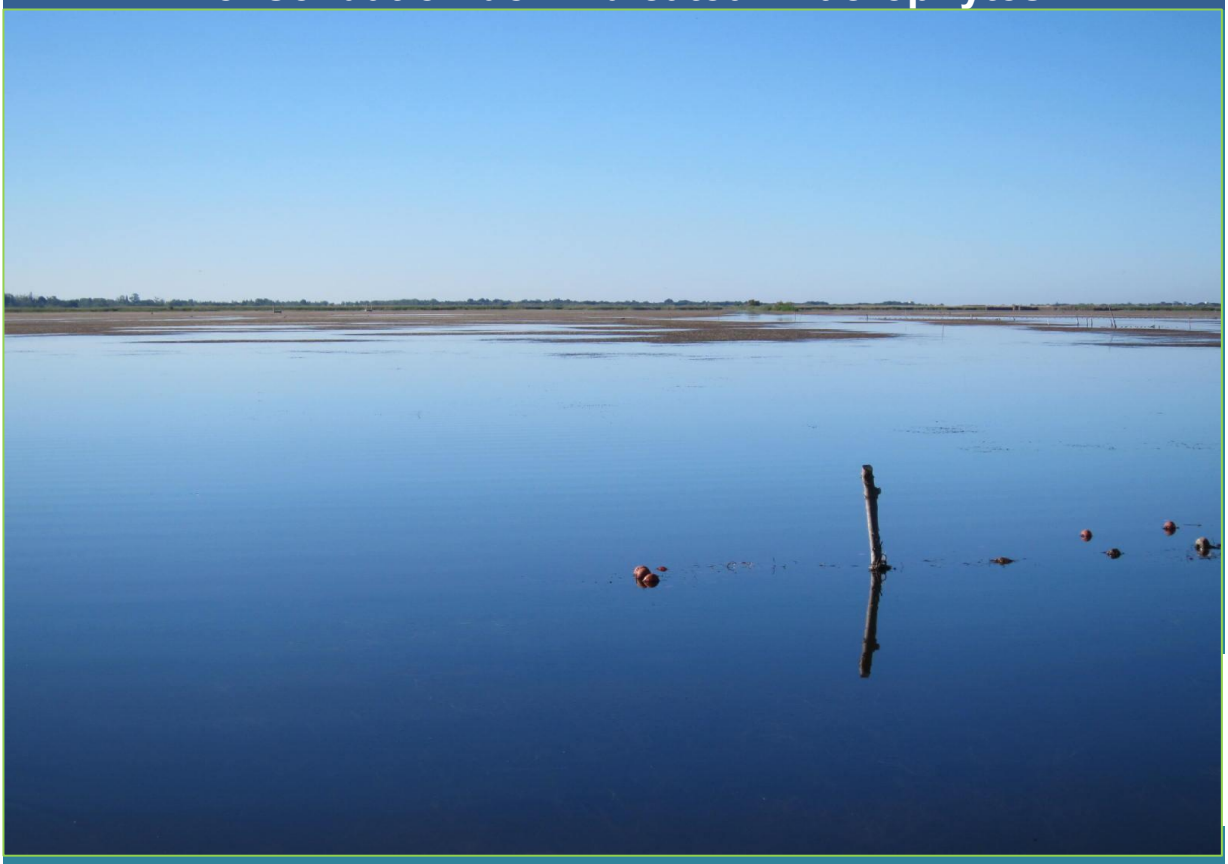
Campagne de surveillance 2017 de l'état DCE des lagunes méditerranéennes oligo- et mésohalines françaises pour la physico-chimie, le phytoplancton et les macrophytes. Consolidation de l'indicateur macrophytes



BILAN DES RESULTATS 2017

Patrick Grillas[1], Samuel Hilaire[1], Hugo Fontès[1] & Béatrice Bec[2]

[1] La Tour du Valat – Institut de recherche pour la conservation des zones humides méditerranéennes. Arles.
[2] Laboratoire Marbec, Université de Montpellier

