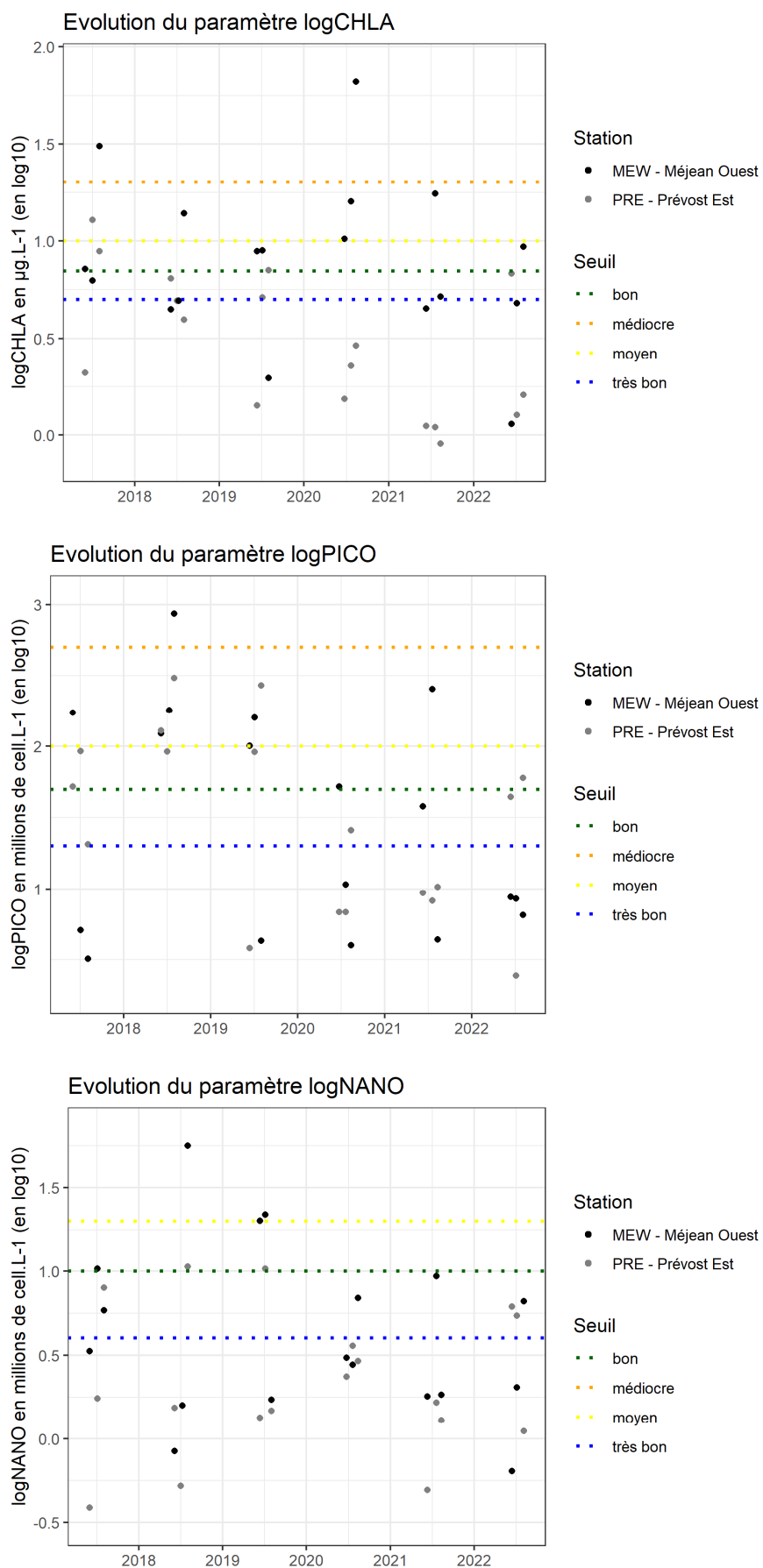


Figure 11b-4 (de haut en bas). Concentration de chlorophylle-*a* ($\mu\text{g/L}$), abondances de pico- et de nano-phytoplancton (millions de cellules/L) des étés 2017 à 2022 aux Palavasiens-Est (valeurs en \log_{10}).

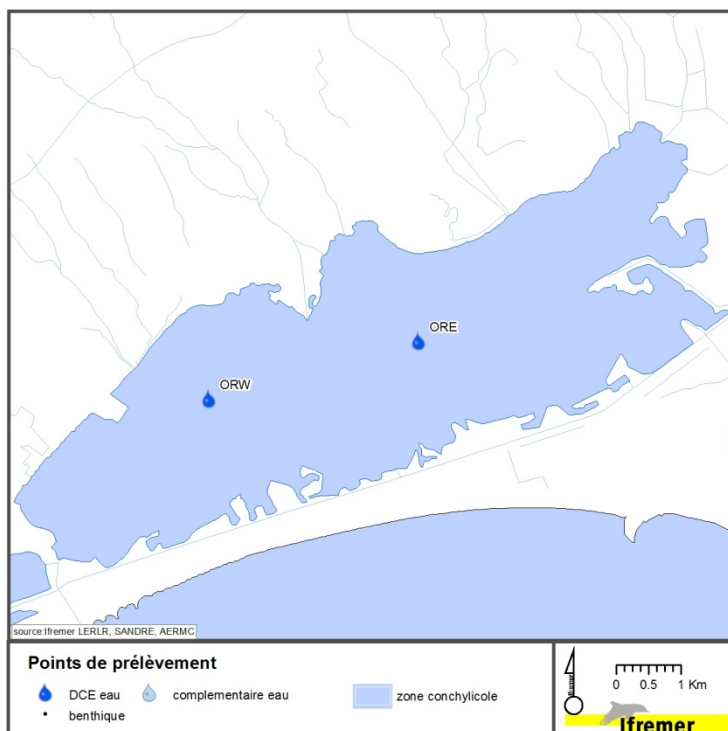


Figure 11a-1. Localisation des stations de suivi sur l'étang de l'Or.

Tableau 11a-1. Colonne d'eau : état physico-chimique DCE 2022* pour Or (N=18).

	P90 et état	Confiance (%)	Tendance sur la période 2017-2022
NID	30.9	1-4-8-26-60	➡
PO4	2.5	0-0-0-100-0	↓ - 0.39 μM/an
NT	168.3	0-0-0-0-100	↓ - 18.73 μM/an
PT	8.3	0-0-0-0-100	➡
Etat physico-chimique			

Tableau 11a-2. Phytoplancton : état DCE 2022* pour Or (N=18).

	EQR et état	Confiance (%)	Tendance sur la période 2017-2022
Biomasse	0.09	0-0-0-0-100	↓ - 6.51 μg/L/an
Abondance	0.01	0-0-0-0-100	➡
Phytoplancton	0.05	0-0-0-0-100	➡

! **Tendance** : baisse monotone de PO4, NT et de la biomasse phytoplanctonique.

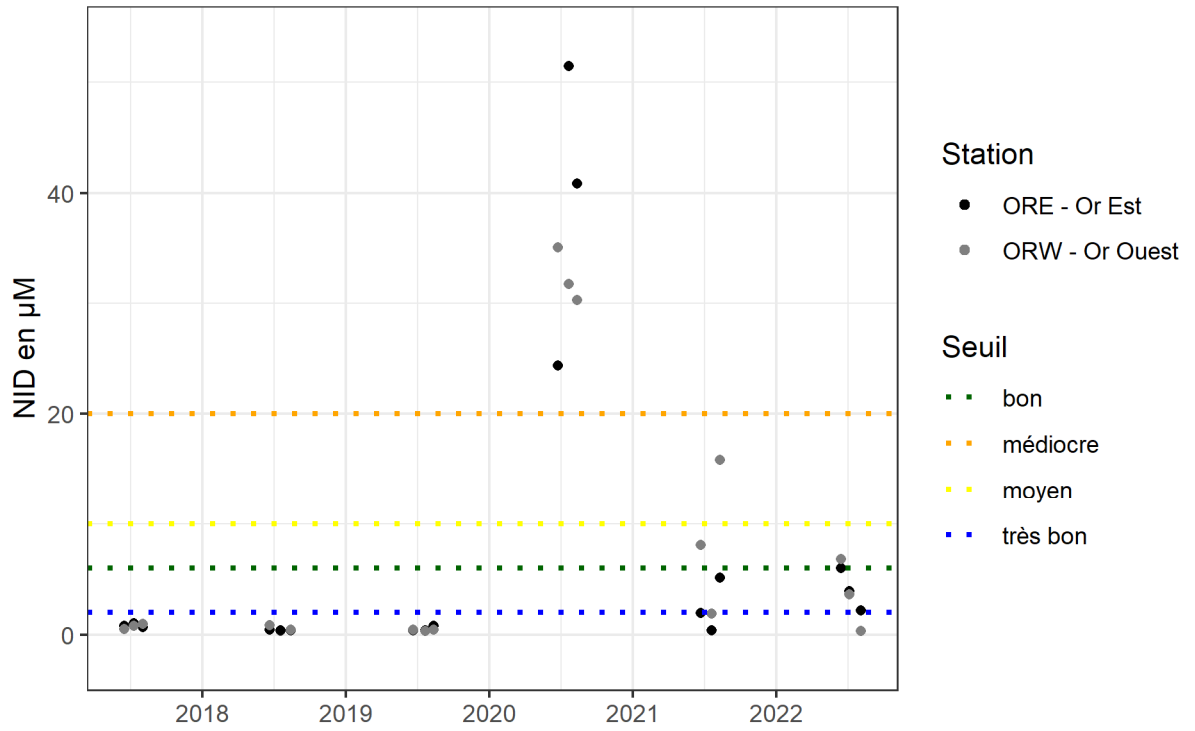
• Etat de la colonne d'eau et du phytoplancton (*données de 2017 à 2022) :

Pour la masse d'eau « Or », la problématique « eutrophisation » est toujours prégnante avec des indicateurs azote total (NT), phosphore total (PT) et phytoplancton classés en mauvais état et associés au 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. Les apports sont encore estimés à 90 t d'azote et environ 8 t de phosphore en 2017-18 (SYMBO, 2019). Toutefois, **plusieurs indicateurs enregistrés ces dernières années vont dans le sens d'une amélioration générale de l'écosystème et contrastent avec les résultats précédents sur cette lagune**. Par exemple, le diagnostic des macrophytes réalisé en 2021 conclut à un état toujours mauvais de ce compartiment, mais souligne une augmentation du recouvrement végétal de 20% ainsi qu'une nette progression de la richesse spécifique. Les 8 « nouvelles » espèces observées en 2021 par rapport à 2017, sont cependant toutes des espèces opportunistes (Cimiterra *et al.*, 2022). Le compartiment sédimentaire semble être sur une tendance au déstockage de phosphore, comme l'indiquent les teneurs sédimentaires mesurées en 2019 par rapport à celles de 2010 (SYMBO & Ifremer, 2023). A l'inverse de la période 1999-2010 qui voyait le phosphore s'accumuler dans les sédiments, cette tendance est confirmée par la modélisation GAMELag qui pointe ce compartiment comme un compartiment clé de la restauration, sur lequel il est indispensable d'acquérir des données plus fines pour préciser la dynamique écologique de la lagune (Fiandrino *et al.*, soumis). Enfin, concernant la colonne d'eau, on note depuis deux ans des niveaux de nutriments dissous dans l'eau extrêmement faibles en été, autant au niveau des formes azotées que phosphorées, et on enregistre les niveaux les plus faibles de chlorophylle *a* et de picophytoplancton sur la période considérée. Ces résultats contrastent avec les deux typologies de fonctionnement qui s'opéraient jusqu'à présent sur cette lagune et qui entraînaient alternativement des limitations par l'azote ou par le phosphore de la production primaire selon les années (Derolez *et al.*, 2021). La production primaire phytoplanctonique reste toutefois en mauvais état sur cette lagune. Néanmoins, on note pour la première fois des tendances monotones à la décroissance pour plusieurs paramètres de la colonne d'eau, tels que les phosphates, l'azote total et la biomasse phytoplanctonique (Tableaux 11a-1 et 11a-2). Les autres paramètres sont globalement à des niveaux inférieurs lors des 3 dernières années (2020-2022), par rapport aux 3 premières années (2017-2019) de la période considérée, même si aucune tendance monotone n'est détectée. Même si on ne peut pas encore parler de dynamique de restauration sur cette lagune, compte tenu des conditions climatiques favorables de ces dernières années (peu de pluies), ces résultats suggèrent une inflexion dans la trajectoire écologique.

Sur la période 2017-2022, la masse d'eau « Or » ne répond pas aux exigences de la DCE vis-à-vis de l'état biologique concernant le phytoplancton et les caractéristiques physico-chimiques de la colonne d'eau.

Evolution du paramètre NID



Evolution du paramètre PO4

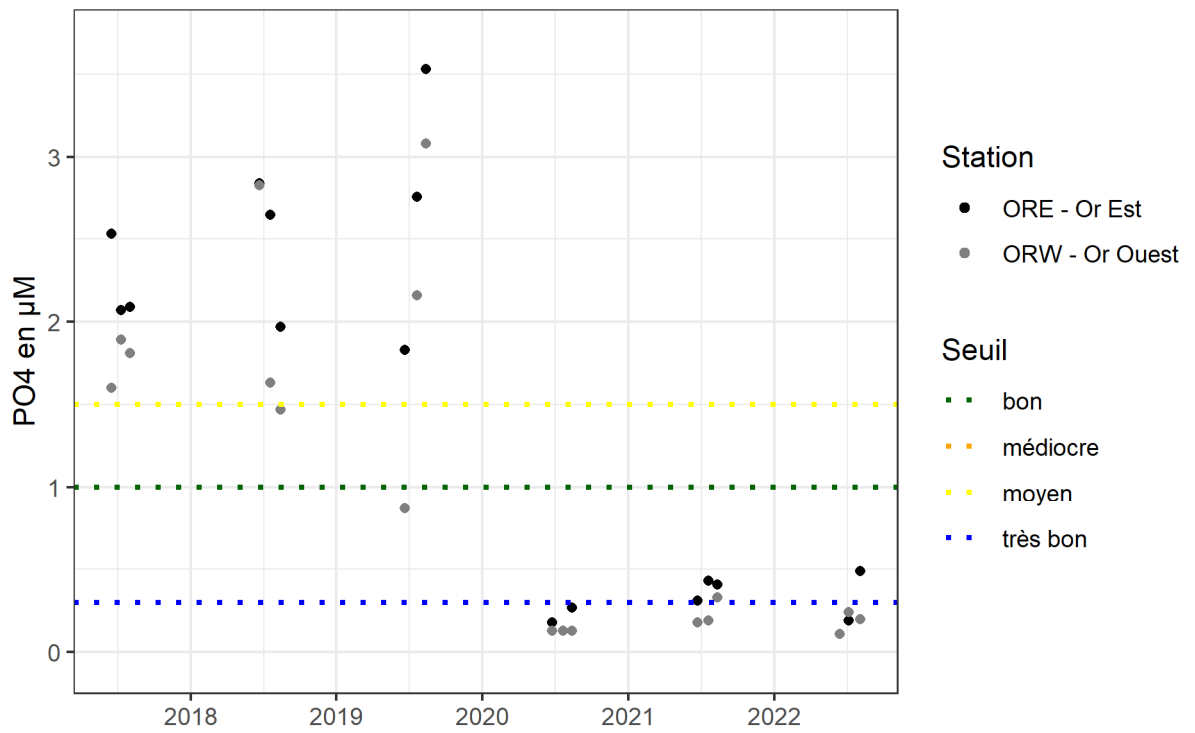


Figure 11a-2. Concentrations en NID et PO₄³⁻ (µM) des étés 2017 à 2022 à l'Or.

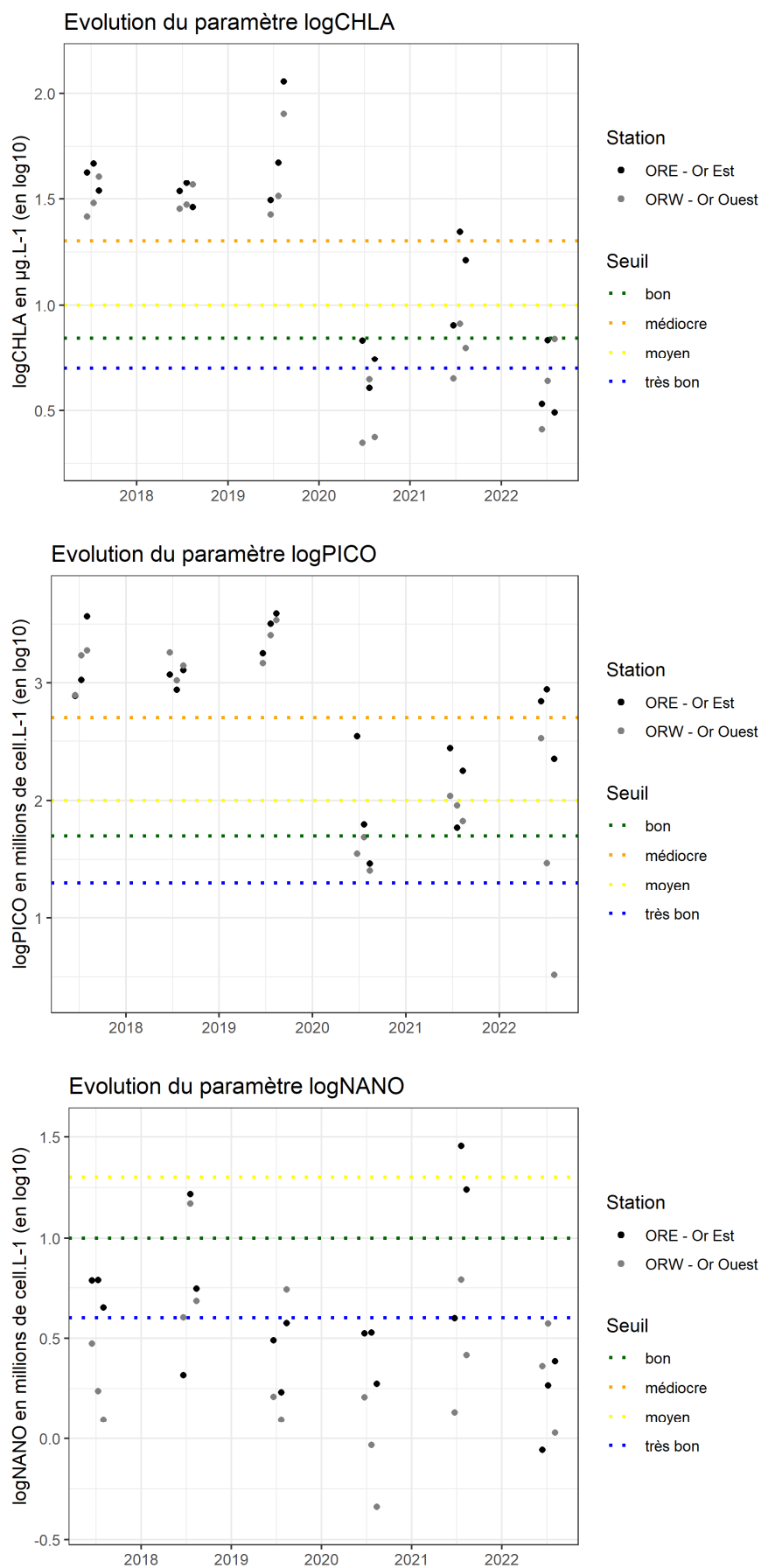


Figure 11a-4 (de haut en bas). Concentration de chlorophylle-*a* ($\mu\text{g/L}$), abondances de pico- et de nano-phytoplancton (millions de cellules/L des étés 2017 à 2022 à l'Or (valeurs en \log_{10})).

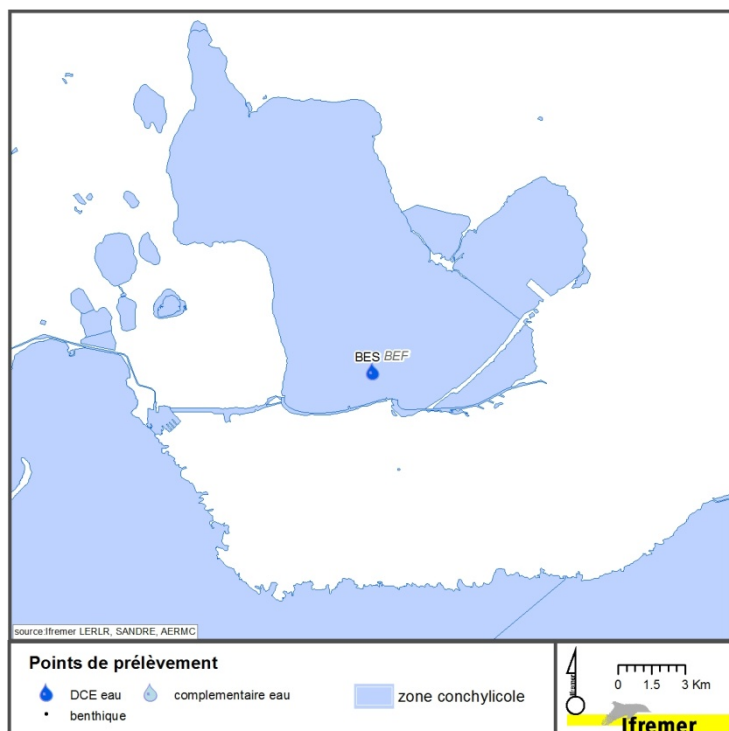


Figure 15a-1. Localisation des stations de suivi sur Berre.

Tableau 15a-1. Colonne d'eau : état physico-chimique DCE 2022* pour Berre (N=17).

	P90 et état	Confiance (%)	Tendance sur la période 2017-2022
NID	0.4	100-0-0-0-0	➡
PO4	0.2	100-0-0-0-0	➡
NT	28.7	100-0-0-0-0	➡
PT	1.2	100-0-0-0-0	➡
Etat physico-chimique			

Tableau 15a-2. Phytoplancton : état DCE 2022* pour Berre (N=17).

	EQR et état	Confiance (%)	Tendance sur la période 2017-2022
Biomasse	0.59	9-91-0-0-0	➡
Abondance	0.21	0-14-80-6-0	➡
Phytoplancton	0.4	0-76-24-0-0	➡

! **Confiance** : 100% de confiance associée au très bon état physico-chimique.

• Etat de la colonne d'eau et du phytoplancton (*données de 2017 à 2022) :

L'étang de Berre est découpé en deux masses d'eau : « Berre - Grand étang » et « Vaine ». 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 7.5.

Sur la période 2017-2022, 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 », confortant les états observés sur la période 2015-2020. Sur les périodes précédentes de diagnostic (2013-2018 et 2011-2016), 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. Sur la période 2017-2022, les concentrations en phosphore et en azote n'ont pas de tendance particulière et semblent constantes.

Les été 2018 et 2021 sont caractérisés par des anoxies effectives à la station de fond (BEF, 0 mg O₂/L). En 2019, 2020 et 2022, cette station est également caractérisée par des valeurs d'O₂ inférieures au seuil de l'hypoxie (< 2 mg O₂/L) (Annexe 7.6).

Les concentrations en chlorophylle *a* mesurées à la station BES sont relativement stables sur les périodes estivales 2017-2022, avec des intervalles de confiance couvrant deux classes de qualité (« très bon » et « bon ») pour l'EQR « biomasse » (Annexe 7.4). Les abondances de pico- et de nano-phytoplancton sont variables sur les périodes estivales 2017-2022, avec un intervalle de confiance couvrant trois classes de qualité pour l'EQR « abondance » (Annexe 7.4). Sur la période 2017-2022, l'EQR Phytoplancton est caractéristique d'un état « bon », confortant les résultats de la période 2015-2020. L'évolution de l'EQR « Phytoplancton » est à mettre en relation avec l'évolution du diagnostic Macrophytes, qui indiquait en 2017 une amélioration de la masse d'eau en « état médiocre », état conforté par le diagnostic réalisé en 2020 (Cimiterra *et al.*, 2022).

Sur la période 2017-2022, l'état physico-chimique et biologique du phytoplancton de la masse d'eau « Berre-Grand étang » répondent aux exigences de la DCE.

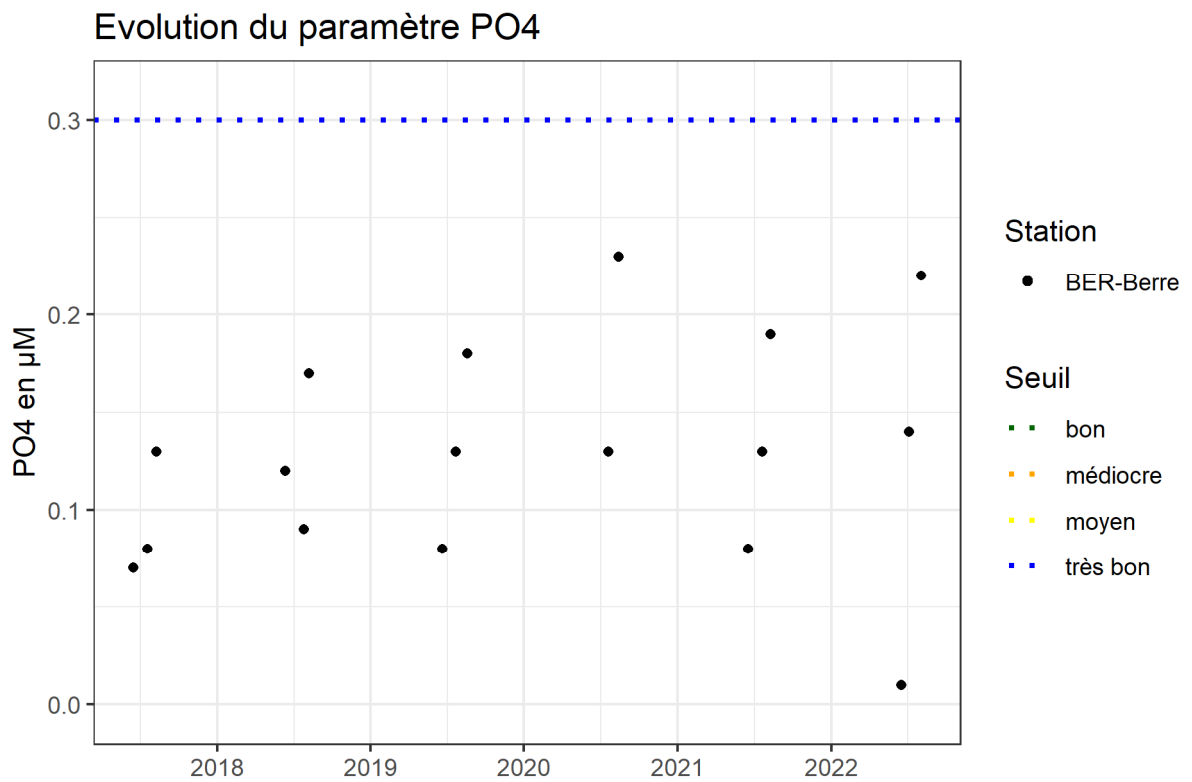
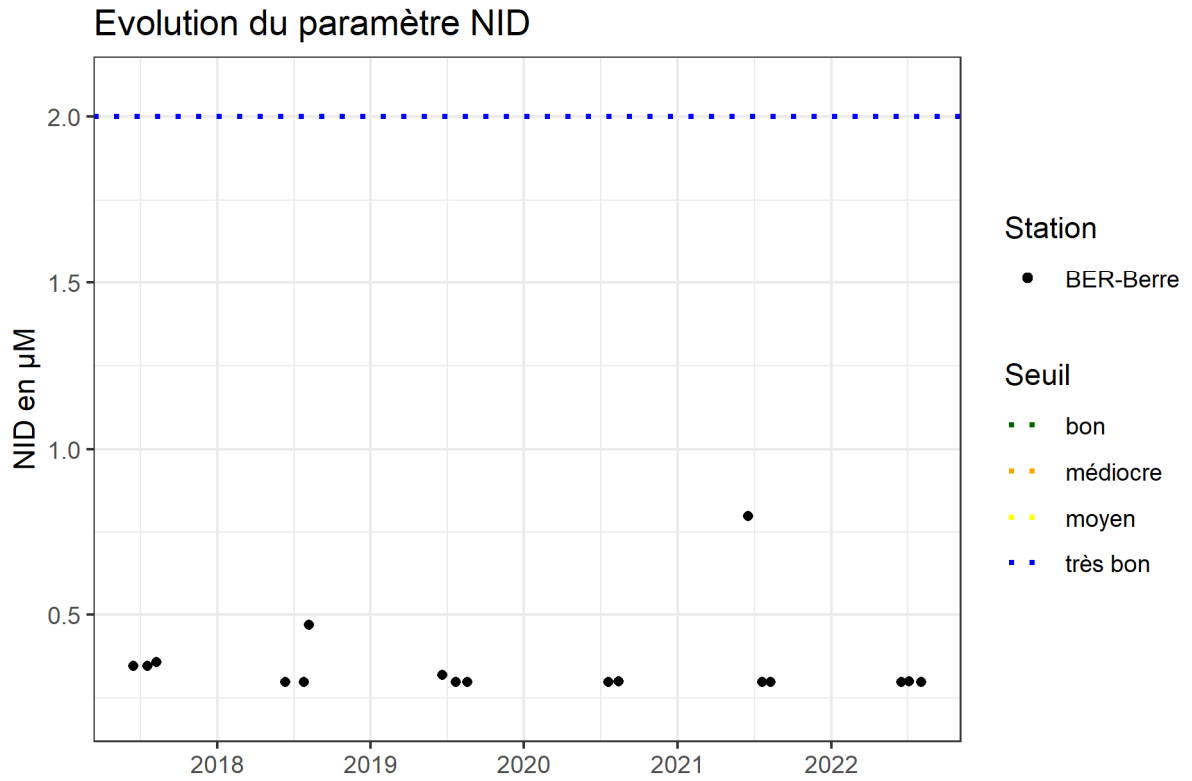


Figure 15a-2. Concentrations en NID et PO₄³⁻ (µM) des étés 2017 à 2022 à Berre.

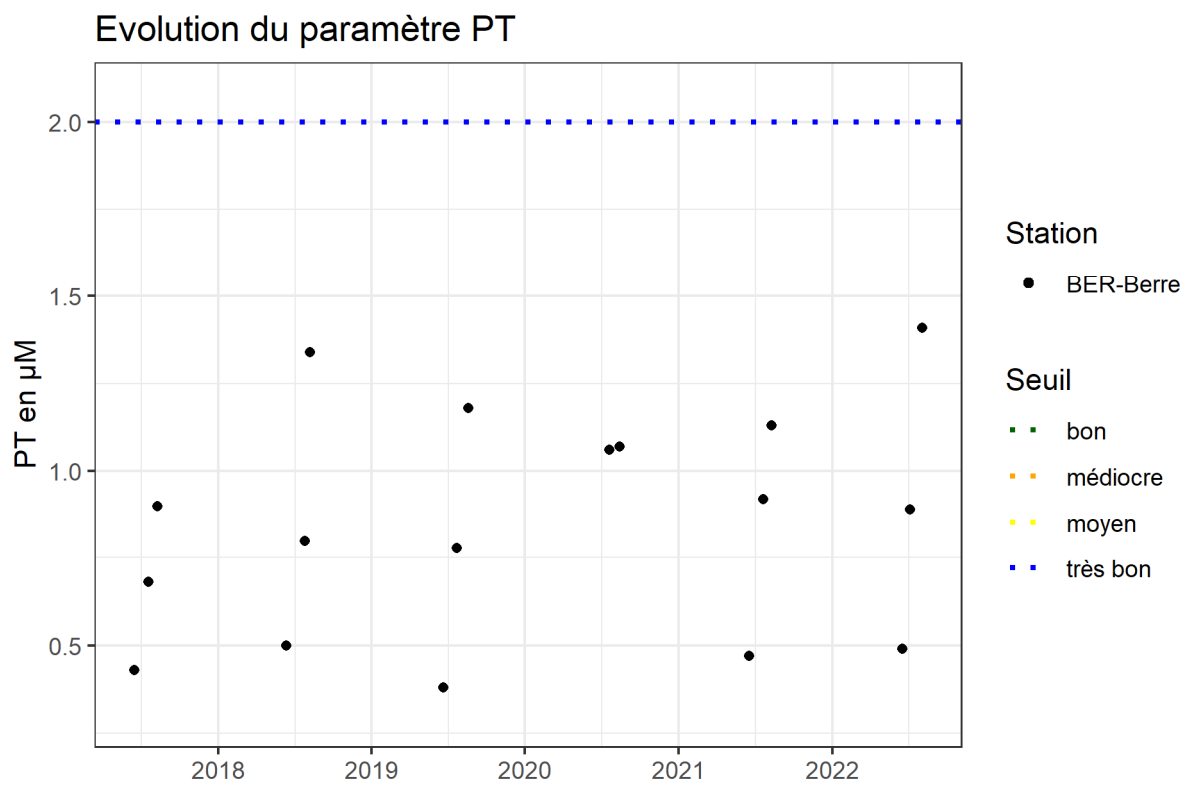
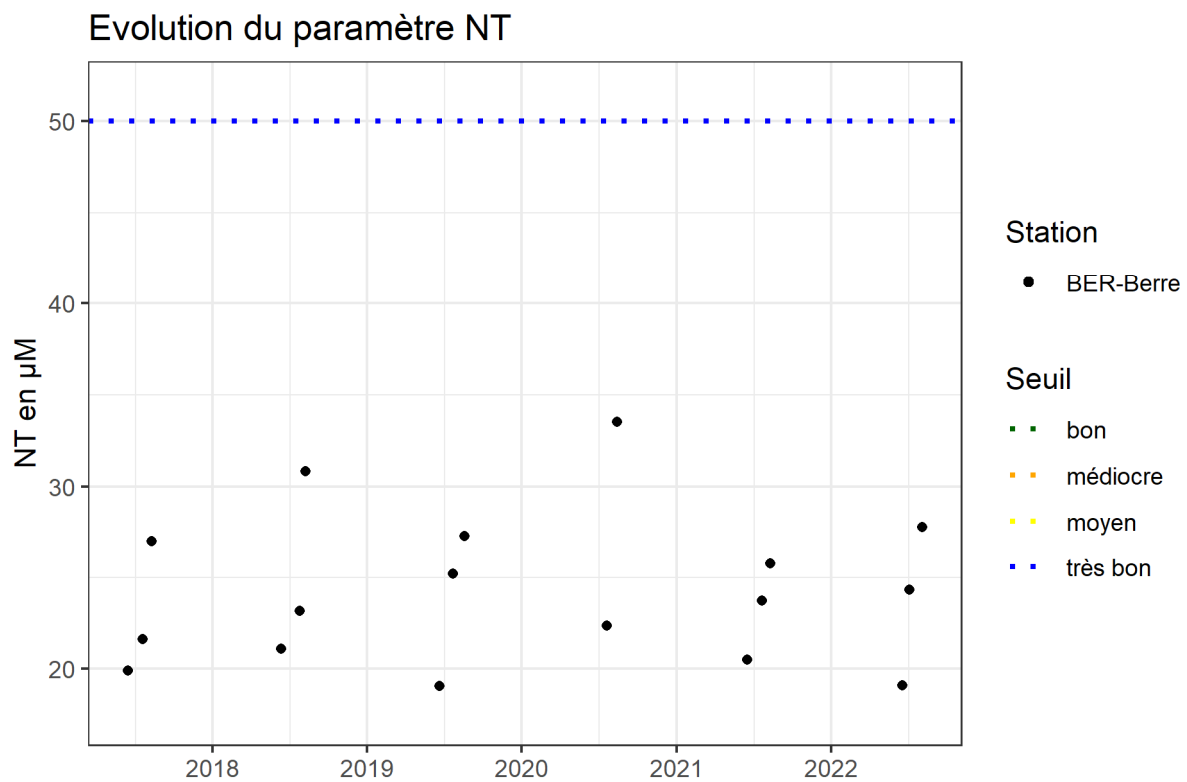


Figure 15a-3. Concentrations en NT et PT (µM) des étés 2017 à 2022 à Berre.

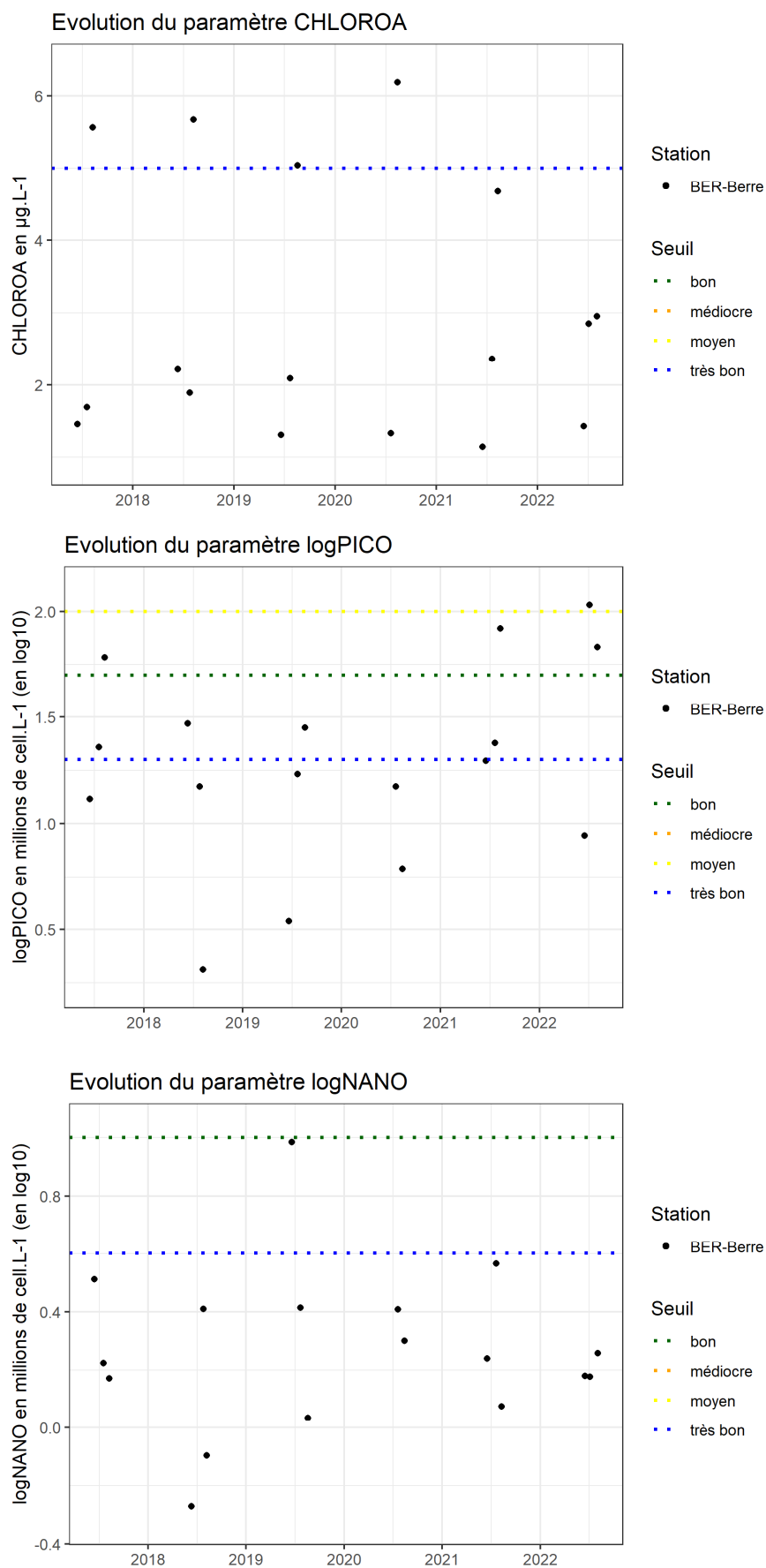


Figure 15a-4 (de haut en bas). Concentration de chlorophylle-*a* (µg/L), abondances de pico- et de nano-phytoplancton (millions de cellules/L, valeurs en log10) des étés 2017 à 2022 à Berre.

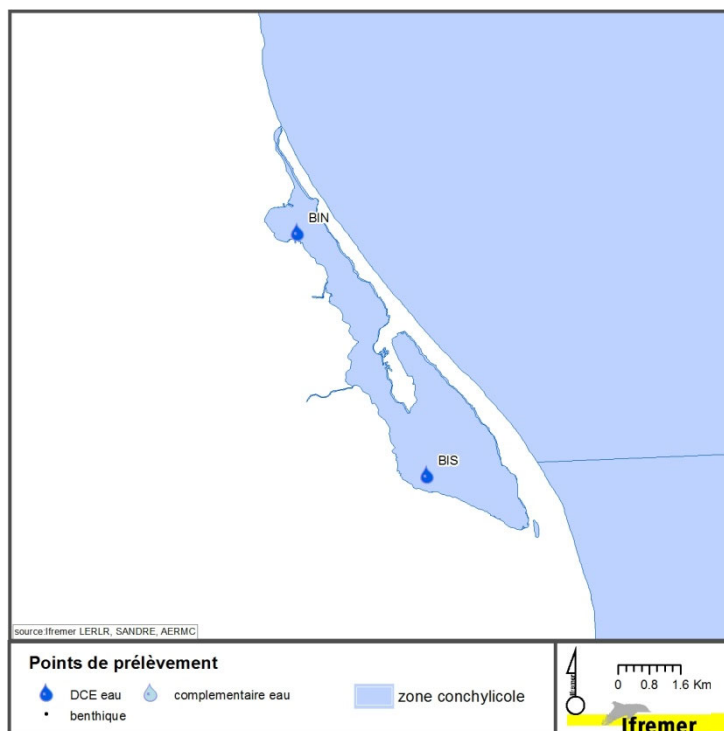


Figure E1-1. Localisation des stations de suivi sur Biguglia.

Tableau E1-1. Colonne d'eau : état physico-chimique DCE 2022* pour Biguglia (N=18).

	P90 et état	Confiance (%)	Tendance sur la période 2017-2022
NID	1.7	68-32-0-0-0	➡
PO4	0.4	0-100-0-0-0	➡
NT	61.8	0-100-0-0-0	➡
PT	2.1	38-62-0-0-0	➡
Etat physico-chimique			

Tableau E1-2. Phytoplancton : état DCE 2022* pour Biguglia (N=18).

	EQR et état	Confiance (%)	Tendance sur la période 2017-2022
Biomasse	0.27	3-6-10-81-0	➡
Abondance	0.26	0-40-23-36-0	➡
Phytoplancton	0.26	0-15-48-37-0	➡

Confiance : seulement 23% de confiance associée à l'état moyen pour l'abondance et 48% pour l'EQR phytoplanctonique. **Tendance** : pas de tendance mais amélioration d'1 classe pour le phytoplancton depuis 2020.

• Etat de la colonne d'eau et du phytoplancton (*données de 2017 à 2022) :

La masse d'eau « Biguglia » est suivie au niveau de deux stations situées au nord et au sud (Figure E1-1). Sur la période 2017-2022, 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 des deux diagnostics précédents (2015-2020 et 2013-2018) et des EQR et états pour le phosphate inorganique dissous (PO4), l'azote et le phosphore totaux (NT et PT) identiques. Il est à noter deux valeurs élevées de NT et PT en 2022 (Figure E1-3).

Les EQR et états du phytoplancton gagnent une classe de qualité par rapport à la période précédente, passant tout juste de « médiocre » pour la période de 2015-2020 à « moyen » pour 2017-2022 (EQR phytoplancton à 0,2 points du seuil moyen-médiocre). Les valeurs d'abondances du pico- et nano-phytoplancton semblent stables depuis 2019 (Figure E1-4) pour les deux bassins. A noter le léger déclassement d'une classe de qualité du paramètre biomasse passant d'un EQR de 0,35 à 0,27 (Tableau E1-1).

Globalement, il est à noter une stabilisation de l'état de la lagune vis-à-vis de l'eutrophisation sur les deux derniers diagnostics sur une période allant de 2015 à 2022. Depuis 2020, la station Météo-France de Bastia enregistre de très faibles cumuls de pluie, en particulier en 2021 avec un déficit de 250 mm et en 2022 plus de deux fois moins de précipitations cumulées annuelles que la normale (cf. § 3.2, Figure 5). Ceci peut expliquer la baisse des apports de nutriments, en plus des efforts entrepris pour réduire les apports d'azote et de phosphore sur le bassin versant de la lagune.

En parallèle, la salinité de la lagune n'a cessé de diminuer depuis 2017, passant de 31,6 à 9,8 en 2021 et 22 en 2022 dans le bassin Nord et de 24,2 à 9,5 en 2021 et 16,9 en 2022 dans le bassin Sud (Annexe 7.6). Ainsi, l'année 2022 est cependant marquée par une légère augmentation de la salinité du fait d'une évaporation massive. La tendance à la baisse de la salinité est vraisemblablement liée aux faibles apports hydriques qui ne permettent pas à l'estuaire de Golo au Sud, ni au grau du Nord, de se maintenir ouverts, avec pour conséquences : i) une augmentation des entrées d'eau douce *via* le canal du Fossone au Sud et ii) une communication limitée avec la mer au Nord, empêchant le rôle tampon qu'elle pourrait jouer pour la salinité. Les répercussions de ces baisses de salinité sur l'écologie de la lagune sont visibles avec, par exemple, une forte régression des herbiers de *Ruppia cirrhosa* et du recouvrement total macrophytique sur toute la lagune lors du dernier diagnostic de 2021 (Cimiterra *et al.*, 2022) et un été 2022 marqué par un bloom de picophytoprocaryote (> 800 millions cell./L), non retenu pour l'évaluation DCE car n'ayant pas de lien direct avec le caractère eutrophisé des milieux lagunaires).