Sommaire

1. Préambule 3
2. Contexte et objectifs: 4
2.1. La mise en œuvre de la DCE dans les lagunes méditerranéennes 4
2.2. Contenu des suivis 2017 et objectifs de ce rapport 5
3. Matériel et Méthode 6
3.1. Lagunes suivies 6
3.2. Conditions hydroclimatiques 8
3.3. Compartiments « colonne d'eau » et « phytoplancton » 8
3.3.1. Protocoles de prélèvements et d'analyses 8
3.3.2. Compartiment « colonne d'eau » : état physico-chimique DCE 9
3.3.3. Compartiment « phytoplancton » : état DCE du phytoplancton 11
3.4.2. Analyses statistiques de la turbidité 13
3.4.3. Etat DCE du compartiment macrophytes 14
4. Conditions hydroclimatiques 16
5. Résultats et discussion 17
5.1. Définition d'une nouvelle métrique turbidité pour l'indicateur macrophytes 17
5.1.1. Liens entre MES et macrophytes caractéristiques des lagunes oligo- et mésohalines (groupes 1 à 3) 17
5.1.2. Lien entre MES et macrophytes indicateurs d'eutrophisation 20
5.2. Autres facteurs influençant l'abondance des macrophytes 21
5.2.1. Modélisation de l'abondance des macrophytes caractéristiques des lagunes oligo- et mésohalines (GLM) 21
5.2.2. Modélisation de l'abondance des macrophytes indicateurs d'eutrophisation (GLM) 23
5.3. Définition d'un seuil pour la prise en compte des MES minérales 25
5.4. Modification de l'indicateur macrophytes 27
5.5. Etat DCE des lagunes oligo et mésohalines pour les macrophytes 27
5.5.1. Application de l'indicateur 27
5.5.2. Comparaison de l'évolution des macrophytes 2013 - 2017 29
6. Discussion générale et conclusions sur l'indicateur macrophytes 35
7. Bilan de la campagne DCE 2017 pour les lagunes oligo et mésohalines. 37
Bibliographie 59
Liste des figures 61
Liste des tableaux 62
Annexes 63

1. Préambule

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

Rédacteurs du rapport : Patrick Grillas[1], Samuel Hilaire[1], Hugo Fontès[1], Béatrice Bec[2]
Relecture : Anaïs Giraud[3]

[1] Tour du Valat
[2] Université Montpellier – UMR MARBEC
[3] Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse

Remerciements : Patrick Raimbault (Laboratoire MIO); l'ensemble des structures de gestion des lagunes : le Syndicat Mixte pour la Camargue Gardoise, le Parc Naturel Régional de Camargue, le Parc Naturel Régional de la Narbonnaise en Méditerranée, l'Association de Défense de l'Environnement et de la Nature des pays d'Agde, le SIBOJAÏ, le Syndicat Mixte du Delta de l'Aude.

Ce rapport présente le bilan des résultats en 2017 des actions programmées dans le cadre du Suivi des Lagunes Oligo- et Méso-halines. Il concerne les diagnostics de l'eau, du phytoplancton et des macrophytes sur 7 masses d'eau : Campignol, Vendres, Bagnas, Marette, Charnier-Scamandre-Crey, La Palissade et Bolmon.

Citation recommandée :

Grillas P., Hilaire S., Fontès H. & Bec B, 2018. Campagne de surveillance 2017 de l'état DCE des lagunes méditerranéennes oligo- et mésohalines françaises pour la physico-chimie, le phytoplancton et les macrophytes. Amélioration de l'indicateur macrophytes. Tour du Valat / Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, 79 pages.

2. Contexte et objectifs:

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

Les lagunes méditerranéennes sont suivies depuis 2006 au titre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) (Andral et Derolez 2007 ; Andral et Orsoni 2007 ; Andral *et al*. 2010a et 2010b ; Sargian *et al*. 2013a et 2013b ; Derolez *et al.* 2015, 2017). 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.