La lagune de Biguglia a un fonctionnement complexe du point de vue hydro-écologique. Elle semble beaucoup moins impactée par les problématiques d'eutrophisation depuis la dernière décennie. En revanche, la baisse de la salinité est à surveiller de près quant aux répercussions qu'elle peut avoir sur l'ensemble de l'écosystème, en témoignent les premiers signes des compartiments phytoplanctonique et macrophytique. **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.**

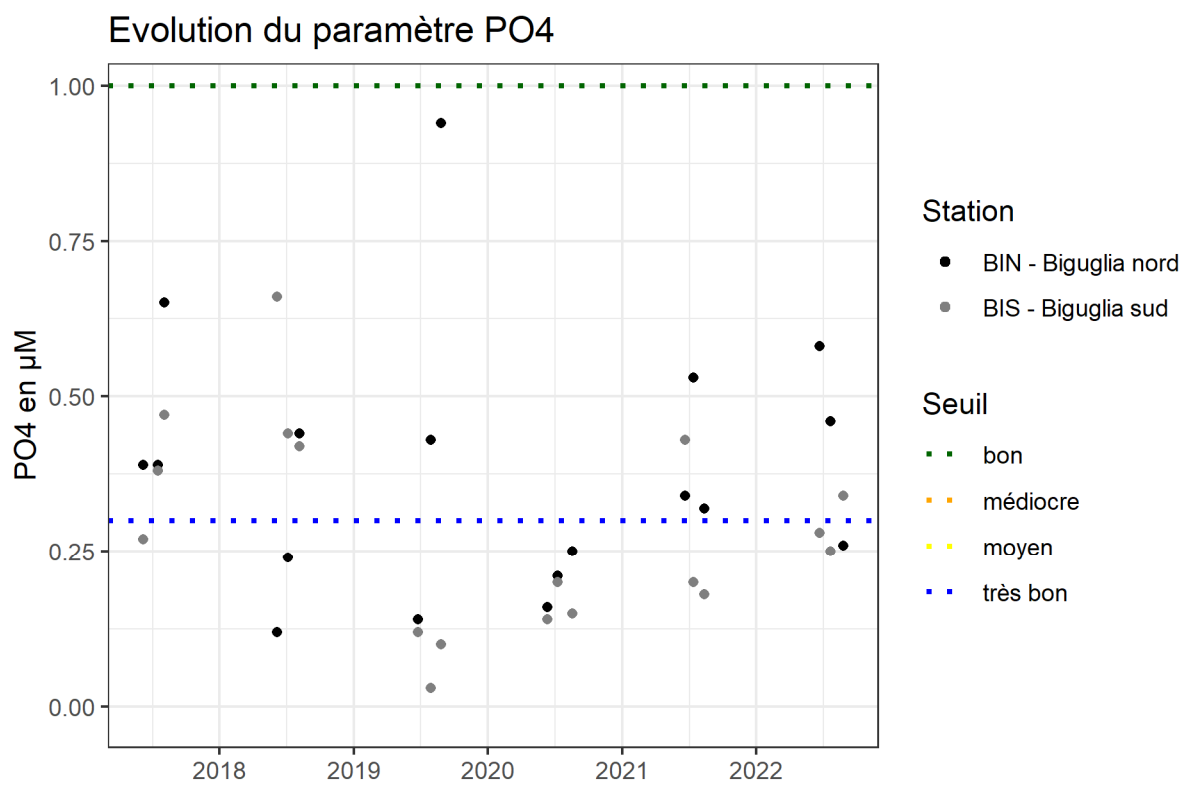
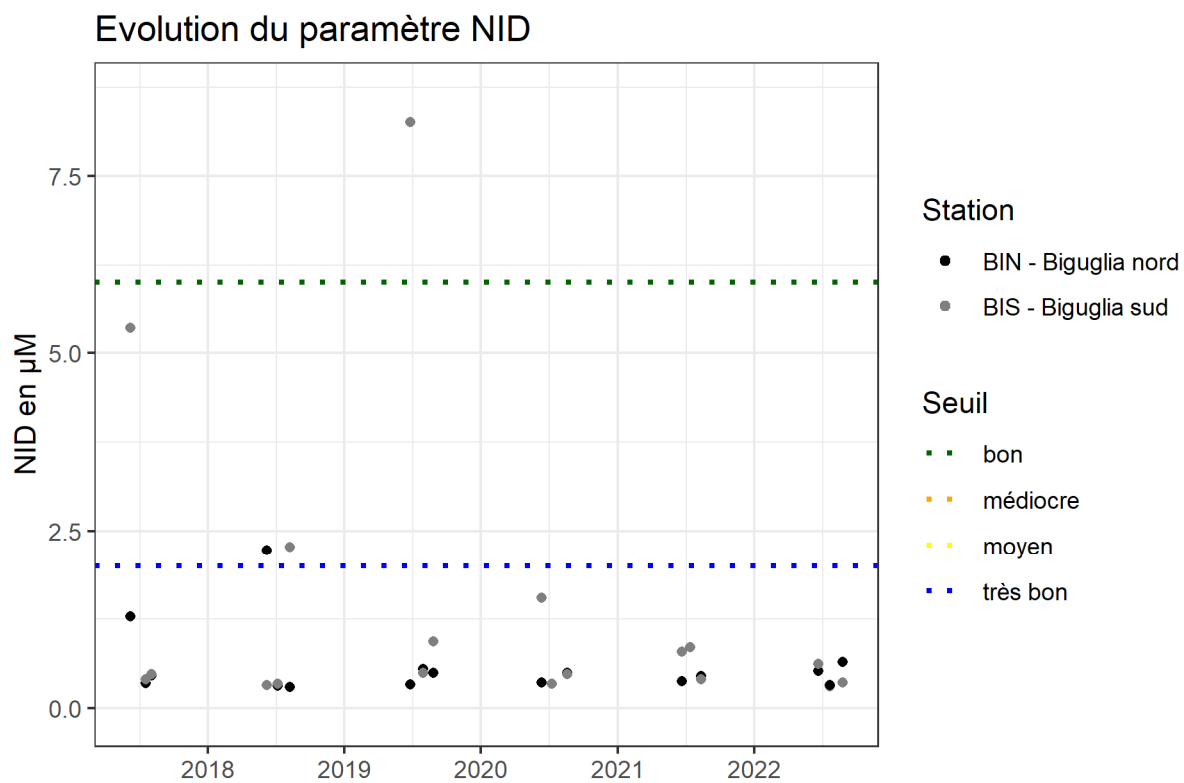


Figure E1-2. Concentrations en NID et PO_4^{3-} (μM) des étés 2017 à 2022 à Biguglia.

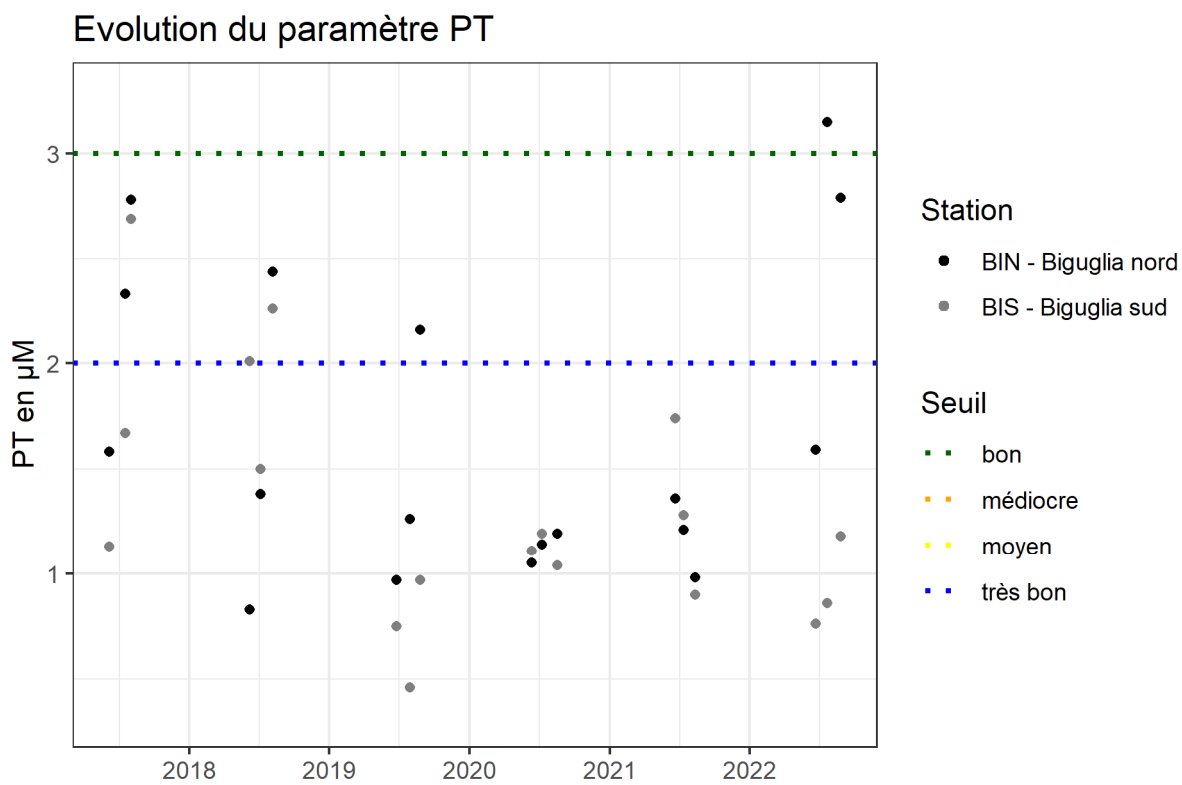
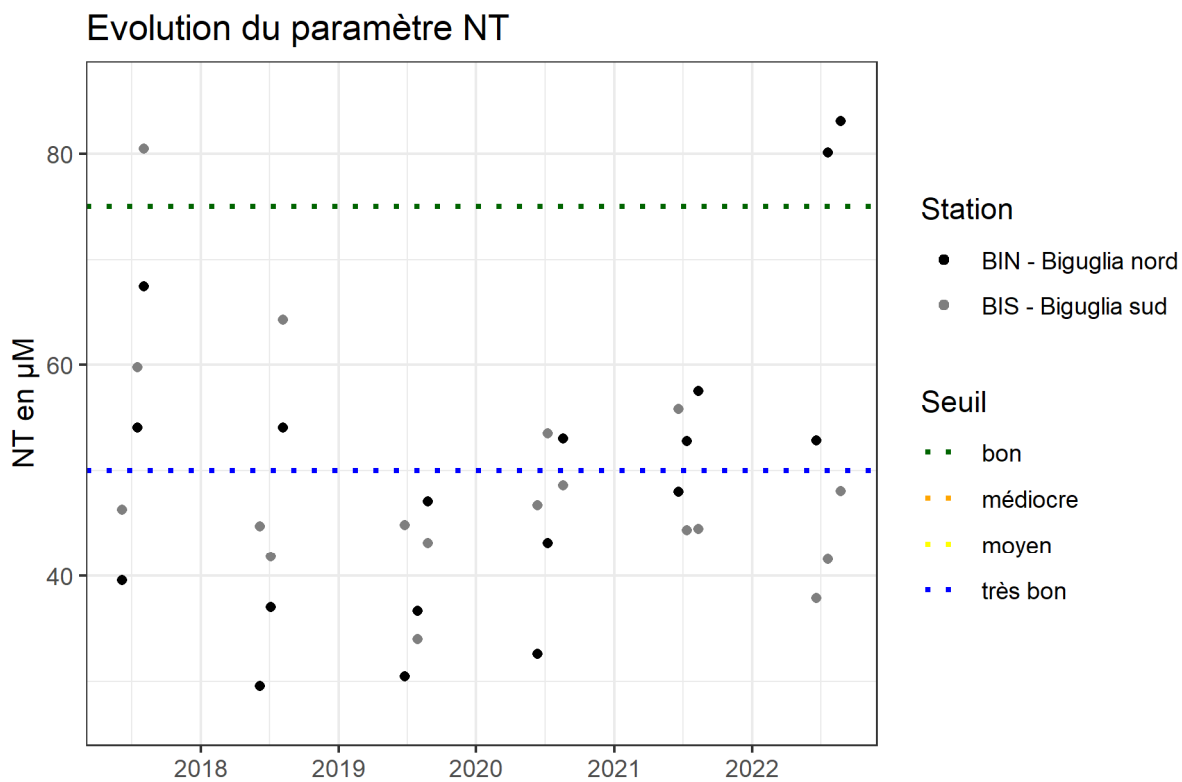


Figure E1-3. Concentrations en NT et PT (μM) des étés 2017 à 2022 à Biguglia.

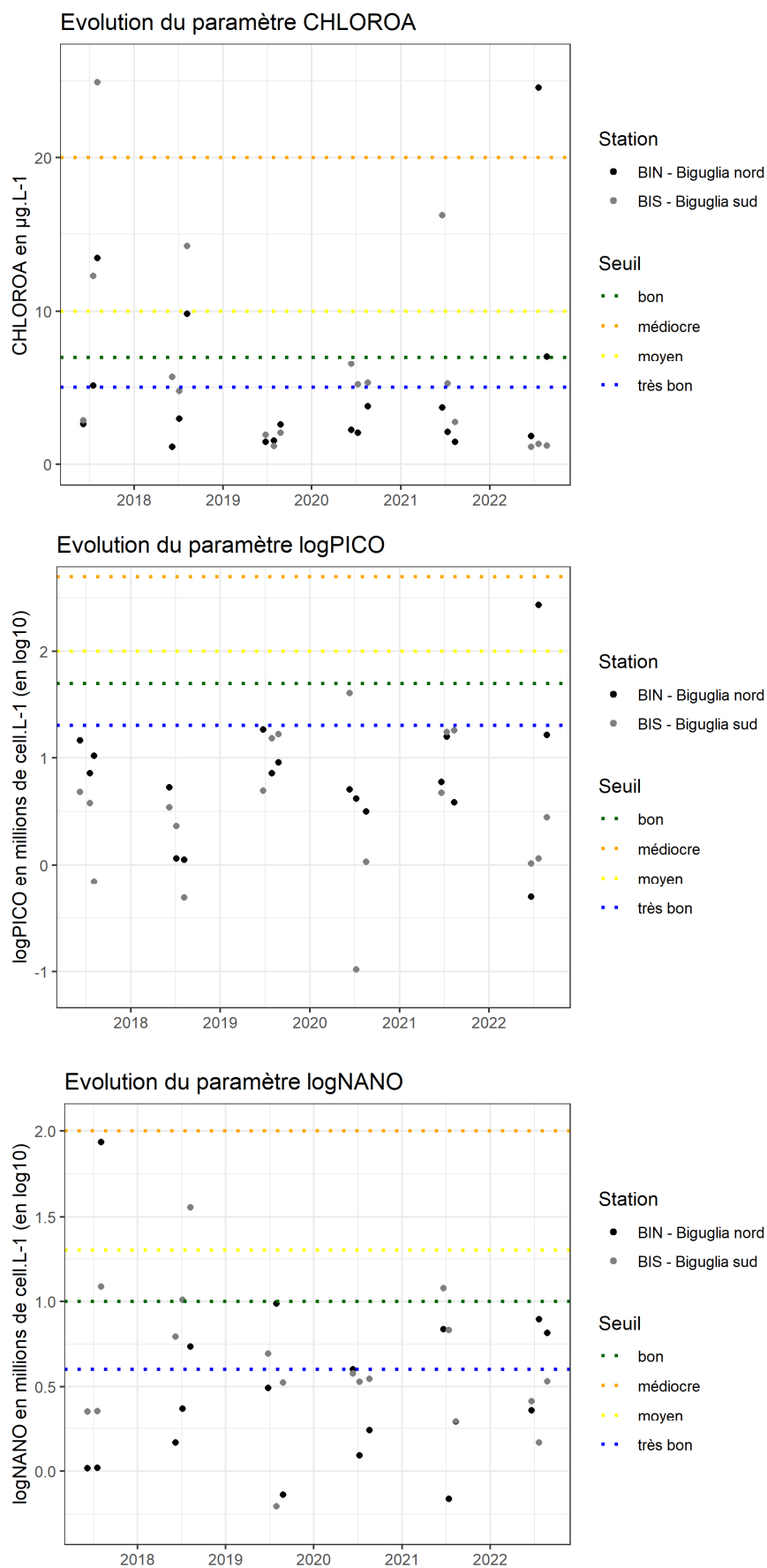


Figure E1-4 (de haut en bas). Concentration de chlorophylle-*a* ($\mu\text{g/L}$), abondances de pico- et de nano-phytoplancton (millions de cellules/L) des étés 2017 à 2022 à Biguglia (valeurs en \log_{10}).

5 Conclusions et perspectives

Les suivis réalisés dans le cadre du volet « eutrophisation » d'OBSLAG au cours de l'été 2022 sur les 10 masses d'eau lagunaires, complétant les suivis des 5 étés précédents, ont montré que le bon état DCE est atteint pour la période 2017-2022 sur 6 masses d'eau en ce qui concerne l'élément de qualité « physico-chimie de l'eau » et sur 5 masses d'eau en ce qui concerne l'élément de qualité « phytoplancton »⁵. Quatre masses d'eau atteignent le bon état pour les deux éléments de qualité (Bages-Sigean, Ayrolle, Thau et Berre), tel que cela avait été observé lors du diagnostic OBSLAG de la période précédente 2015-2020 (Derolez *et al.*, 2021).

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. Ainsi, le projet OBSLAG fournit, en complément aux indicateurs DCE (donnant un état vis-à-vis des seuils réglementaires), des informations sur les tendances monotones des indicateurs au cours de la période de diagnostic de 6 ans et sur la confiance attribuée aux indicateurs.

Le diagnostic OBSLAG de la période 2017-2022 met en évidence des évolutions significatives des éléments de qualité « physico-chimie de l'eau » et « phytoplancton », par rapport au précédent diagnostic de 2015-2020. Plusieurs améliorations sont observées, notamment sur les Palavasiens-Est qui gagnent une classe de qualité pour chacun des deux éléments de qualité, passant à un état « moyen » pour l'eau et à un état « médiocre » pour le phytoplancton. Cette évolution confirme la tendance à l'amélioration de l'état physico-chimique observée depuis les deux précédents diagnostics OBSLAG (Derolez *et al.*, 2019, 2021) et suggère que les étangs Palavasiens-Est sont enfin engagés dans une réelle dynamique de restauration de leur état vis-à-vis de l'eutrophisation. Cependant des apports internes (charge interne sédimentaire de nutriments), probablement accentués par les hausses de température, et externes (ex. rejets et by-pass de certaines STEU) impactent encore significativement l'état de la lagune du Méjean, davantage dégradé vis-à-vis de l'eutrophisation que le Prévost. Un autre gain de classe de qualité concerne le phytoplancton de la lagune de Biguglia qui passe à un état « moyen » grâce à des abondances moindres de picophytoplancton. Le fonctionnement hydro-écologique de la lagune de Biguglia est cependant affecté par de fortes fluctuations de salinité, avec une baisse au cours de la période 2017-2022, associée aux faibles pluviométries limitant les échanges hydrauliques avec la mer.

Outre ces gains de classes de qualité, les tests de tendance mettent en évidence des améliorations significatives pour plusieurs masses d'eau. L'étang de Canet affiche une baisse des teneurs en éléments azotés (classes d'état « bon ») mais maintient des concentrations en éléments phosphorés au niveau de l'état mauvais. L'étang de l'Or, dont la physico-chimie de l'eau et le phytoplancton se maintiennent également dans des états « mauvais », enregistre pour la première fois depuis le début des suivis de cette masse d'eau, une tendance à la baisse

⁵ Pour obtenir une image plus exhaustive de l'état des eaux lagunaires méditerranéennes, les résultats du volet « eutrophisation » d'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 (Cimiterra *et al.*, 2022 ; Guillemot *et al.* 2021 ; Herlory *et al.*, 2022 ; Munaron *et al.*, 2022).

pour 3 des 7 paramètres suivis : PO₄, NT et chlorophylle *a*. Même si on ne peut pas encore parler de dynamique de restauration sur cette lagune compte tenu des conditions climatiques favorables de ces dernières années (peu de pluies), ces résultats suggèrent une inflexion dans la trajectoire écologique de cette lagune. Enfin, les abondances phytoplanctoniques de deux masses d'eau sont en diminution continue sur la période 2017-2022 : le picophytoplancton pour Bages-Sigean et le nanophytoplancton pour les Palavasiens-Ouest.

En revanche, la lagune de La Palme poursuit la trajectoire de dégradation entamée depuis le diagnostic de 2013-2018, avec la perte de deux classes de qualité pour la période 2017-2022 et le passage à un état « mauvais » pour la physico-chimie de l'eau. Les concentrations des quatre paramètres suivis dans l'eau affichent une tendance à la hausse, mais le mauvais état résulte des pics d'ammonium enregistrés en 2019, 2021 et 2022. Les concentrations élevées en ammonium en fin de période, sont probablement à associer en partie à des dysfonctionnements de la STEU de La Palme. De plus, la lagune de La Palme est particulièrement sensible aux conditions hydro-climatiques sèches et chaudes (grau au fonctionnement naturel) qui favorisent des salinités très élevées. Ces dernières peuvent également avoir impacté les macrophytes, dont le recouvrement a très fortement diminué de 2018 à 2021 (Cimiterra *et al.*, 2022).

Ainsi, le diagnostic OBSLAG 2017-2022 met en évidence peu de dégradations et plusieurs signes de restauration de l'état de l'eau et du phytoplancton des lagunes méditerranéennes vis-à-vis de l'eutrophisation. Ces améliorations sont issues des mesures de réduction des apports urbains, qui portent leurs fruits avec un temps d'inertie, mais ont aussi été favorisées par la succession d'années exceptionnellement sèches limitant les apports de nutriments par les bassins-versants. Les sécheresses ont été couplées à des étés exceptionnellement chauds, impactant la température et la salinité des lagunes, marquées par des valeurs extrêmes au cours des 6 étés 2017 à 2022. La période 2017-2022 est également caractérisée par des niveaux d'oxygénation bas pouvant engendrer des stress biologiques sur un grand nombre de stations OBSLAG en 2019 (8 stations), 2020 (10 stations) et 2022 (9 stations), voire d'hypoxie (au fond à Thau en 2018 et à Berre de 2018 à 2022). Les conditions de stress biologique ne concernent pas uniquement des lagunes en état dégradé vis-à-vis de l'eutrophisation (Ayrolle est par exemple concernée en 2019 et 2022), Thau et Berre, caractérisées par un très bon état physico-chimique de leurs eaux de surface, sont quant à elles concernées par des hypoxies de fond qui sont favorisées par les profondeurs élevées de ces lagunes. Ces observations suggèrent le rôle des conditions climatiques chaudes sur la baisse de l'oxygénation des lagunes méditerranéennes.

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, constituant les compartiments les plus réactifs des écosystèmes lagunaires, représente une importante plus-value du projet OBSLAG. A l'issue de 3 diagnostics réalisés depuis la première campagne OBSLAG (période 2011-2016), un bilan sur les indicateurs déployés dans le cadre du volet eutrophisation de cet observatoire a été effectué (Derolez *et al.* 2023). Ce bilan confirme l'intérêt des indicateurs de tendance et de confiance mis en œuvre, qui peuvent détecter des évolutions de façon plus fine et permettre ainsi d'attirer l'attention sur la recherche de causes des perturbations ou 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 des trois masses d'eau concernées (Thau, Palavasiens-Est et Berre). Plusieurs propositions sont faites à l'issue de ce bilan dont : la production régulière d'analyses à échelle temporelle plus grande afin de rendre

compte de l'évolution et des tendances à plus long terme des paramètres, notamment en lien avec l'évolution du contexte climatique ; un échantillonnage plus fréquent et sur d'autres saisons pour observer d'éventuels changements phénologiques ; le croisement des diagnostics avec les données de débits et de flux des principaux cours d'eau tributaires des lagunes.

Enfin, dans le contexte actuel de changement climatique, les lagunes méditerranéennes constituent des écosystèmes « sentinelles » à l'échelle nationale, particulièrement sensibles à cette pression croissante qui impacte leur fonctionnement hydrologique et biologique, dont des changements dans la saisonnalité. Les suivis estivaux de l'eau et du phytoplancton doivent être maintenus pour observer ces évolutions et nécessitent également la mise en œuvre de suivi plus fins et réparti sur toutes les saisons (ex. REPHY qui permet de suivre l'évolution des communautés phytoplanctoniques) et une réactivité suffisante pour adapter si besoin les dispositifs d'observation aux phénomènes inédits extrêmes pouvant survenir (ex. projet d'observatoire des effets du changement climatique sur les macrophytes (C2ZO-AERMC 2022-2025) ; suivi mis en place suite aux eaux vertes hivernales à *Picochlorum* en lagune de Thau en 2018-2019⁶).

6 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.
- 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., Masvidal A., Stieglitz T., Morel Y. (2023). Note sur la dégradation de la végétation lagunaire de l'étang de La Palme. 13 p.
- Benau L. (2022). 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 2021. 47 p.
- Belin, C., Lamoureux, A., Soudant, D. (2014). Évaluation de la qualité des eaux littorales de la France métropolitaine pour l'élément de qualité Phytoplancton dans le cadre de la DCE. État des lieux des règles d'évaluation, et résultats pour la période 2007-2012. Tome 1 - État des lieux, méthodes et synthèse des résultats. 159 p. <https://doi.org/10.13155/50490>
- 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. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00620/73224/>
- 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/>
- Cimiterra N., Derolez V., Ouisse V. (2022). Diagnostic du compartiment macrophyte dans 17 masses d'eau de transition lagunaires sur la période du plan de gestion 2016-2021. 87 p. ODE/UL/LER/LR. <https://doi.org/10.13155/93222>
- David, M., Bailly-Comte V., Munaron D., Fiandrino A., Stieglitz T.C. (2019). STOTEN 677 : 142-155. Groundwater discharge to coastal streams - A significant pathway for nitrogen inputs to a hypertrophic Mediterranean coastal lagoon. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.233>
- Derolez V., Bec B., Cimiterra N., Foucault E., Messiaen G., Fiandrino A., Malet N., Munaron D., Serais O., Connes C., Gautier E., Hatey E., Giraud A. (2021). OBSLAG 2020 - volet eutrophisation Lagunes méditerranéennes (période 2015-2020). Etat DCE de la colonne d'eau et du phytoplancton, tendance et variabilité des indicateurs. 78 p. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00696/80768/>
- 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., 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. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00386/49744/>

Derolez V. et Cimiterra N. (2023). OBSLAG - Eutrophisation. Note technique. Evaluation de la robustesse des indicateurs de tendance et de confiance : état physico-chimique de l'eau et état du phytoplancton des lagunes méditerranéennes. 36 p. <https://doi.org/10.13155/95649>

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

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

Fiandrino A., Pete R., Derolez V., Ouisse V., Munaron D., Picard L., Théliet P., Martinez-Espinosa C., Giraud A., Stroffek S., Le Pommelet E., Boutron O. (2023). A nutrient Total Annual Allowable Load (TAAL) framework for coastal Mediterranean lagoons: application on a hypertrophic Mediterranean lagoon (Or, southern France). *Soumis à Marine Pollution Bulletin*.

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.

Herlory O., Briand M., Bouchouca M., Derolez V., Munaron D., Cimiterra N., Tomasino C., Gonzalez J.L., Giraud A., Boissery P. (2022). Directive Cadre sur l'Eau. Bassin Rhône Méditerranée Corse - Année 2021. 89 p. <https://doi.org/10.13155/93161>

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 Van Lis A., Gobet A., Richard M., Mostajir B., Roques C., Foucault E., Messiaen G., Hubert C., Cimiterra N., Derolez V., Bec B. (2021). Phénomène d'Eaux Vertes à *Picochlorum* en lagune de Thau pendant les années 2018 et 2019. Observations environnementales. 80 p. RST.ODE/UL/LELR 21-15. <https://doi.org/10.13155/80087>

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

Météo-France (2023). Bilan climatique de l'année 2022. Bilan définitif du 12 janvier 2023. 23 p. https://meteofrance.fr/sites/meteofrance.fr/files/files/editorial/Bilan_climatique_definitif_2022_13_0123.pdf

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>

Munaron D., Gianaroli C., Cimiterra N., Derolez V., Ouisse V., Giraud A. (2022). OBSLAG - Pesticides. Bilan 2020-2021 du suivi des lagunes méditerranéennes. Rapport de la Convention AERMC-Ifremer 2020. 90 p. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00795/90672/>

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). Fonctionnement hydrodynamique de l'étang de l'Or – Bilan imports/exports et hiérarchisation des sources de matière. Rapport d'étude final.
- SYMBO, Ifremer (2023). Etude du devenir des nutriments dans l'étang de l'Or. Modélisation de son fonctionnement biogéochimique. Identification des sources d'apports en nutriments.
- 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.

7 Annexes

7.1 Méthode pour le calcul du percentile 90 intervenant dans le calcul des indicateurs de l'état de la physico-chimie de l'eau et du phytoplancton

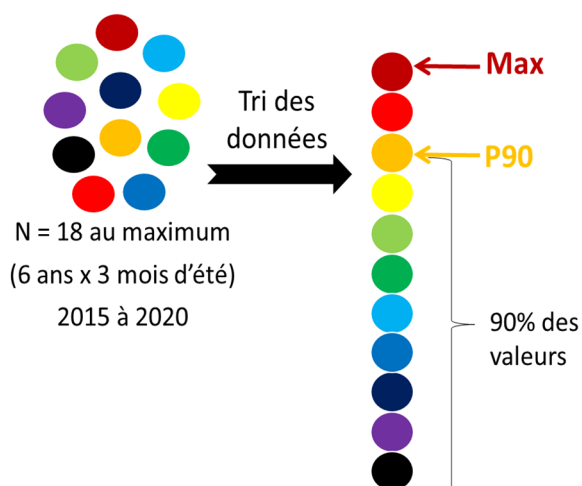


Figure 7. Représentation simplifiée du percentile 90 (P90, en orange) obtenu à partir des 18 données estivales acquises sur 6 étés consécutifs.

Le calcul du P90 est effectué comme suit :

$$P_{90} = (1 - g) x_j + g x_{j+1}$$

avec

P_{90} valeur de la métrique

x_1, x_2, \dots, x_n valeurs ordonnées du paramètre

n nombre de valeurs pour le paramètre

j partie entière et g partie fractionnaire de np telles que $np = j + g$

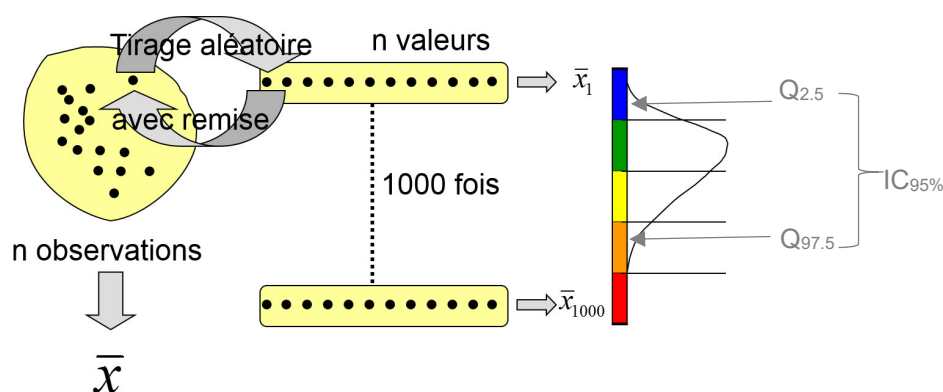
où $p = 0.9$

7.2 Méthode du bootstrap appliquée pour le calcul des intervalles de confiance (Soudant, 2008)

La méthode de bootstrap non paramétrique 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 suivant une loi normale. Le principe du bootstrap est le suivant : l'ensemble des mesures relevées pour un échantillon de taille n . Dans l'exemple du paramètre NT de l'élément de qualité « physico-chimie de l'eau », $n=18$ (soit 3 mois d'été x 6 années). 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 8). 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 2.5 ($Q_{2.5}$) et 97,5 ($Q_{97.5}$) sont sélectionnés afin d'obtenir **un intervalle de confiance à 95% pour l'indicateur ($IC_{95\%}$)**. Si les données d'origine sont très dispersées, les 1000 indicateurs le seront et l'intervalle de confiance sera large.

Si une métrique contient plusieurs paramètres, alors chacun fait l'objet d'un bootstrap et chaque rééchantillonnage est utilisé pour produire un résultat de métrique. Il en va de même pour un EQR constitué de plusieurs métriques (NB : les bootstraps n'ont pas encore été appliqués aux paramètres abondance du nano- et du phytoplancton).



D. Soudant, Aquaref, 3 et 4 juin 2008

Figure 8. Schématisation de la méthode de bootstrap pour le calcul de l'intervalle de confiance (en grisé) et la répartition des valeurs de l'indicateur selon les 5 classes de qualité DCE (Soudant, 2008).

7.3 Tests de Mann Kendall et de Kruskal-Wallis

Le test de Mann Kendall (Mann, 1945 ; Kendall, 1975 ; Gilbert, 1987) est un test non paramétrique fondé sur les rangs, c'est-à-dire que les données sont comparées deux à deux, un signe positif étant attribué si la $k^{\text{ième}}$ valeur est supérieure à la $n^{\text{ième}}$ 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. L'hypothèse nulle de l'existence d'une tendance monotone est testée avec l'erreur de première espèce fixée à 5% (i.e. p -value strictement inférieure à 0.05).

L'analyse de Kruskal-Wallis (Kruskal et Wallis, 1952) permet d'identifier si les valeurs des indicateurs ou indices/métriques d'au moins une des années de la période de diagnostic sont significativement différentes des valeurs des autres années (test non paramétrique de comparaison des rangs moyens des valeurs de chaque année). En cas de différence significative détectée par le test de Kruskal-Wallis, le test post-hoc de Dunn (Dunn, 1964) permet de repérer la ou les années différentes les unes des autres.

7.4 Etats DCE 2017-2022 des compartiments « physico-chimie de l'eau » et « phytoplancton » et indicateurs de variabilité et de tendance.

Tableau 7. Evolution de l'état DCE du compartiment « physico-chimique de l'eau » des 10 masses d'eau OBSLAG pour la période 2017-2022. 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 2017-2022 (obtenues par le test de Kruskal-Wallis). **En gras**, nombre de données inférieur à 18.

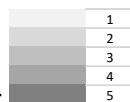
Code masse d'eau	Nom de la masse d'eau	NID					PO4					NT					PT								
		Nombre de valeurs	P90 (µmol/L)	IC du P90	Confiance	Tendance monotone (Mann Kendall)	Années particulières (Kruskal-Wallis)	Nombre de valeurs	P90 (µmol/L)	IC du P90	Confiance	Tendance monotone (Mann Kendall)	Années particulières (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	5.9	[1.4;22.9]	8-51-5-29-6	Tendance globale à la diminution (-0.064 µM/an)	a ab a ab b ab (valeurs de 2017 et 2019 supérieures à celles de 2021)	18	13.9	[8.2;16.4]	0-0-0-0-100	Pas de tendance	a ab ab ab b ab (valeurs de 2017 supérieures à celles de 2021)	18	67.1	[54.8;83.4]	1-92-7-0-0	Tendance globale à la diminution (-5.5 µM/an)	ab ab a ab b ab (valeurs de 2019 supérieures à celles de 2021)	18	16	[9.5;20.6]	0-0-0-0-100	Pas de tendance	a ab ab ab b ab (valeurs de 2019 supérieures à celles de 2021)
FRDT03	La Palme	18	32.7	[12.1;61.6]	0-0-1-6-92	Tendance globale à l'augmentation (+2.58 µM/an)	bc d abc cd ab a (valeurs de 2021-2022 supérieures à celles de 2018 et 2020)	18	0.3	[0.2;0.3]	100-0-0-0-0	Tendance globale à l'augmentation (+0.03 µM/an)	b ab a ab a a (valeurs de 2019, 2021-2022 supérieures à celles de 2017)	18	87.3	[61.1;116]	0-16-78-6-0	Tendance globale à l'augmentation (+5.89 µM/an)	bc bc ab c ab a (valeurs de 2022 supérieures à celles de 2017-2018 et 2020)	18	1.2	[0.8;1.5]	100-0-0-0-0	Tendance globale à l'augmentation (+0.08 µM/an)	cd bc ab d a ab (valeurs de 2019, 2021-2022 supérieures à celles de 2017 et 2020)
FRDT04	Bages - Sigean	18	0.8	[0.5;2.7]	93-7-0-0-0	Pas de tendance	a a a a a a	18	0.2	[0.1;0.2]	100-0-0-0-0	Pas de tendance	b ab ab ab a ab (valeurs de 2021 supérieures à celles de 2017)	18	39.7	[38.6;40.3]	100-0-0-0-0	Pas de tendance	a a a a a a	18	0.9	[0.8;1]	100-0-0-0-0	Pas de tendance	a a ab ab a b (valeurs de 2017-2018 et 2021 supérieures à celles de 2022)
FRDT05a	Ayrolle	18	0.6	[0.5;0.8]	100-0-0-0-0	Pas de tendance	a b ab ab ab a (valeurs de 2017 et 2022 supérieures à celles de 2018)	18	0.1	[0.1;0.1]	100-0-0-0-0	Pas de tendance	b a ab ab ab ab (valeurs de 2018 supérieures à celles de 2017)	18	40.6	[39.9;47.3]	100-0-0-0-0	Pas de tendance	a a a a a a	18	0.7	[0.6;0.7]	100-0-0-0-0	Pas de tendance	a a a a a a
FRDT10	Thau	18	0.4	[0.3;0.8]	100-0-0-0-0	Pas de tendance	a bc abc ab cc (valeurs de 2017 et 2020 supérieures à celles de 2021-2022)	18	0.1	[0.1;0.1]	100-0-0-0-0	Pas de tendance	a a a a a a	18	27.5	[22.9;29.4]	100-0-0-0-0	Pas de tendance	ab ab a ab b ab (valeurs de 2019 supérieures à celles de 2021)	18	0.7	[0.6;0.8]	100-0-0-0-0	Pas de tendance	a a a a a a
FRDT11a	Or	18	30.9	[5;41.6]	1-4-8-26-60	Pas de tendance	c d d a b b (valeurs de 2020-2022 supérieures à celles de étés précédents)	18	2.5	[2;3.3]	0-0-0-100-0	Tendance globale à la diminution (-0.39 µM/an)	a a a b b b (valeurs de 2017-2019 supérieures à celles des étés suivants)	18	168.3	[156;217.1]	0-0-0-0-100	Tendance globale à la diminution (-18.73 µM/an)	a a a b bc c (valeurs de 2017-2019 supérieures à celles des étés suivants)	18	8.1	[6.8;10.2]	0-0-0-0-100	Pas de tendance	a a a b b b (valeurs de 2017-2019 supérieures à celles des étés suivants)
FRDT11b	Palavasiens Est	18	8.6	[2.4;12.4]	0-20-46-34-0	Pas de tendance	ab ab a ab ab b (valeurs de 2019 supérieures à celles de 2021)	18	0.6	[0.4;0.9]	0-100-0-0-0	Pas de tendance	a a a a a a	18	66.1	[61.4;81.3]	0-94-6-0-0	Pas de tendance	a a a a a a	18	2.8	[2.2;3.2]	0-93-7-0-0	Pas de tendance	a a a a a a
FRDT11c	Palavasiens Ouest	18	4.6	[2.3;10.3]	1-81-12-6-0	Pas de tendance	a a a a a a	18	0.2	[0.2;0.2]	100-0-0-0-0	Pas de tendance	a a a a a a	18	56.2	[52.3;66]	0-100-0-0-0	Pas de tendance	a a a a a a	18	1.3	[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;0.8]	100-0-0-0-0	Pas de tendance	a a a a a a	17	0.2	[0.2;0.2]	100-0-0-0-0	Pas de tendance	a a a a a a	17	28.7	[27.1;33.5]	100-0-0-0-0	Pas de tendance	a a a a a a	17	1.2	[1.1;1.4]	100-0-0-0-0	Pas de tendance	a a a a a a
FRETO1	Biguglia	18	1.7	[0.9;4.3]	68-32-0-0-0	Pas de tendance	a a a a a a	18	0.4	[0.4;0.6]	0-100-0-0-0	Pas de tendance	a a ab b ab ab (valeurs de 2017-2018 supérieures à celles de 2020)	18	61.8	[52.9;73.9]	0-100-0-0-0	Pas de tendance	a ab a ab ab a (valeurs de 2017 et 2022 supérieures à celles de 2019)	18	2.1	[1.6;2.7]	38-62-0-0-0	Pas de tendance	a ab b ab ab (valeurs de 2017 supérieures à celles de 2019 et 2020)

* Nombre de classes de qualité couvertes par l'IC :

1
2
3
4
5

Tableau 8. Evolution de l'état DCE du compartiment « phytoplancton » des 10 masses d'eau OBSLAG pour la période 2017-2022. 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 2017-2022 (obtenues par le test de Kruskal-Wallis). **En gras**, nombre de données inférieur à 18.

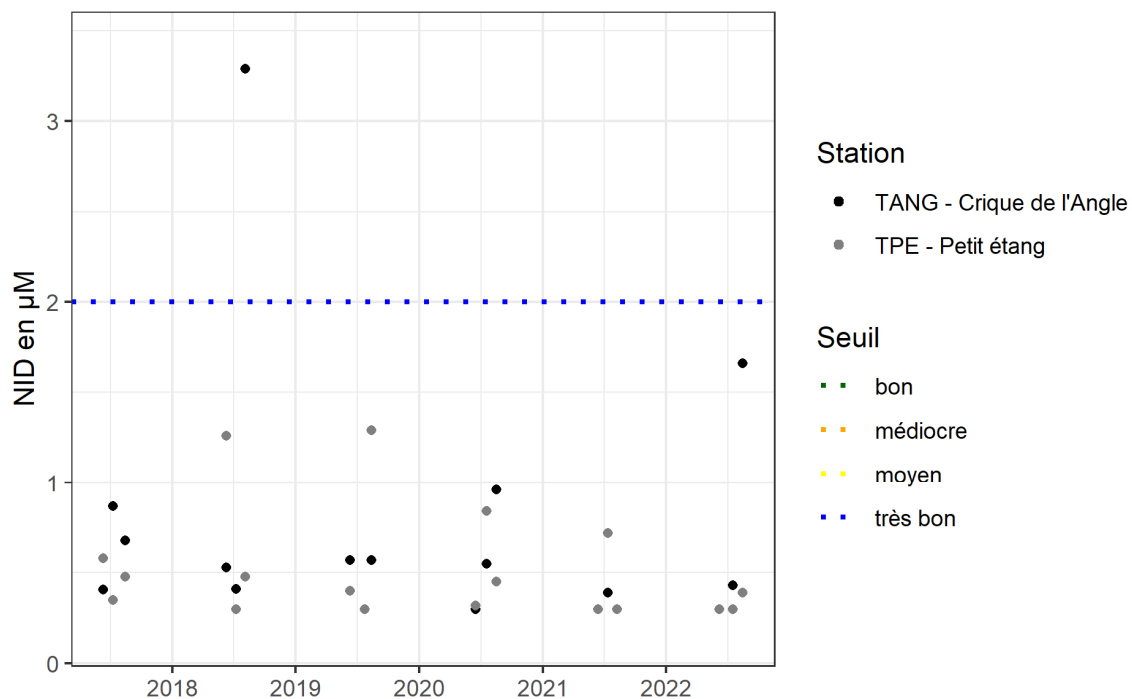
Code masse d'eau	Nom de la masse d'eau	Indice de biomasse du phytoplancton (EQR _b)							Abondance de nanophytoplancton				Abondance de picophytoplancton				Indice d'abondance du phytoplancton (EQR _a)				Indice phytoplancton (EQR _{phyt})		
		Nombre de valeurs	Chl-a (µg/L)	EQR	IC de l'EQR	Confiance	Tendance monotone (Mann Kendall)	Années particulières (Kruskal-Wallis)	P90 (10 ⁶ cell/L)	EQR	Tendance monotone (Mann Kendall)	Années particulières (Kruskal-Wallis)	P90 (10 ⁶ 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	11.2	0.3	[0.16;0.44]	0-2-40-53-5	Pas de tendance	a a a a a	15.4	0.19	Pas de tendance	a a a a a	138	0.11	Pas de tendance	b ab a ab ab (valeurs de 2019 supérieures à celles de 2017)	18	0.11	[0.02;0.2]	0-0-11-82-6	0.2	[0.11;0.3]	0-0-23-77-0
FRDT03	La Palme	18	2.5	1	[0.63;1]	94-6-0-0-0	Pas de tendance	b ab b b a (valeurs de 2022 supérieures à celles de 2017 et 2019 à 2021)	1.8	1	Pas de tendance	ab ab a b ab ab (valeurs de 2019 supérieures à celles de 2020)	49.4	0.3	Tendance globale à la diminution (-0.99 10 ⁶ /an)	ab a ab bc abc (valeurs de 2018 supérieures à celles de 2020 et 2021)	18	0.3	[0.21;1]	10-53-37-0-0	0.65	[0.47;1]	36-64-0-0-0
FRDT04	Bages - Sigean	18	2.6	1	[1;1]	100-0-0-0-0	Pas de tendance	b a b a ab b (valeurs de 2018 et 2020 supérieures à celles de 2017, 2019 et 2022)	5.6	0.54	Pas de tendance	a a a a a	80	0.19	Tendance globale à la diminution (-6.96 10 ⁶ /an)	ab a b ab b b (valeurs de 2018 supérieures à celles de 2019, 2021 et 2022)	18	0.19	[0.11;0.37]	0-8-86-7-0	0.59	[0.56;0.69]	1-99-0-0-0
FRDT05a	Ayrolle	18	1	1	[1;1]	100-0-0-0-0	Pas de tendance	bc ab c bc abc a (valeurs de 2022 supérieures à celles de 2017, 2019 et 2020)	1.3	1	Pas de tendance	ab ab b ab ab a (valeurs de 2022 supérieures à celles de 2019)	2.4	1	Pas de tendance	a a a a a	18	1	[0.81;1]	100-0-0-0-0	1	[0.91;1]	100-0-0-0-0
FRDT10	Thau	18	2.5	1	[0.79;1]	100-0-0-0-0	Pas de tendance	a a a a a	3.9	0.77	Pas de tendance	a a a a a	28.7	0.52	Pas de tendance	ab ab a b ab ab (valeurs de 2019 supérieures à celles de 2020)	18	0.52	[0.2;0.77]	8-87-5-0-0	0.76	[0.6;0.88]	69-31-0-0-0
FRDT11a	Or	18	38.8	0.09	[0.03;0.1]	0-0-0-0-100	Tendance globale à la diminution (-6.51 µg/L par an)	a a a c b c (valeurs de 2017 à 2019 supérieures à celles des étés suivants)	11.1	0.27	Pas de tendance	ab a abc c a bc (valeurs de 2018 et 2021 supérieures à celles de 2020 et 2022)	2793.2	0.01	Pas de tendance	ab b a c c c (valeurs de 2017 à 2019 supérieures à celles des étés suivants)	18	0.01	[0;0.01]	0-0-0-0-100	0.05	[0.02;0.05]	0-0-0-0-100
FRDT11b	Palavasiens Est	18	11.6	0.29	[0.1;0.37]	0-0-35-45-20	Pas de tendance	ab ab ab a ab b	11.8	0.25	Pas de tendance	a a a a a	136	0.11	Pas de tendance	bc a ab c bc c (valeurs de 2018-2019 supérieures à celles de 2020 et 2022)	18	0.11	[0.03;0.13]	0-0-1-93-6	0.2	[0.09;0.25]	0-0-4-92-4
FRDT11c	Palavasiens Ouest	18	7	0.48	[0.25;0.69]	4-40-49-8-0	Pas de tendance	ab ab ab a ab ab (valeurs de 2020 supérieures à celles de 2021)	6.8	0.44	Tendance globale à la diminution (-0.57 10 ⁶ /an)	a ab ab ab b b (valeurs de 2017 supérieures à celles de 2021 et 2022)	61.8	0.24	Pas de tendance	a a a a a	18	0.24	[0.03;0.64]	0-31-27-42-0	0.36	[0.18;0.57]	0-29-62-9-0
FRDT15a	Berre Grand Etang	17	5.6	0.59	[0.54;0.69]	9-91-0-0-0	Pas de tendance	a a a a a	3.4	0.88	Pas de tendance	a a a a a	72.4	0.21	Pas de tendance	a a a a a	17	0.21	[0.14;0.53]	0-14-80-6-0	0.4	[0.36;0.56]	0-76-24-0-0
FRET01	Biguglia	18	12.2	0.27	[0.17;0.74]	3-6-10-81-0	Pas de tendance	a ab b ab ab ab (valeurs de 2017 supérieures à celles de 2019)	11.7	0.26	Pas de tendance	a a a a a	17.8	0.84	Pas de tendance	ab b a ab ab ab (valeurs de 2019 supérieures à celles de 2018)	18	0.26	[0.06;0.6]	0-40-23-36-0	0.26	[0.16;0.53]	0-15-48-37-0



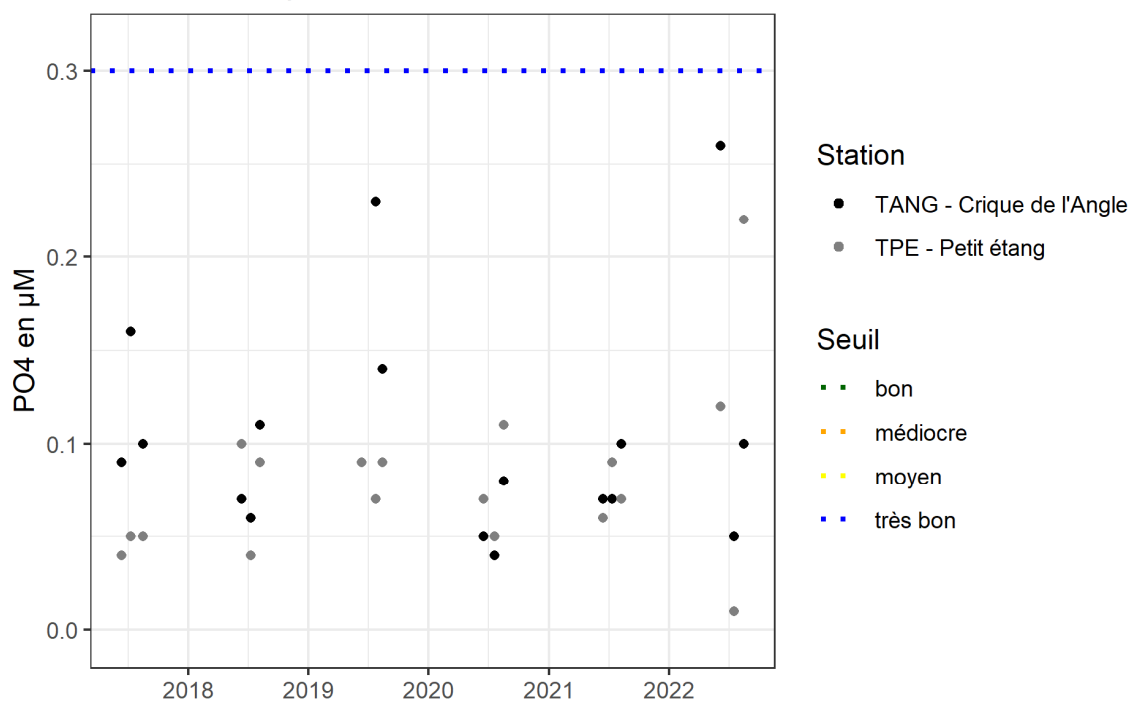
* Nombre de classes de qualité couvertes par l'IC :