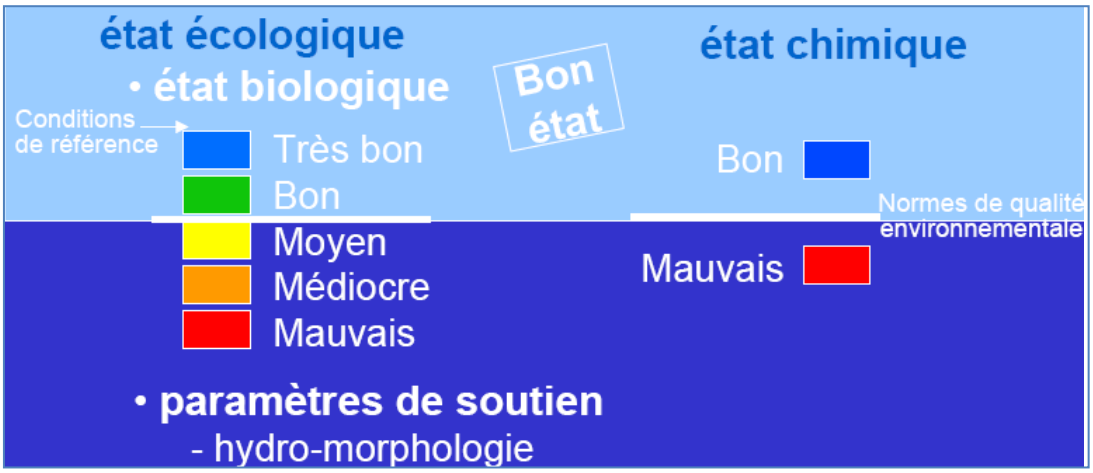


Figure 1. Schéma d'évaluation de l'état des masses d'eau au titre de la Directive Cadre sur l'Eau (Derolez *et al*., 2015)

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

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

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

L'état chimique est bon ou mauvais, selon le respect des normes de qualité environnementale (NQE), 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 seuils de bon état ou des NQE peut occasionner un classement inférieur à bon de la masse d'eau.

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

- le phytoplancton (microalgues),
- les macrophytes (macroalgues et angiospermes),
- la macrofaune benthique,
- et 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 physicochimie, quant à elle, ne peut pas dégrader la masse d'eau au-delà de l'état moyen (un diagnostic de la qualité physico-chimique mauvais ou médiocre conduit à classer en état moyen l'état biologique d'une masse d'eau en état bon ou très bon).

Dans ce contexte, des travaux sont menés depuis 2010 par l'Ifremer, la Tour du Valat et l'IRSTEA, visant à évaluer la pertinence des indicateurs phytoplancton, macrophytes et macrofaune pour les lagunes oligohalines et mésohalines (salinité moyenne < 18 PSU) (Grillas & David 2010 ; Grillas et Derolez 2012 ; Provost *et al.* 2012 ; Sanchez & Grillas 2014 ; Derolez *et al*. 2014 ; Grillas et al. 2016 ; Grillas *et al.* 2017)

L'indicateur macrophytes a fait l'objet d'une première proposition de métrique pour les lagunes oligo et mésohalines en 2014 (Sanchez & Grillas 2014), révisé en 2017 (Grillas *et al.* 2017). La prise en compte des communautés de macrophytes (abondance et composition) s'appuie également sur une analyse des causes trophiques et non trophiques de faible disponibilité de lumière dans l'eau, influençant ces communautés. Cette métrique jusqu'alors basé sur des mesures indirectes mérite d'être vérifiée sur une nouvelle mesure physique de terrain : les matières en suspension minérales.

2.2. Contenu des suivis 2017 et objectifs de ce rapport

Suite aux campagnes 2006, 2009, 2012 et 2015, une campagne d'évaluation de l'état des masses d'eau côtières et de transition de la façade méditerranéenne a été réalisée en 2017 dans le cadre du programme de surveillance DCE. Ce rapport rend compte des suivis réalisés en 2017 sur 7 masses d'eau lagunaires oligo- et mésohalines du bassin Rhône-Méditerranée et Corse.

Un diagnostic de l'état des masses d'eau, intégrant l'état physico-chimique de la colonne d'eau et l'état du phytoplancton est établi pour ces 7 masses d'eau, à partir des données acquises sur la période 2010-2015, selon les critères et les grilles DCE.

Les diagnostics pour les nutriments et le phytoplancton ont été faits selon deux séries de critères (grilles) :

- Les grilles pour les lagunes méditerranéennes de 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 » (MEDDE, 2015).
- Les grilles provisoires spécifiques aux lagunes oligo- et mésohalines proposées dans Grillas *et al.* 2016 ; ces grilles sont en cours de construction et sont susceptibles d'être modifiées. Elles apportent un diagnostic complémentaire sur les masses d'eau.