7.5 Résultats des suivis des compartiments « physico-chimie de l'eau » et « phytoplancton » pour les stations hydrologiques complémentaires

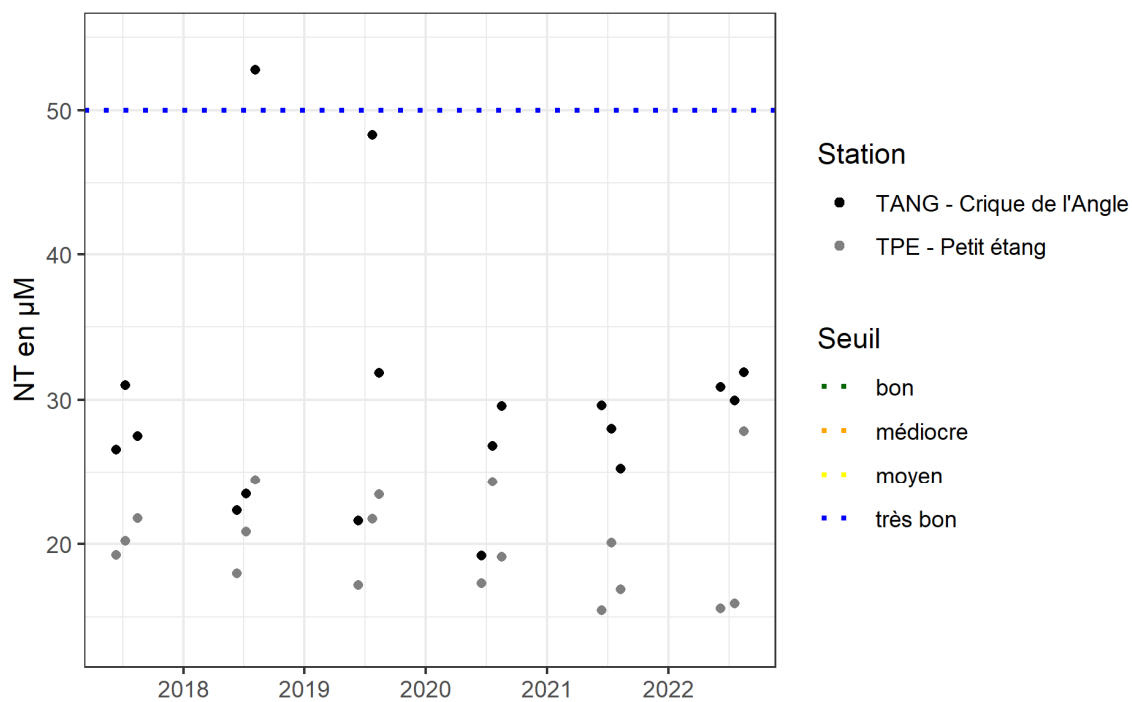
Evolution du paramètre NID



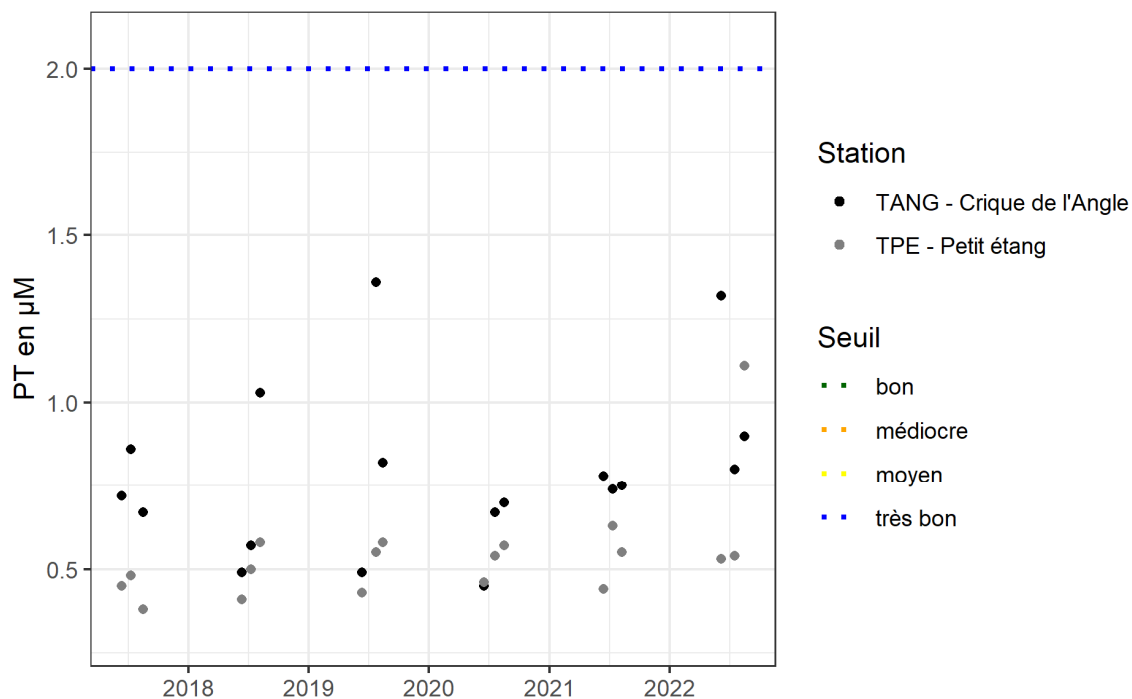
Evolution du paramètre PO4



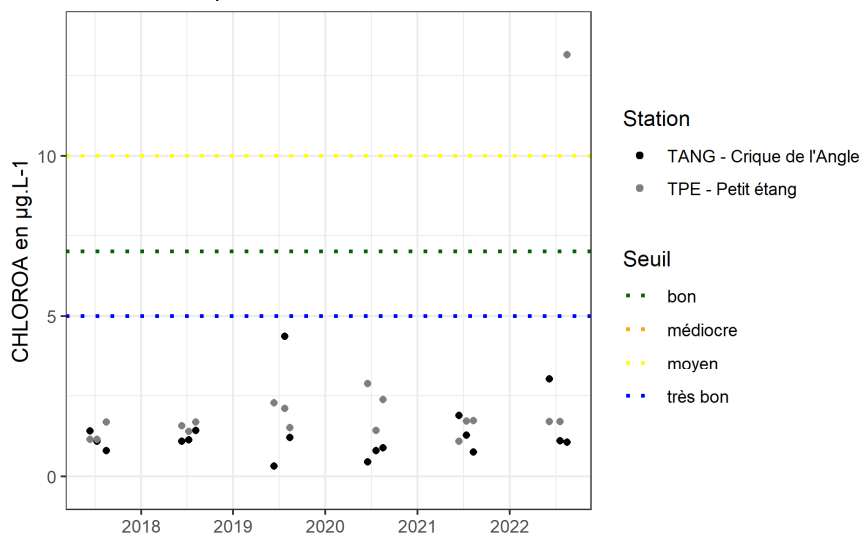
Evolution du paramètre NT



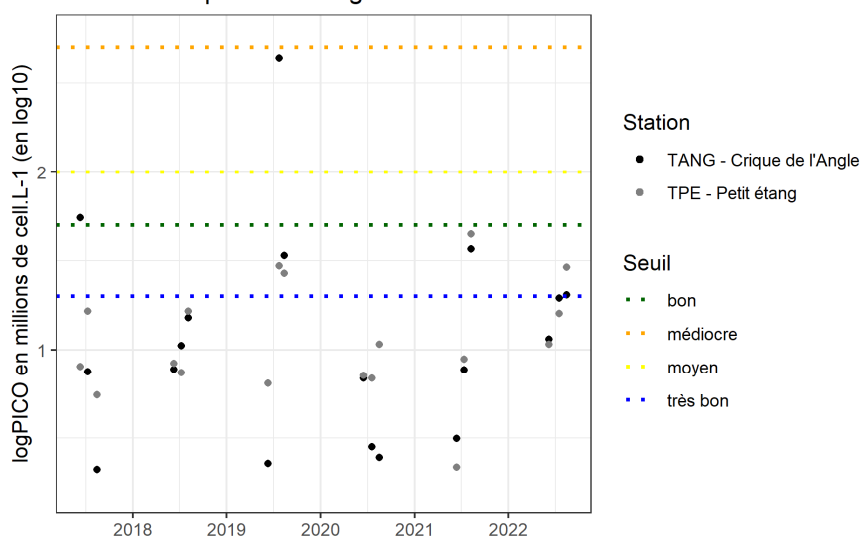
Evolution du paramètre PT



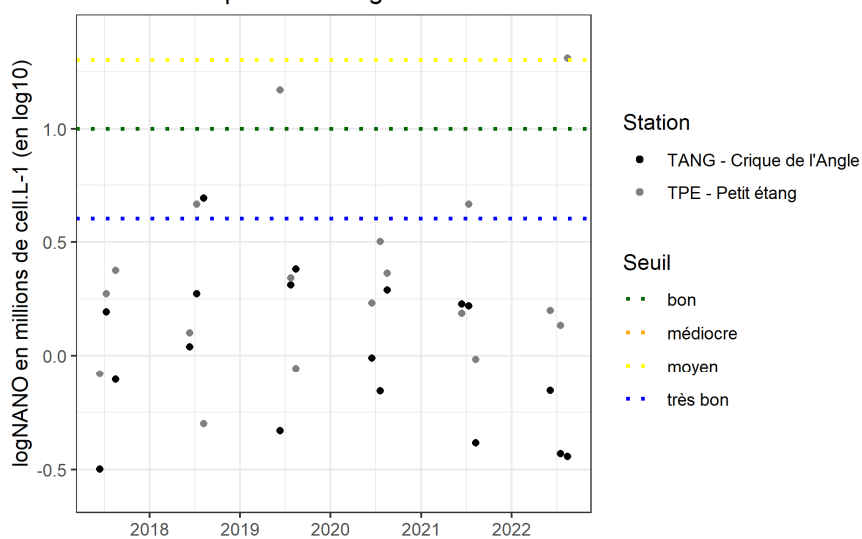
Evolution du paramètre CHLOROA



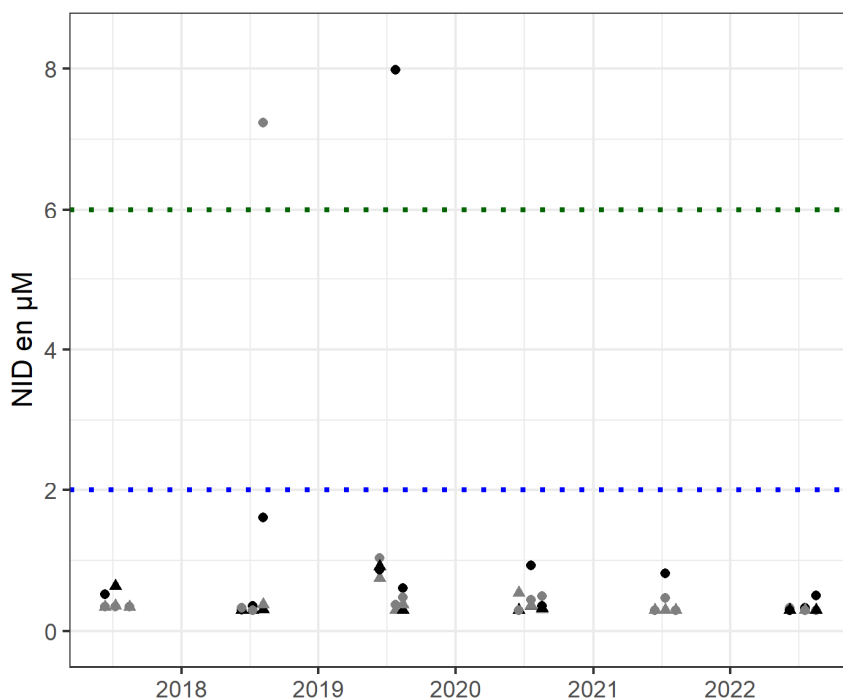
Evolution du paramètre logPICO



Evolution du paramètre logNANO



Evolution du paramètre NID



Niveau

- Fond/sonde-1m
- ▲ Surface (0-1m)

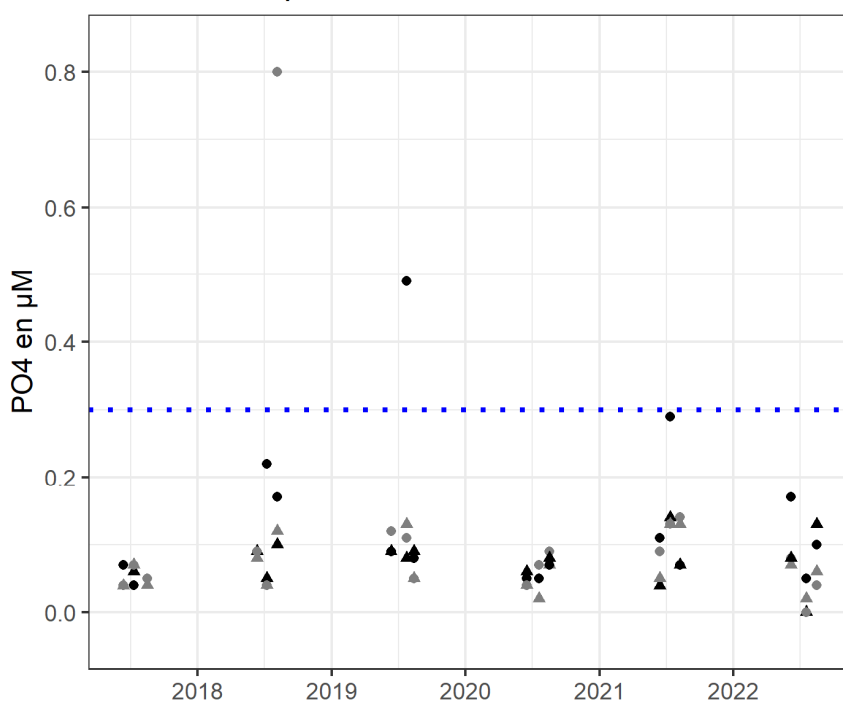
Station

- TE - Thau Est
- TW - Thau Ouest

Seuil

- bon
- médiocre
- moyen
- très bon

Evolution du paramètre PO4



Niveau

- Fond/sonde-1m
- ▲ Surface (0-1m)

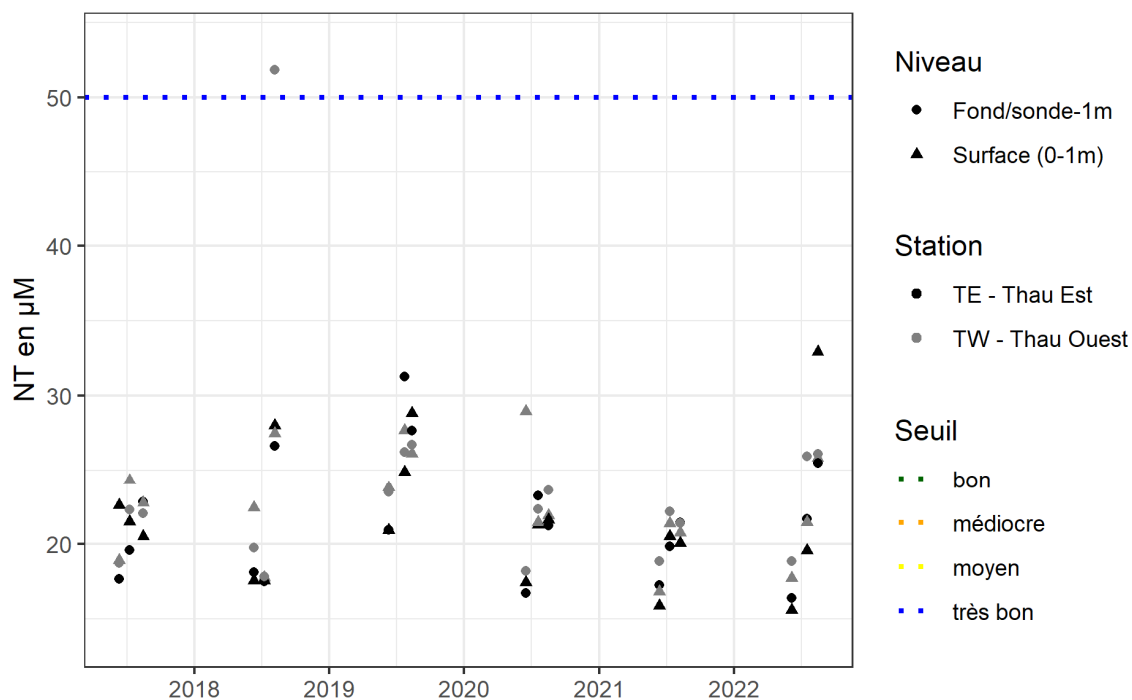
Station

- TE - Thau Est
- TW - Thau Ouest

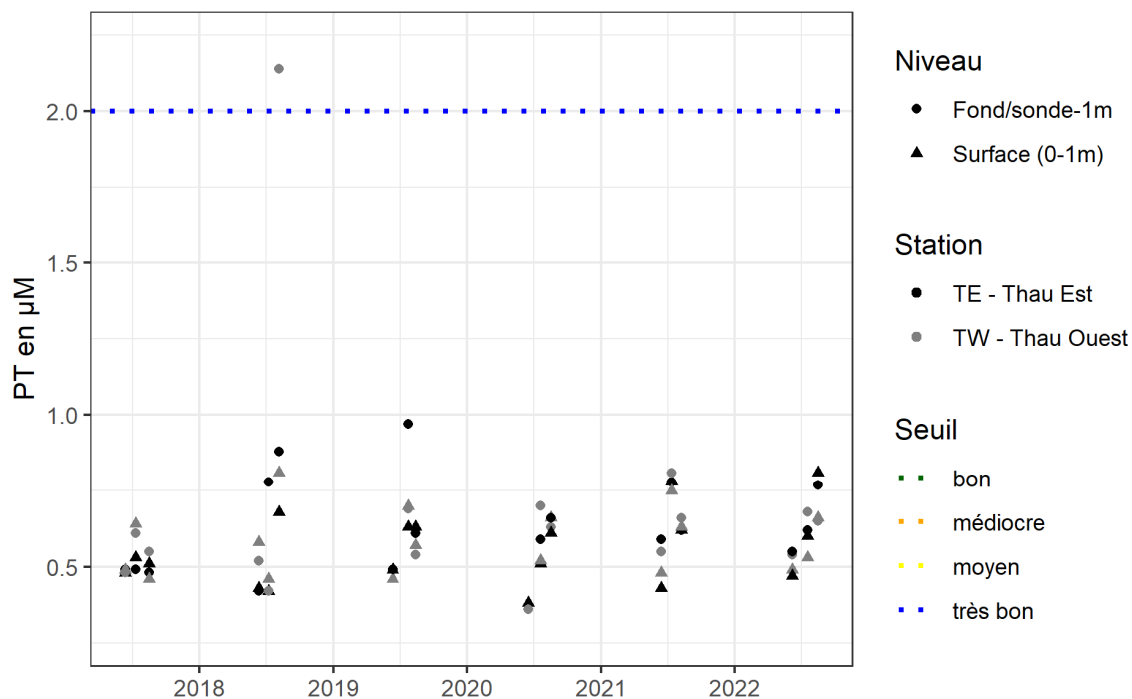
Seuil

- bon
- médiocre
- moyen
- très bon

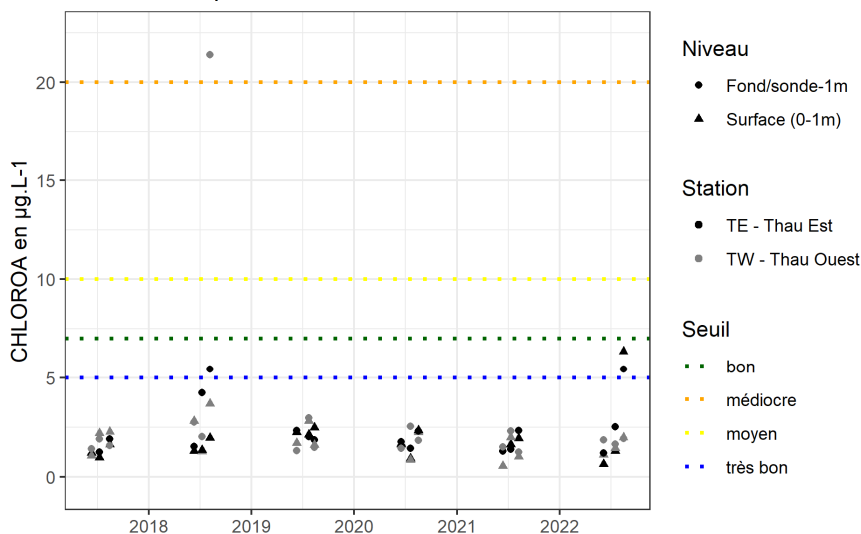
Evolution du paramètre NT



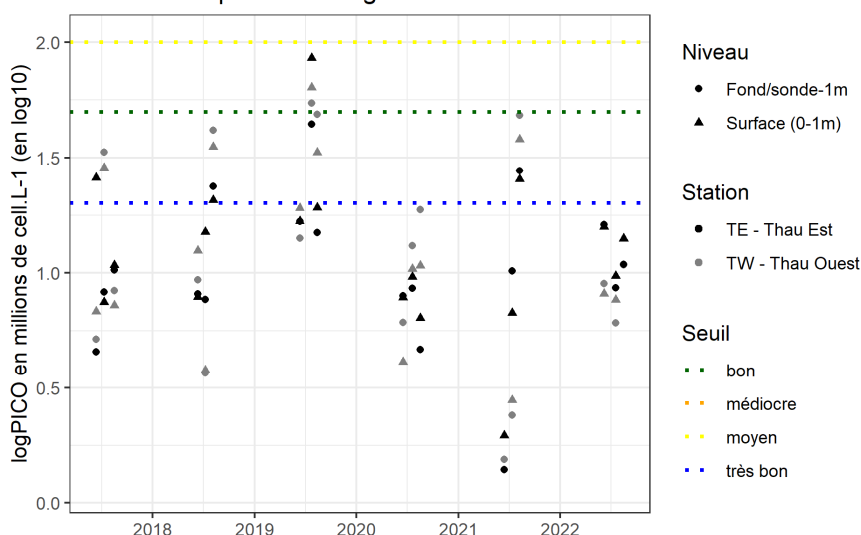
Evolution du paramètre PT



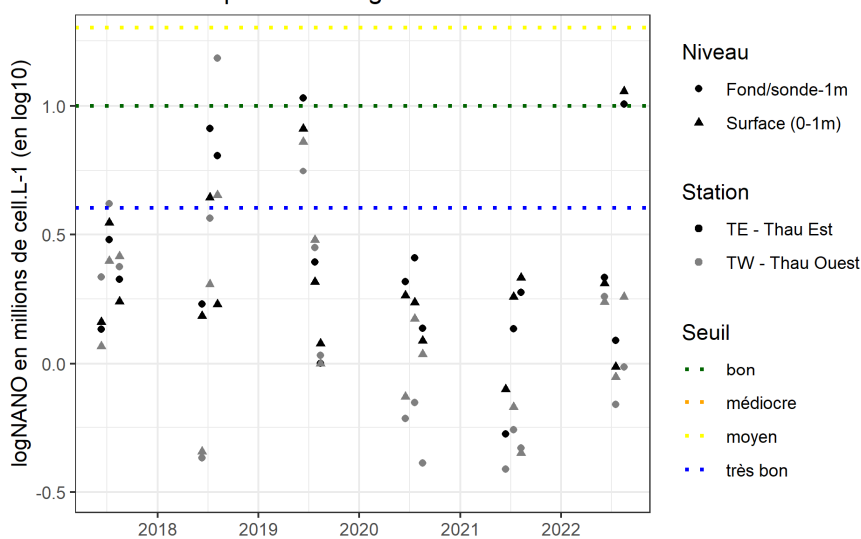
Evolution du paramètre CHLOROA



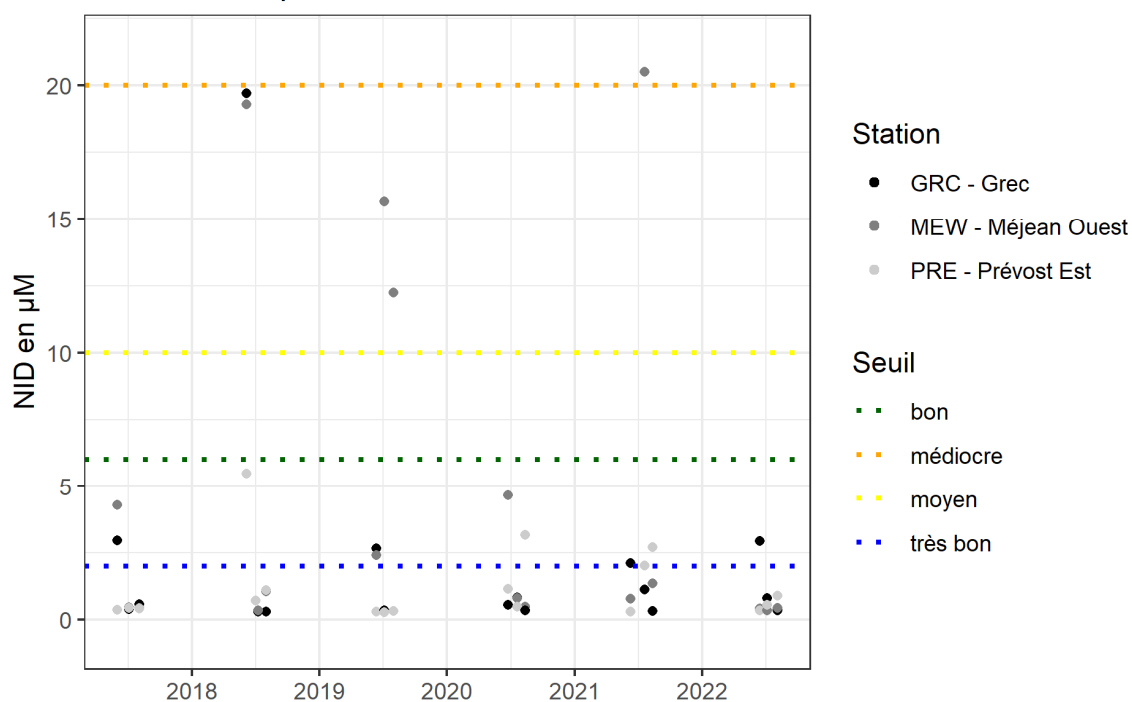
Evolution du paramètre logPICO



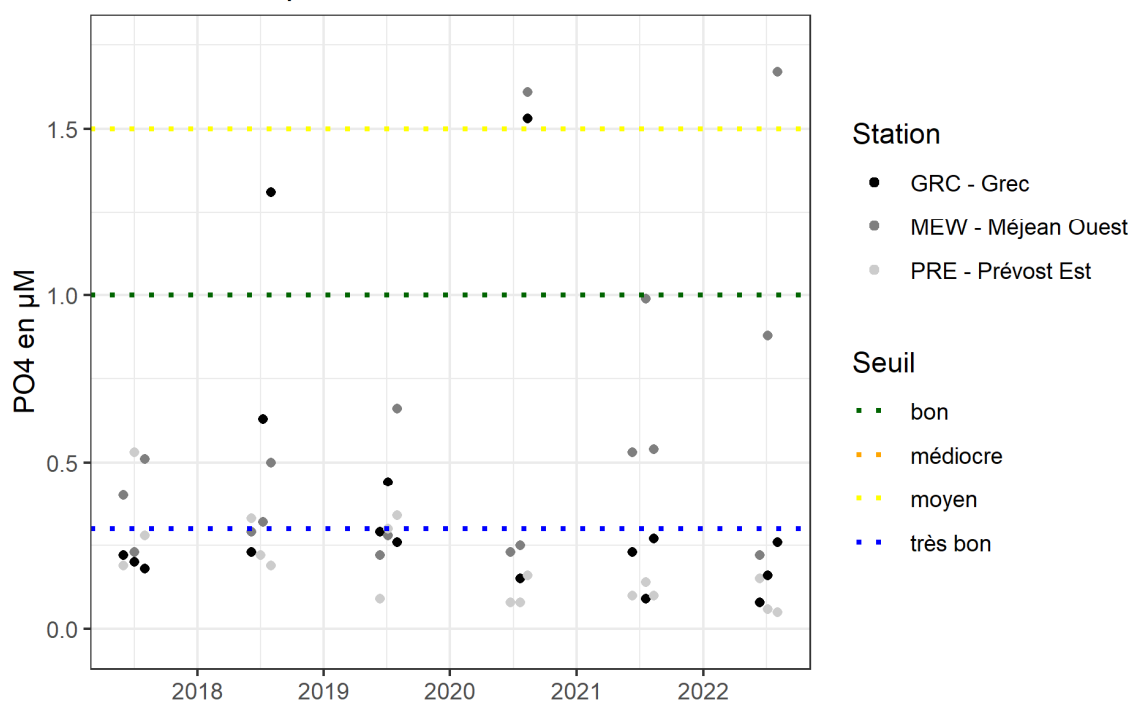
Evolution du paramètre logNANO



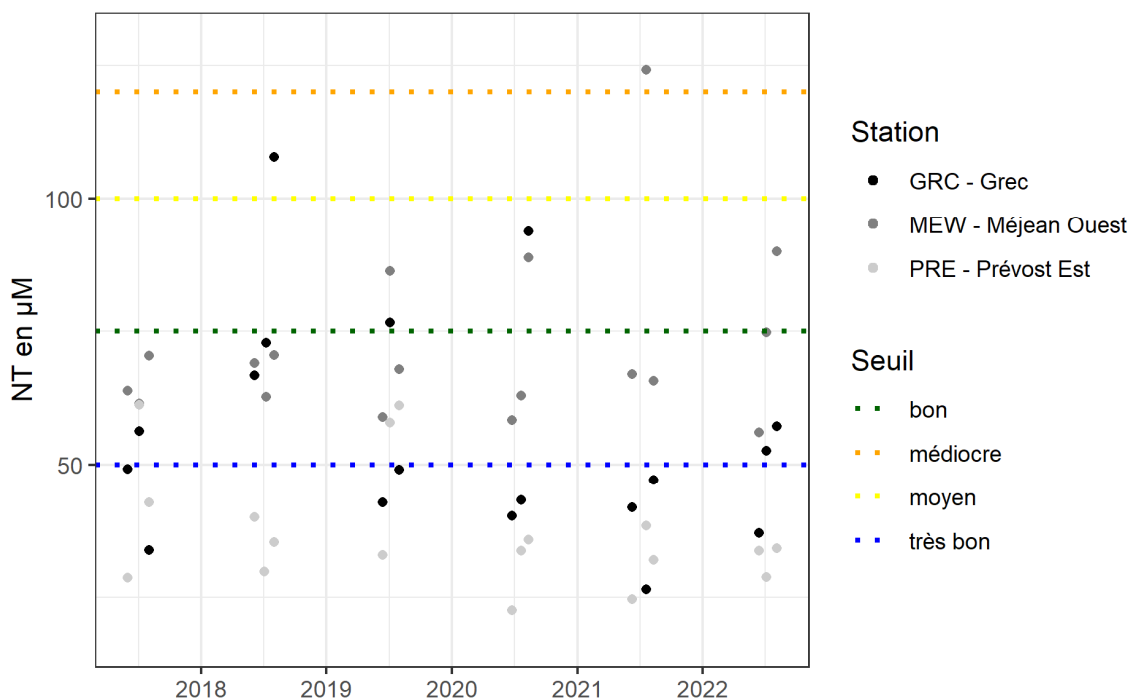
Evolution du paramètre NID



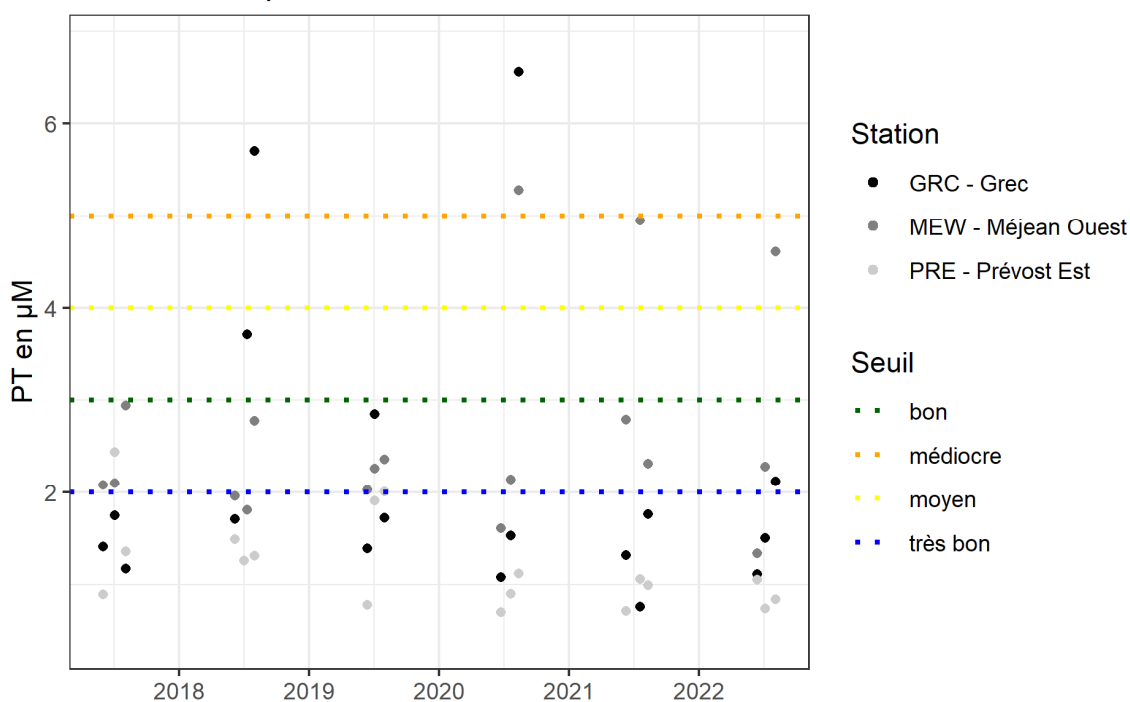
Evolution du paramètre PO4



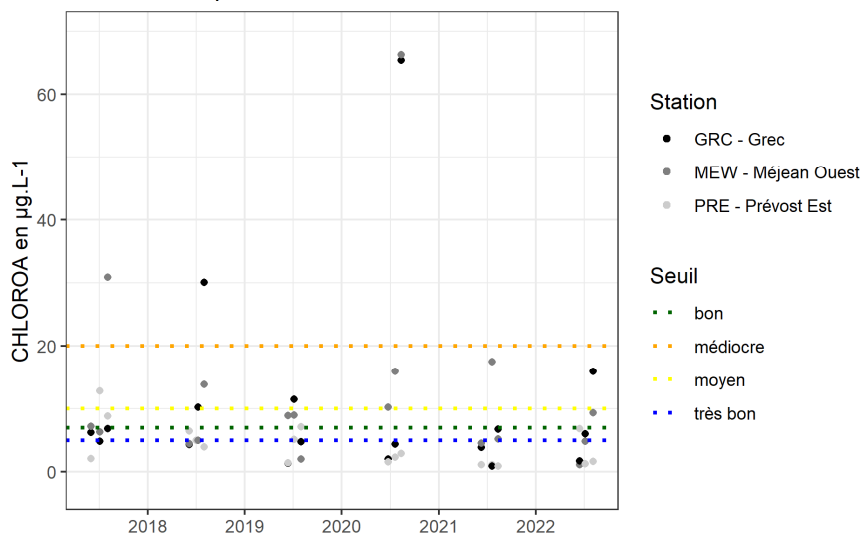
Evolution du paramètre NT



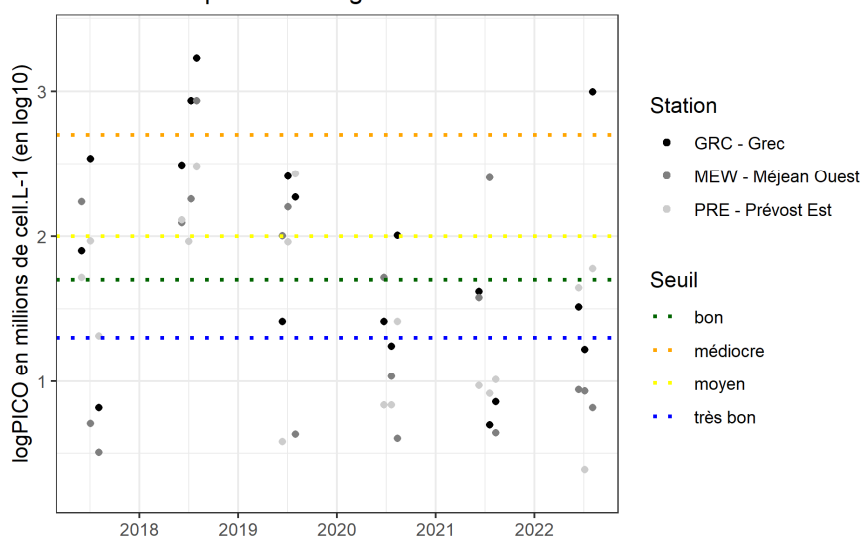
Evolution du paramètre PT



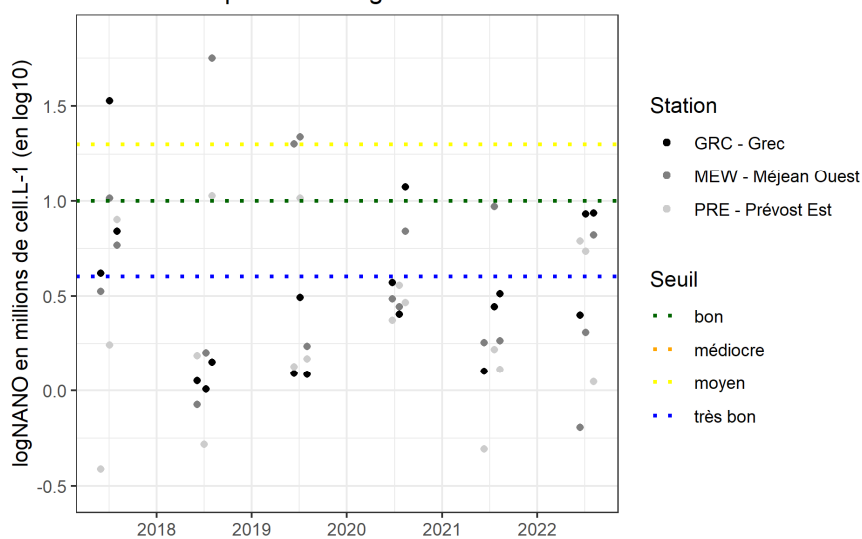