Le diagnostic pour les macrophytes est réalisé à partir de la consolidation de l'indicateur Macrophytes proposé précédemment (Grillas *et al.* 2017) et appliqué avec les données recueillies en 2017. La consolidation de l'indicateur concerne la métrique turbidité, en remplaçant la pondération par la turbidité totale par la concentration des matières en

suspension (MES) minérales. Il s'agit ici de ne retenir pour la métrique que la part de la turbidité qui n'est pas liée à l'eutrophisation et donc responsable d'une atténuation lumineuse défavorable aux macrophytes mais n'impliquant pas un mauvais état écologique.
Ce travail est conclu par la proposition d'une nouvelle grille d'évaluation.

3. Matériel et Méthode

3.1. Lagunes suivies

Les neuf lagunes concernées par le projet sont les lagunes oligo-halines : Campignol, La Grand Palun (La Palissade), Crey et Scamandre, et les lagunes méso-halines : Charnier, Bolmon, Bagnas, Marette et Vendres) du littoral français méditerranéen continental (Figure 2).



Figure 2. Localisation des lagunes oligo-mésohalines de la façade méditerranéenne (Grillas et al. 2017)

Le Tableau 1 liste, pour chacune des 7 masses d'eau et des 9 lagunes concernées, les stations de suivi hydrologique diagnostiquées pour l'état physico-chimique de la colonne d'eau, l'état du phytoplancton et des peuplements de macrophytes.

Tableau 1 : Lagunes et stations échantillonnés en 2017

Code masse d'eau DCE	Lagunes	Dates de collecte des données	Station	X	Y
FRDT05b-1	**Campignol**	**28/06/2017 13/07/2017 16/08/2017**	CAM2	503829	4771951
			CAM5	503985	4771564
			CAM3	503550	4771590
			CAM1	503590	4772048
			CAM	503756	4772323
FRDT08-1	**Vendres**	**28/06/2017 12/07/2017 16/08/2017**	VDR9	518097	4789552
			VDR6	518618	4788036
			VDR2	518792	4787251
			VDR11	518029	4789344
FRDT09-1	**Bagnas**	**29/06/2017 20/07/2017 17/08/2017**	BAN1	541776	4796381
			BAN5	541880	4797154
			BAN6	542295	4787448
			BAN4	542229	4796595
FRDT13e-1	**Marette**	**08/06/2017 11/07/2017 11/08/2017**	MARN2	594997	4824088
			MARN	594729	4824088
			mars-05	594978	4823299
			MARS	594687	4823239
FRDT13h-1	**Crey**	**09/06/2017 11/07/2017 10/08/2017**	CR2	607217	4831933
			CR3	606168	4832097
			CR1	606840	4831015
	Charnier	**27/06/2017 18/07/2017**	CH1	605836	4829558
			CH4	604238	4829748
			CH3	603656	4830296
			CH2	605114	4831128
	Scamandre	**27/06/2017 05/07/2017 10/08/2017**	SC1	609705	4831926
			SC3	609441	4830878
			SC4	610393	4830500
			SC2	608630	4829951
FRDT14c-1	**Grand Palun**	**01/06/2017 06/07/2017 14/08/2017**	GP1	646052	4802054
			GP2	646812	4801815
			GP3	646840	4801338
			GP4	646741	4801449
			GP5	647325	4801318
FRDT15c-1	**Bolmon**	**23/06/2017 06/07/2017 06/09/2017**	BOL1	674675	4807809
			BOL2	676498	4809035
			BOL3	677434	4809883

3.2. Conditions hydroclimatiques

Les cumuls des précipitations sont donnés pour les années hydrologiques 2008-2009 (du 1er septembre 2008 au 31 août 2009) à 2017-2018 (du 1er septembre 2017 au 31 août 2018) au niveau des sept stations Météo-France suivantes : Narbonne, Agde, Le Grau-du-Roi, Nîmes, Arles et Marseille. A titre de comparaison, les normales ajustées des cumuls annuels de précipitations sont calculées sur 9 années hydrologiques de 2008-2009 à 2017-2018.

3.3. Compartiments « colonne d'eau » et « phytoplancton »

3.3.1. Protocoles de prélèvements et d'analyses

Les suivis de la colonne d'eau et du phytoplancton ont été effectués selon les protocoles décrits dans Baehr *et al*. 2013 et Derolez *et al*. 2015 (Encadré 1). 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).