Evolution du paramètre CHLOROA



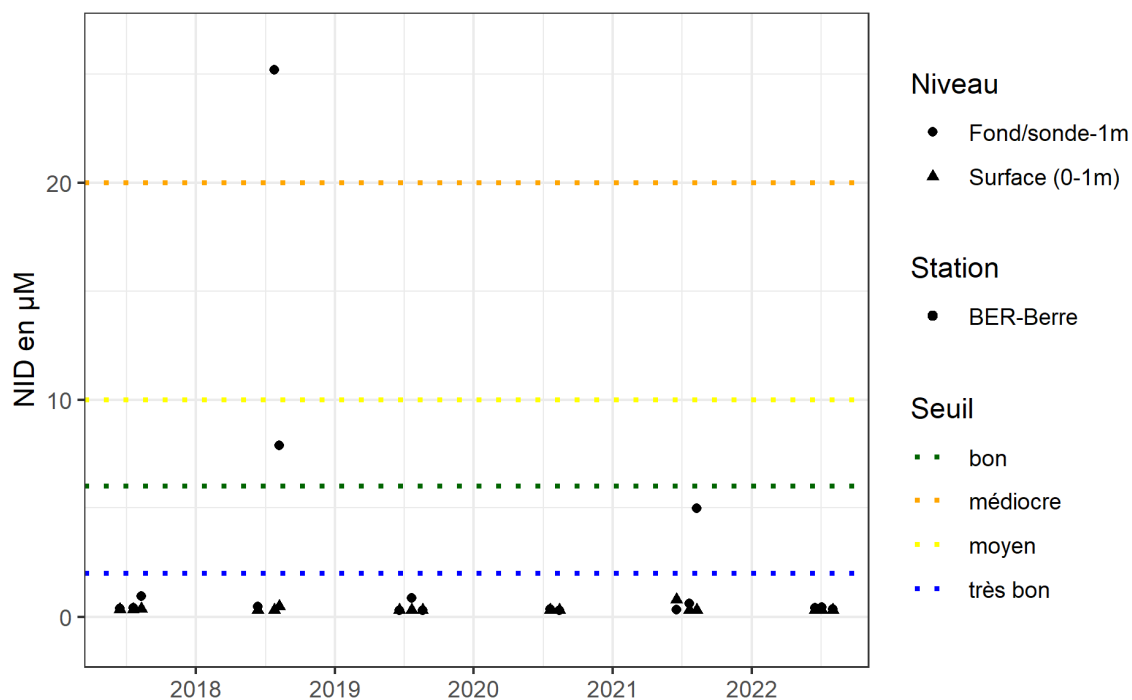
Evolution du paramètre logPICO



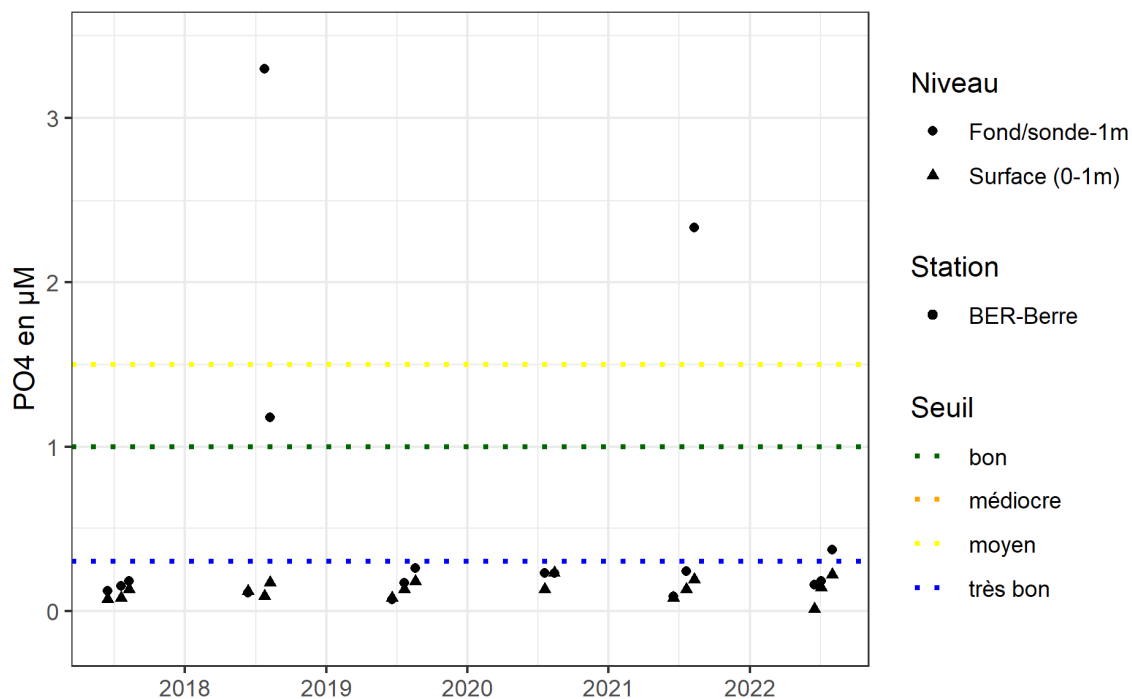
Evolution du paramètre logNANO



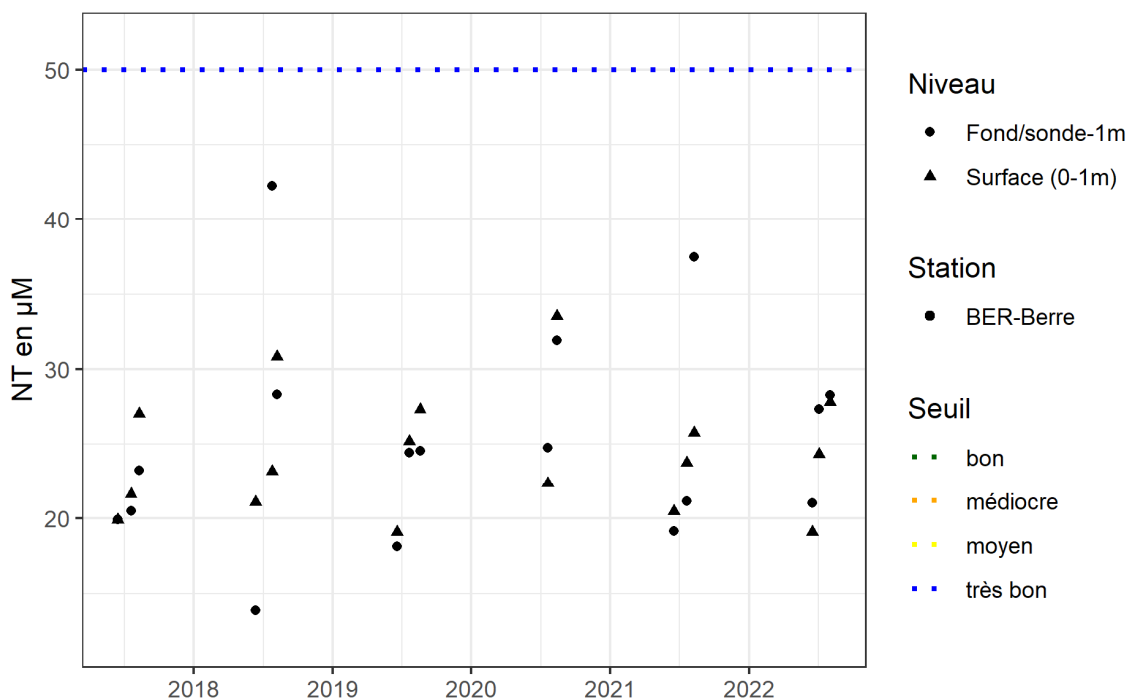
Evolution du paramètre NID



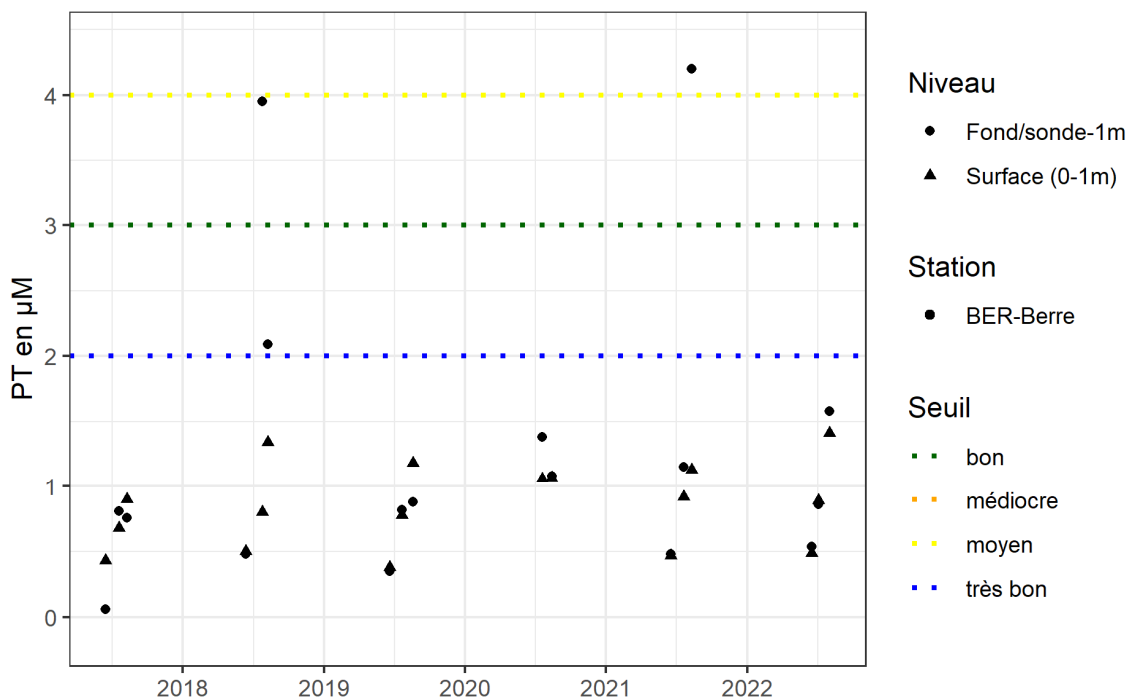
Evolution du paramètre PO4



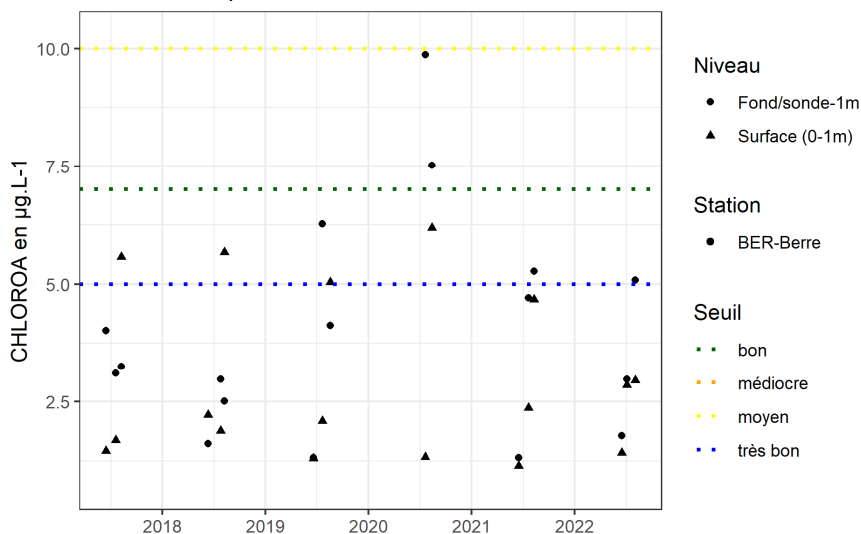
Evolution du paramètre NT



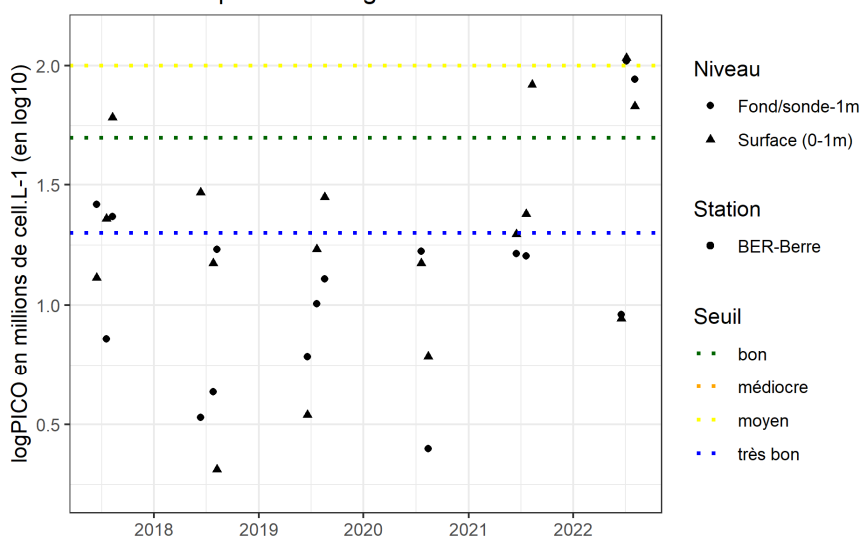
Evolution du paramètre PT



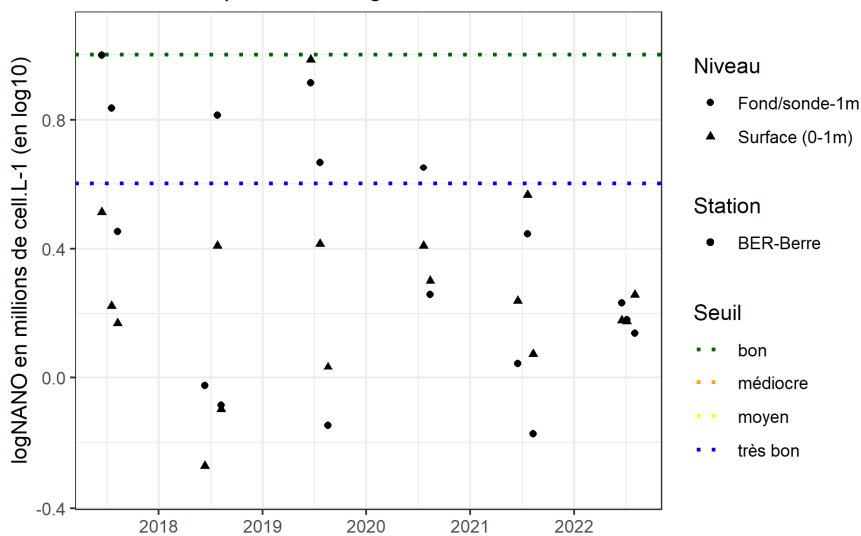
Evolution du paramètre CHLOROA



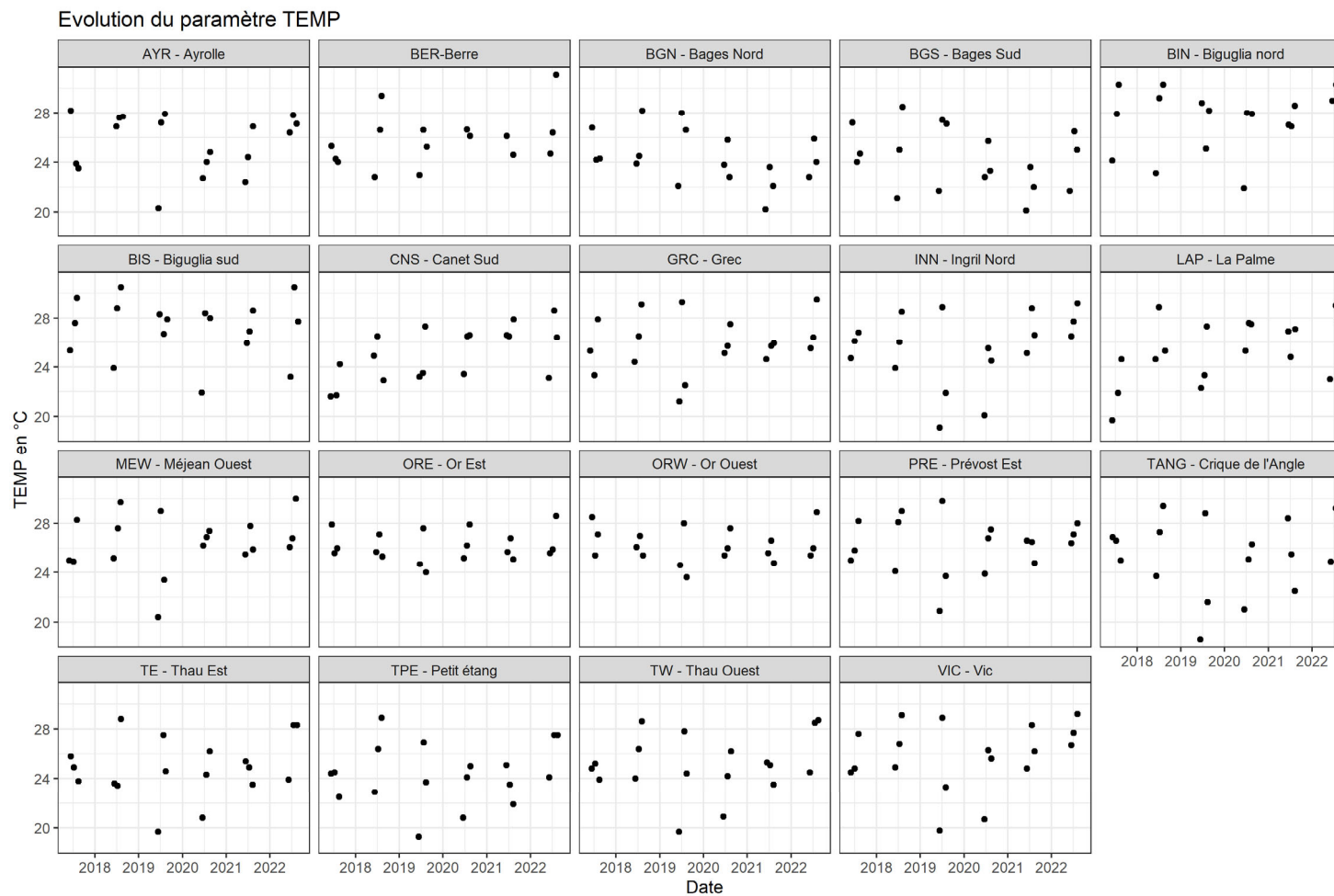
Evolution du paramètre logPICO



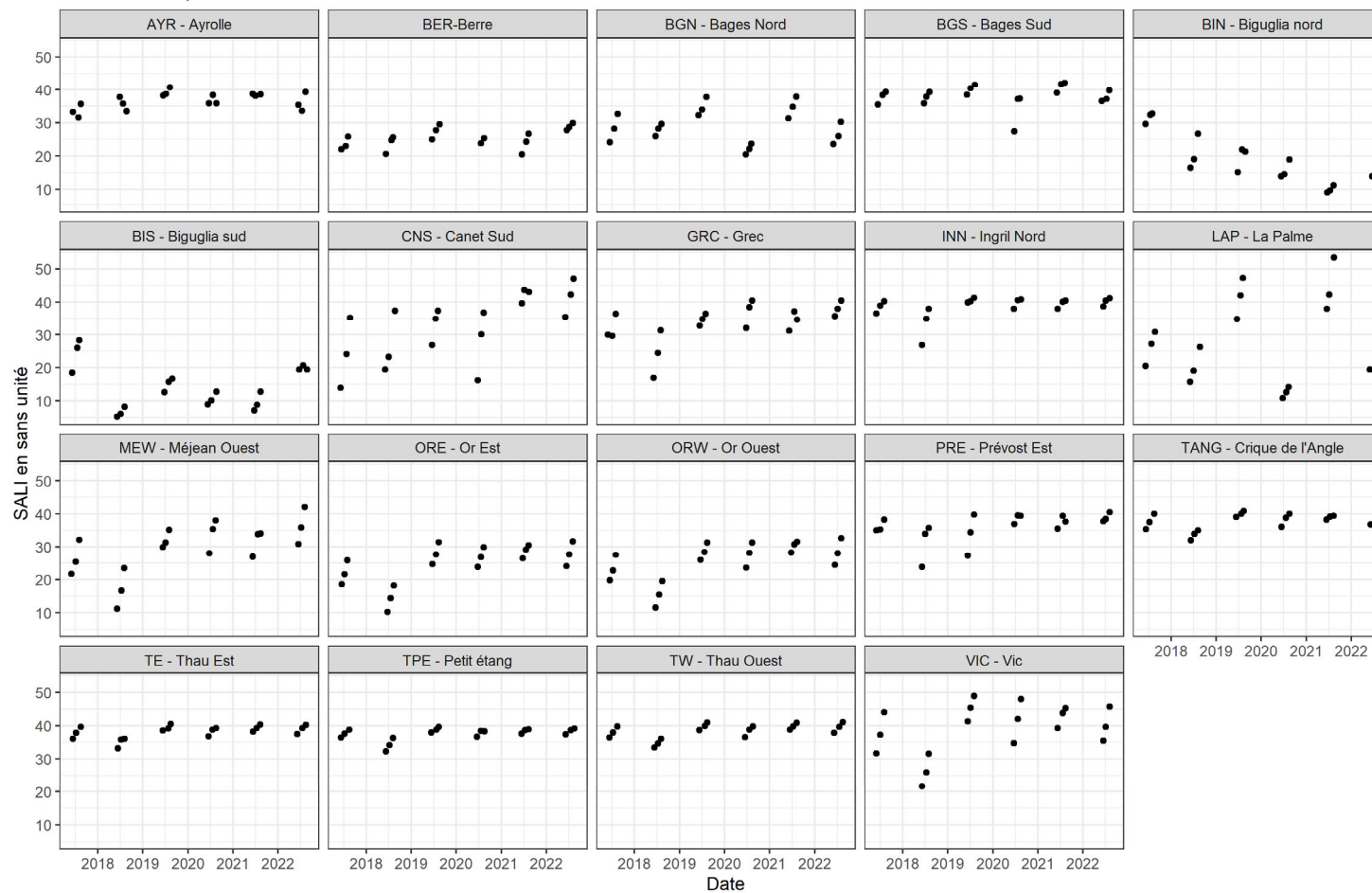
Evolution du paramètre logNANO



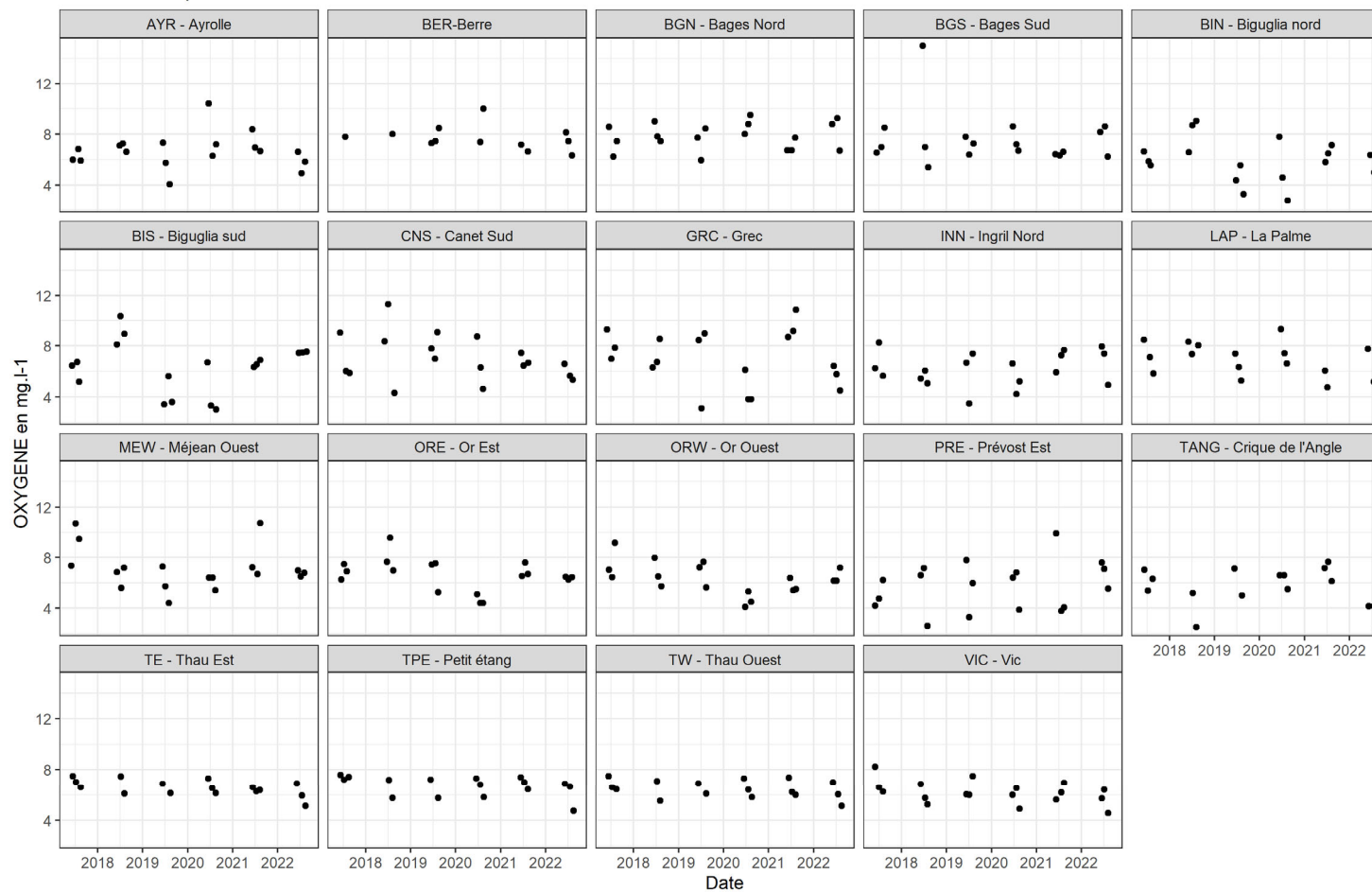
7.6 Evolution des paramètres hydrologiques et des nutriments dissous sur la période 2017-2022.



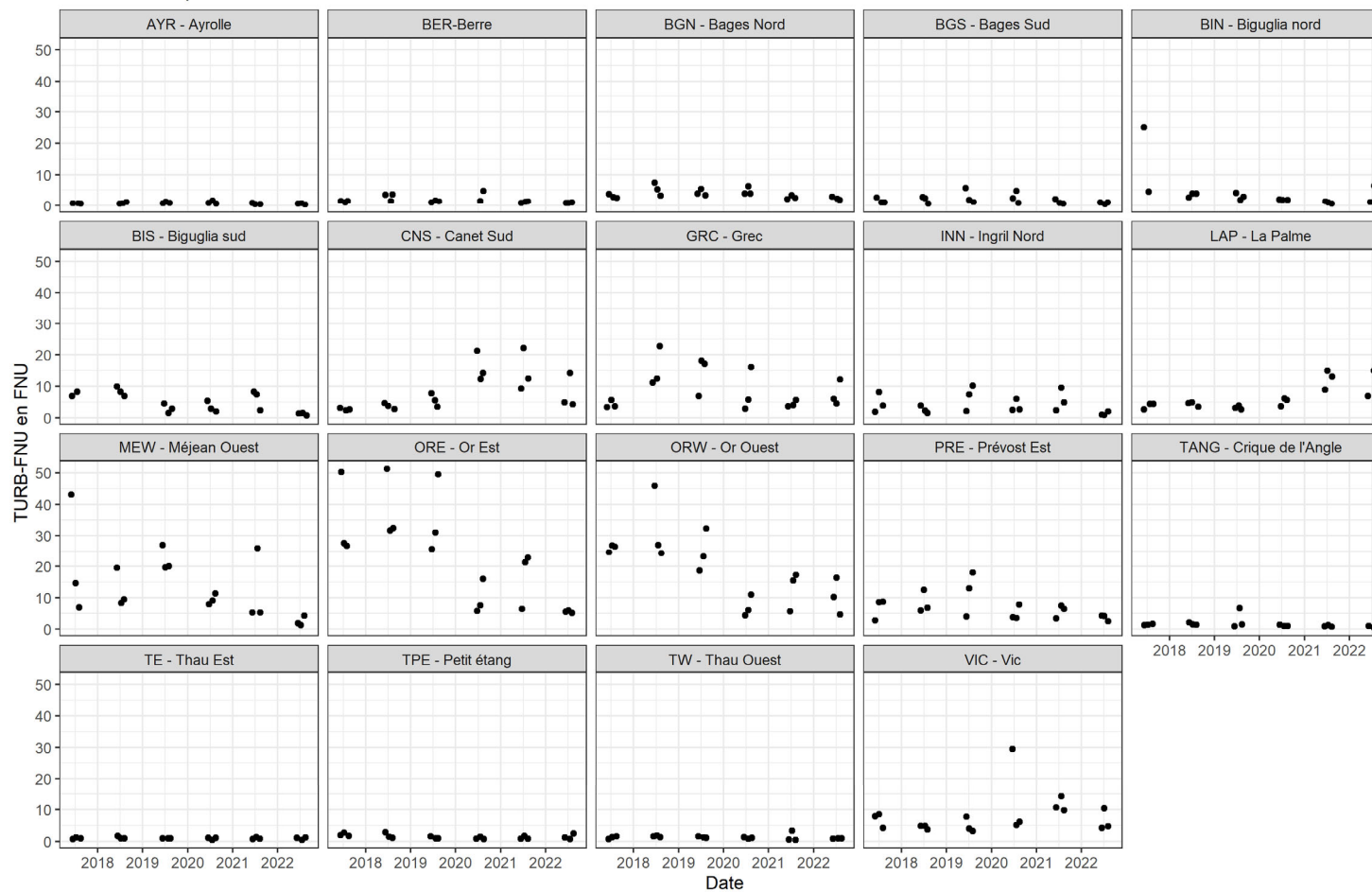
Evolution du paramètre SALI



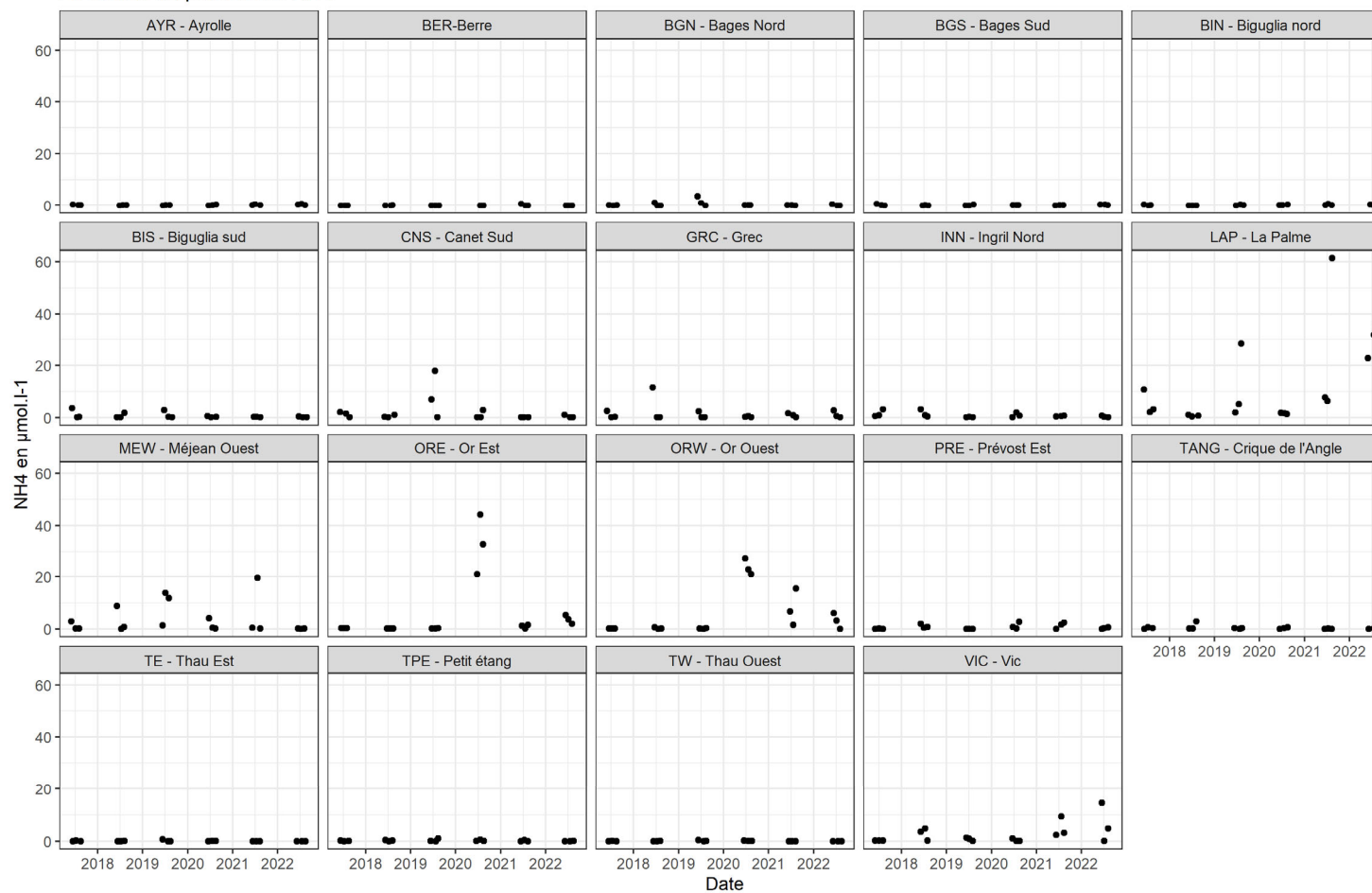
Evolution du paramètre OXYGENE



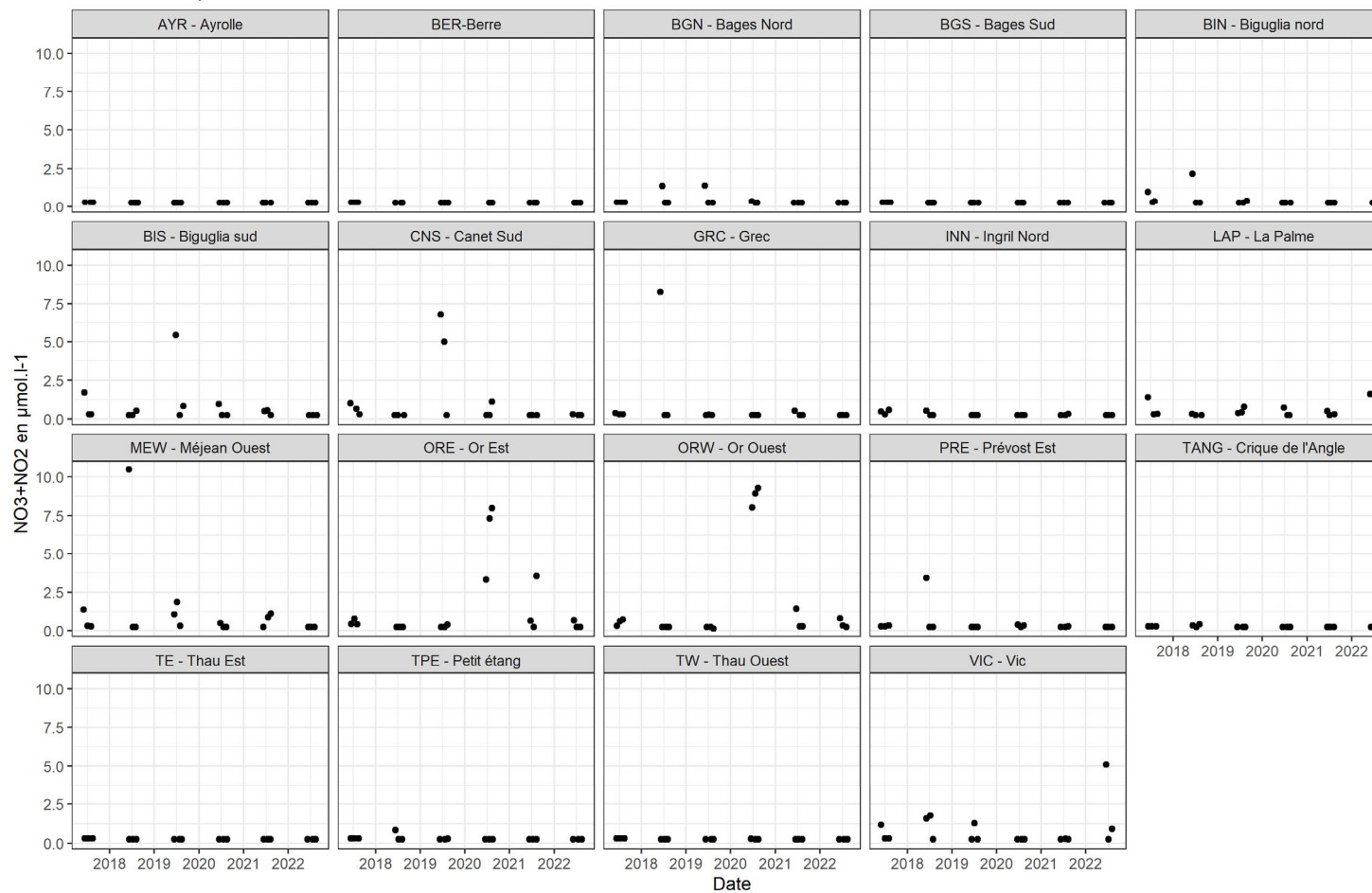
Evolution du paramètre TURB-FNU



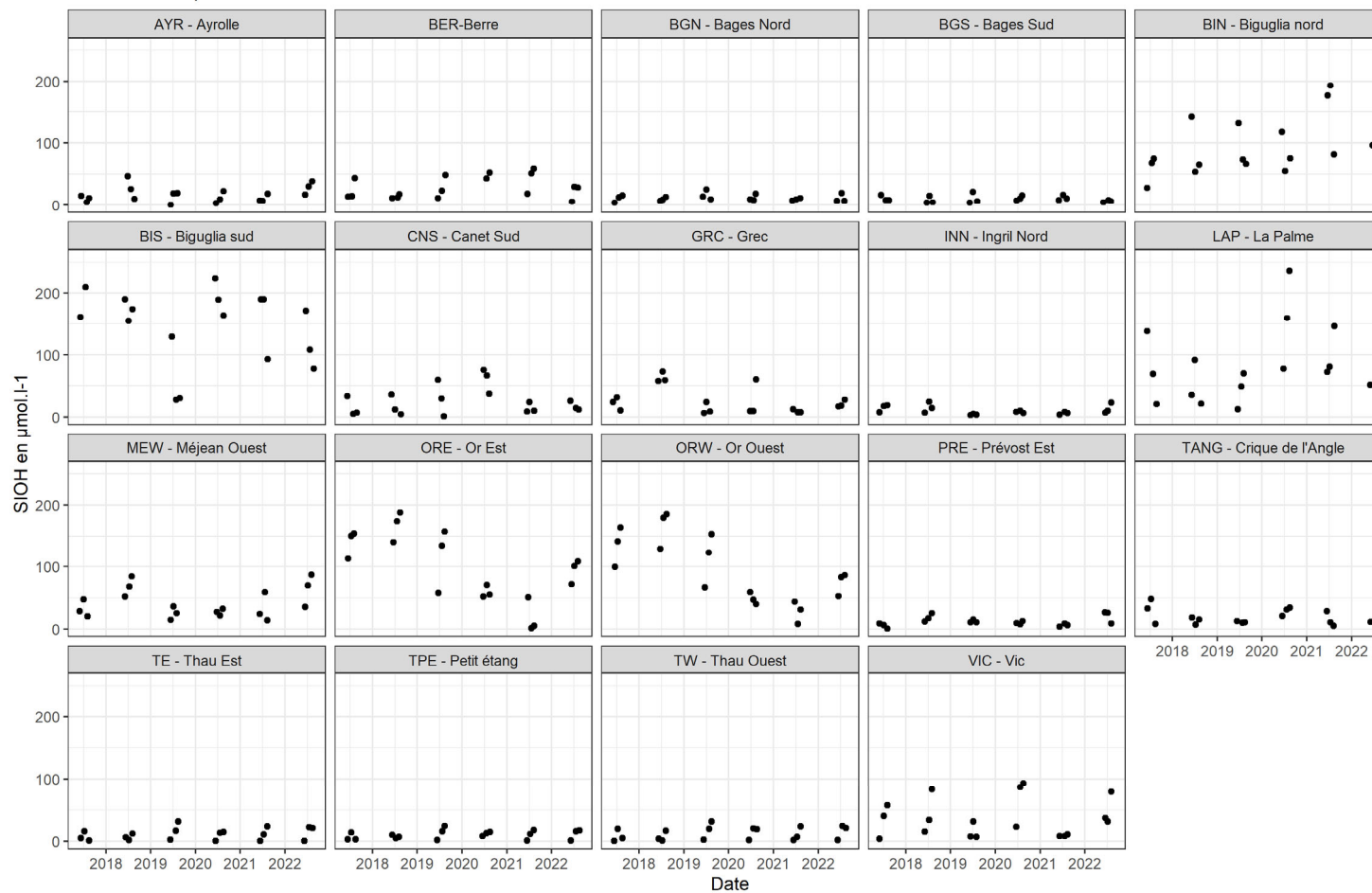
Evolution du paramètre NH4



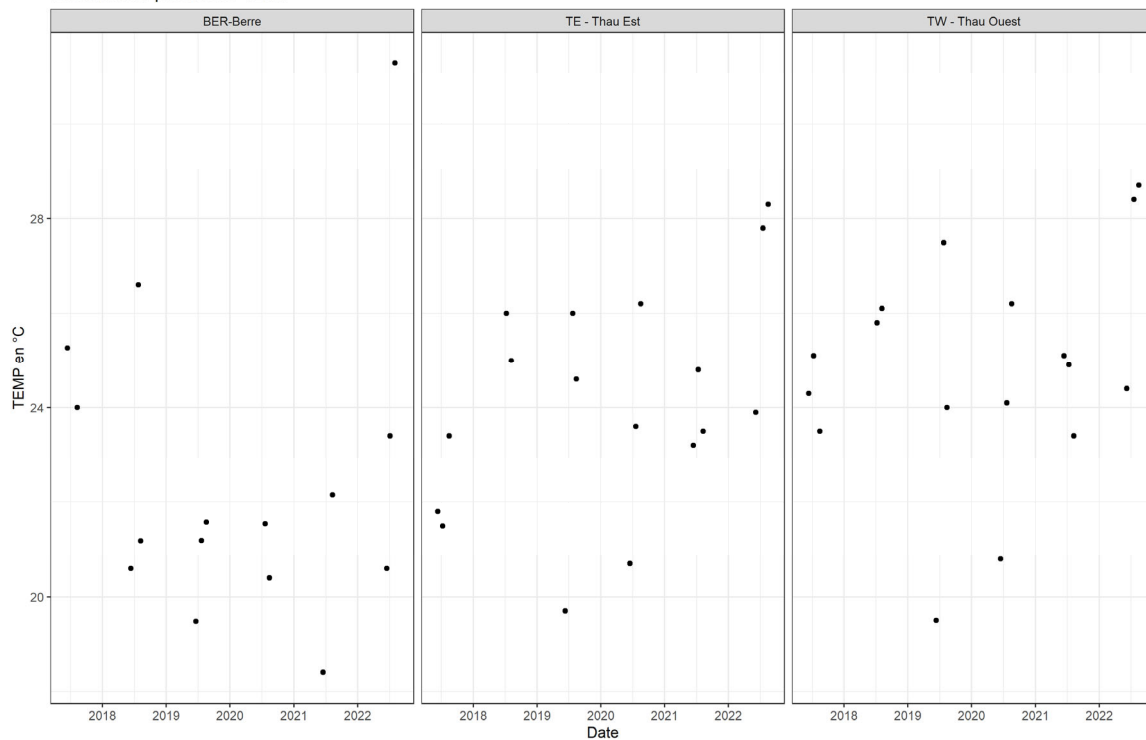
Evolution du paramètre NO3+NO2



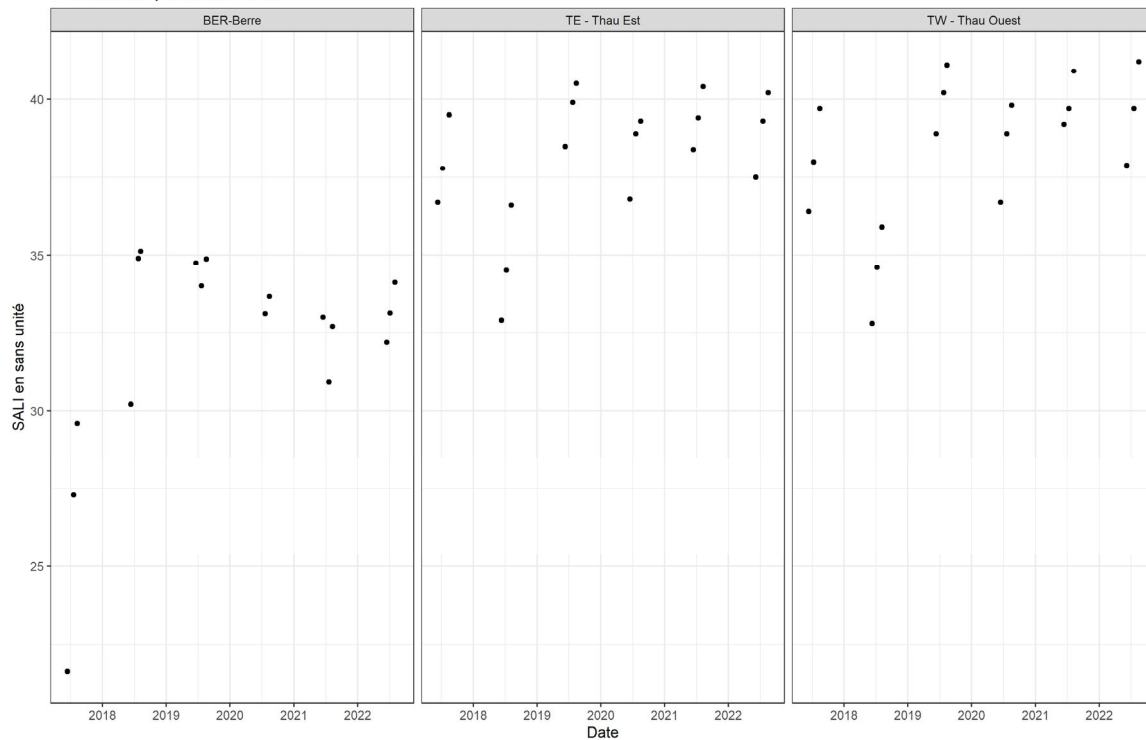
Evolution du paramètre SIOH



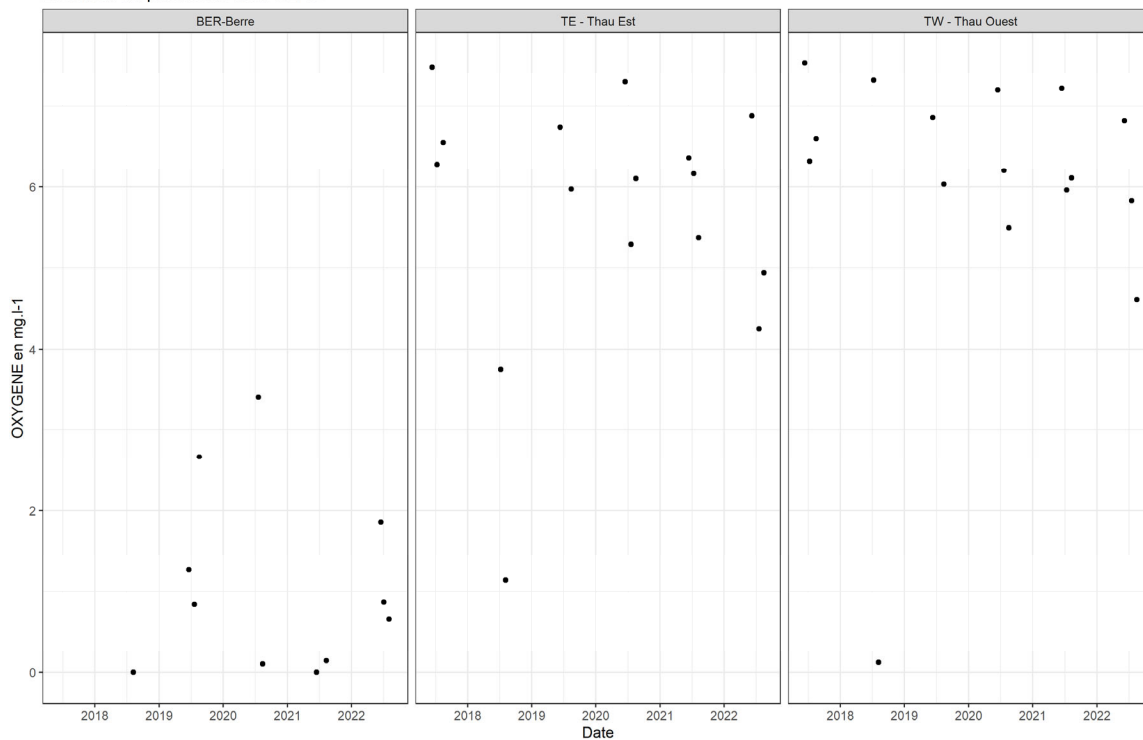
Evolution du paramètre TEMP



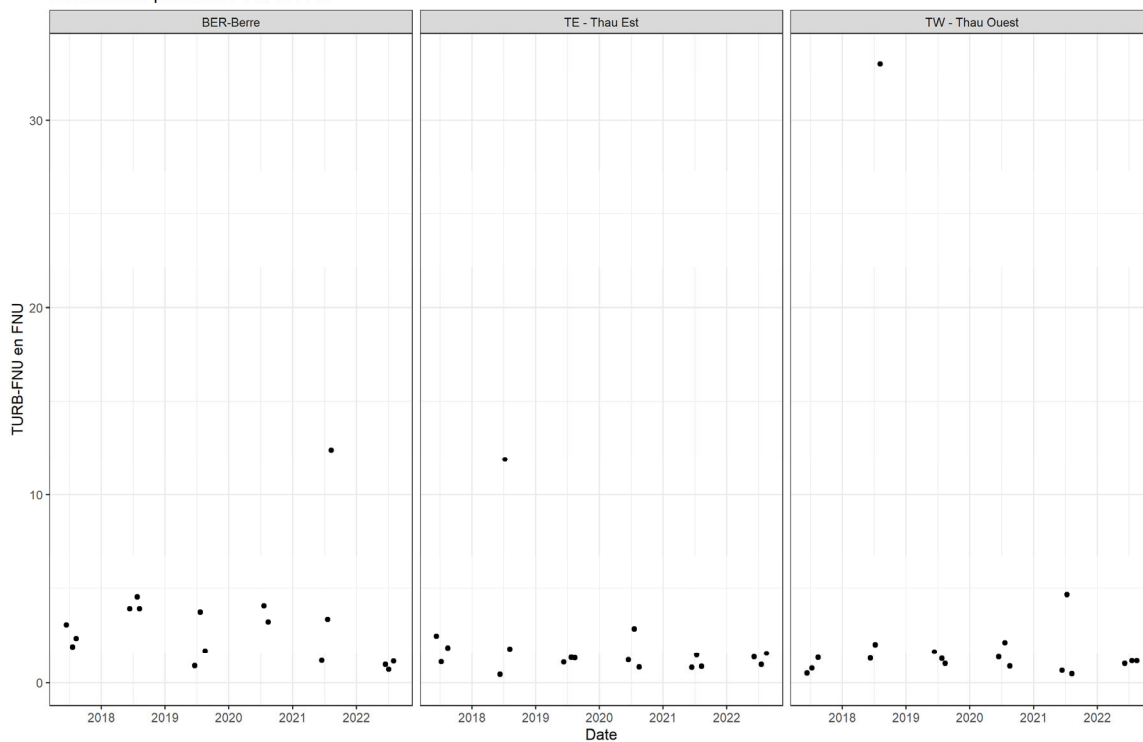
Evolution du paramètre SALI



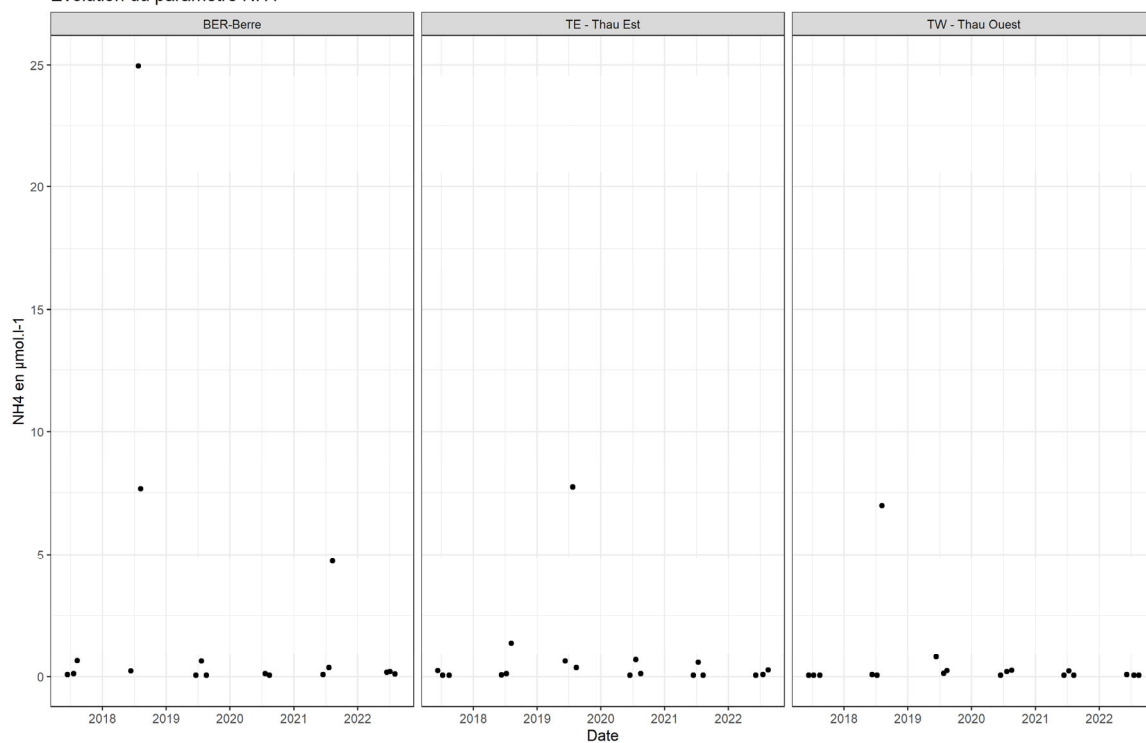
Evolution du paramètre OXYGENE



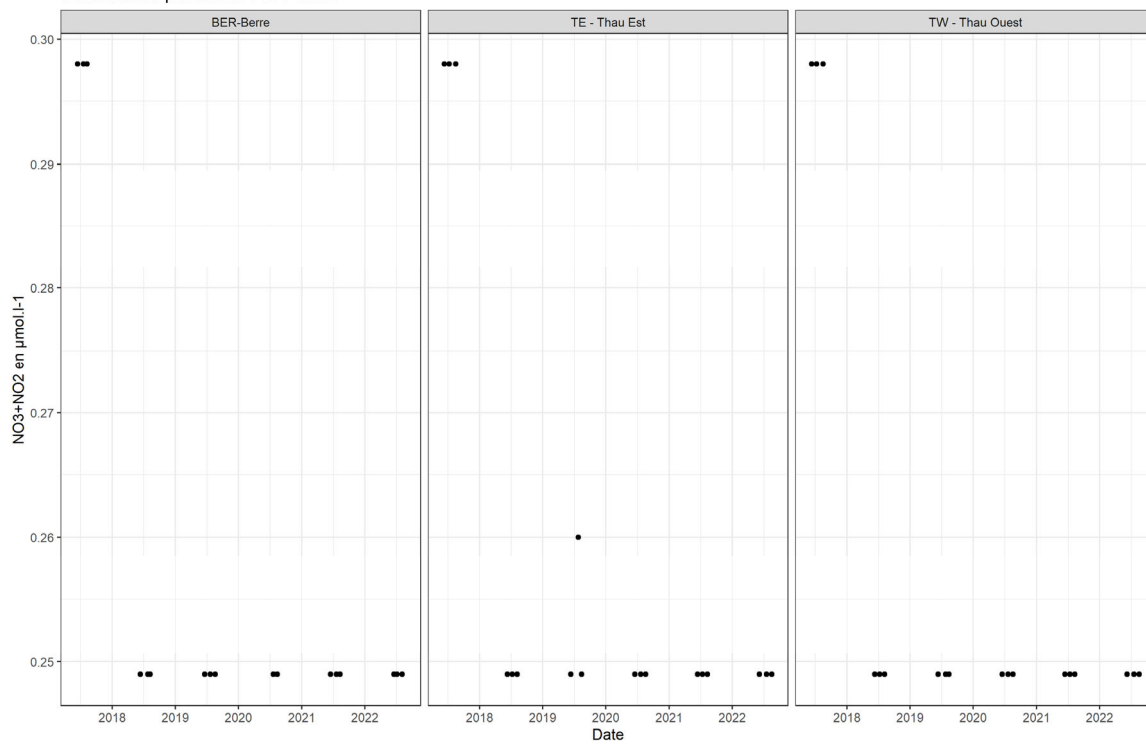
Evolution du paramètre TURB-FNU



Evolution du paramètre NH4



Evolution du paramètre NO3+NO2



Evolution du paramètre SIOH