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). Ces travaux ont également mis à jour les paramètres clés pour le diagnostic de l'état biologique de la colonne d'eau et du phytoplancton : 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. Des paramètres physico-chimiques d'appui ont été mesurés afin de compléter l'interprétation des données : température, salinité, conductivité, oxygène dissous, turbidité, transparence. Ces paramètres sont complétés par les abondances de picophytoplancton (taille < 3 µm) et de nanophytoplancton (> 3 µm), pour qualifier l'état de la colonne d'eau et du phytoplancton au regard de la DCE.

A ces mesures ont été ajoutées :

- La transparence de l'eau mesurée comme la profondeur de Secchi (Secchi, diamètre 20cm) ;
- La turbidité (AquaFluor Fluorimètre/Turbidimètre) ;
- Les matières en suspension minérales, afin d'identifier la part respective des matières en suspension résultant de la présence dans la colonne d'eau de matière organiques (essentiellement le phytoplancton) et de la remise en suspension du sédiment (minérales).

Pour chaque masse d'eau, les diagnostics sont établis à partir de l'ensemble des stations DCE. Pour la masse d'eau Scamandre/Charnier/Crey (FRDT13h) le diagnostic a également été réalisé pour chacun des plans d'eau. Pour la Marette (FRDT13e) le diagnostic a été établi pour la masse d'eau et séparément pour ses parties nord et sud.

Encadré 1. Méthodes pour la mesure de la colonne d'eau et du phytoplancton
Un flacon d'eau de contenance 1L a été prélevé à chaque station pour les analyses d'eau.

Les mesures physico-chimiques réalisées sur le terrain sont les suivantes :
- Température (ºC) (Conductivimètre WWT 315i)
- Profondeur (règle graduée en cm)
- Salinité/Conductivité (Conductivimètre WWT 315i)
- % Saturation en oxygène
- Concentration en oxygène (mg/l)
- Transparence de l'eau (Secchi, diamètre 20cm)
- Turbidité (AquaFluor Fluorimètre/Turbidimètre)

De retour au laboratoire, un échantillon de 25ml d'eau a été prélevé et congelé pour l'analyse ultérieure de l'azote et du phosphore total. Le reste de l'eau prélevée a été utilisé pour effectuer deux filtrations. Entre 50 et 200ml ont été filtrés sur un filtre GFF de diamètre 25 mm et le filtre congelé pour la détermination ultérieure de la charge en chlorophylle a au laboratoire. Entre 50 et 300 ml ont été filtrés avec un filtre GFF de diamètre 47 mm et le filtre séché à l'étuve (pendant au moins 12h à 60°C) et stocké au sec pour la détermination ultérieure de la matière en suspension (MES). Les filtrations ont été effectuées par l'organisme préleveur (Tour du Valat).

Pour la détermination des sels nutritifs (nitrates, nitrites, phosphate, ammonium, etc) 60ml du filtrat (sur filtre GFF) ont été récupérés pour son analyse ultérieure.

A la fin de la campagne de prélèvements, tous les sous-échantillons et filtres ont été expédiés au laboratoire de l'Institut Méditerranéen d'Océanologie (MIO) de Marseille pour la détermination des concentrations en nutriments dans l'eau (nitrites, nitrates, ammonium, phosphates, azote total et phosphore total) (µM/L), de chlorophylle a et pheopigments (µg/L) et de la matière en suspension (MES) (mg/L). Les MES organiques et minérales ont également été distinguées.

Un échantillon d'eau (1ml) a été récupéré avec 50µl de formol 40% (filtré à 0.2 µm) dans un tube NUNC, qui a ensuite été congelé, d'abord dans l'azote liquide à -196ºC, et puis stocké à -80ºC.

Les données sur la qualité de l'eau ont été récoltées lors de trois sessions de terrain entre juin et septembre 2017 (voir tableau 1). Seulement deux passages ont été réalisés sur le Charnier, le passage normalement prévu en août ayant été annulé faute d'autorisation d'accès par le gestionnaire.

Les données seront saisies dans la base Quadrige².

3.3.2. Compartiment « colonne d'eau » : état physico-chimique DCE

La méthode d'évaluation de la qualité des eaux est celle développée par Grillas *et al.* en 2015 et 2017.

Le diagnostic de l'état physico-chimique de la colonne d'eau des masses d'eau lagunaires est établi à partir d'une grille à 4 paramètres : NT, PT, NID et PO_4^{3-}.

Les études engagées depuis plusieurs années par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, l'Onema, l'Ifremer et la Tour du Valat sur ce type de lagunes ont conduit à la proposition d'indicateurs et de grilles de diagnostic des macrophytes adaptés à ces milieux (Sanchez et Grillas 2014, Grillas *et al*. 2017). Des grilles de diagnostic pour le phosphore

total et l'azote total dans la colonne d'eau et pour le phytoplancton ont été proposées (Grillas *et al*. 2017) et sont en cours de validation (étude Onema/Ifremer/Tour du Valat/UM2).

En l'absence d'une validation finale des grilles d'évaluation spécifiques, les résultats obtenus sur les paramètres physico-chimiques sur les 7 masses d'eau oligo-mésohalines (salinité moyenne <18) sont interprétés selon deux systèmes :

- Les grilles DCE pour les lagunes poly-euhalines (salinité moyenne > 18 ; Tableau 2)
- Les grilles provisoires pour l'azote total et le phosphore total et pour la biomasse phytoplanctonique spécifiques aux lagunes oligo- et mésohalines (Tableau 3).

Pour chaque paramètre, une agrégation spatiale et temporelle des données est réalisée, puis une agrégation des 4 paramètres est effectuée pour obtenir l'état physico-chimique de la masse d'eau :

- **Agrégation spatiale :** dans le cas des masses d'eau suivies sur plusieurs stations, les données de chaque paramètre sont agrégées en prenant chaque mois la moyenne des valeurs acquises sur les différentes stations de la masse d'eau.

- **Agrégation temporelle :** afin de prendre en compte la variabilité interannuelle des paramètres physico-chimiques, une agrégation temporelle des données est effectuée. La donnée prise en compte pour chacun des paramètres correspond à la valeur du percentile 90_1 (P90 : formule en Annexe 2) calculé à partir des valeurs moyennes de chaque mois, sur une période de 6 étés consécutifs (durée des plans de gestion DCE). Dans le cadre de cette évaluation, l'agrégation temporelle des données porte sur la période 2012 à 2017.

- **Agrégation des paramètres :** l'état physico-chimique de la masse d'eau est obtenu en sélectionnant la note la plus déclassante des 4 paramètres de la grille. Dans le cadre des évaluations DCE, l'état physico-chimique des masses d'eau est évalué en tant que « paramètre de soutien » aux éléments de qualité biologique. Pour les évaluations DCE, seuls les seuils très bon, bon et moyen sont à définir. Les seuils des états médiocre et mauvais sont cependant utilisés dans ce rapport, car ils permettent de mettre en évidence l'effet des mesures mises en place pour les masses d'eau les plus dégradées, et ainsi de mesurer de façon précoce les évolutions de l'état des lagunes.

Les grilles de diagnostic ci-dessous ont été utilisées :

Tableau 2 : Grilles de diagnostic de l'état physico-chimique des masses d'eau ; a) grille DCE pour les masses d'eau lagunaires ; b) grille proposée pour les lagunes oligo- et mésohalines

a) Grille pour les masses d'eau lagunaires

Paramètre	Unité	Très bon		Bon		Moyen		Médiocre		Mauvais
NID	µmol/L		2		6		10		20	
NT	µmol/L		50		75		100		120	
PO_4^{3-}	µmol/L		0.3		1		1.5		4	
PT	µmol/L		2		3		4		5	

b) Grille proposée pour les lagunes oligo- et mésohalines

Paramètre	Unité	Très bon		Bon		Moyen		Médiocre		Mauvais
NT	µmol/L		70		95		115		170	
PT	µmol/L		2.5		3.5		4.5		7	

3.3.3. Compartiment « phytoplancton » : état DCE du phytoplancton

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

- **biomasse phytoplanctonique** (concentration de chlorophylle *a* en µg/L),

- **abondance phytoplanctonique** (nombre de 10^6 cellules/L) :
  - densité de nanophytoplancton (> 3 µm),
  - densité de picophytoplancton (< 3 µm).

Les études engagées depuis plusieurs années par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, l'Onema, l'Ifremer et la Tour du Valat sur les lagunes « oligo- et mésohalines » ont conduit à la proposition de grilles de diagnostic pour le phytoplancton (Grillas *et al*. 2018) et sont en cours d'étude. Seule la métrique « biomasse » a été adaptée pour les lagunes « oligo- et mésohalines » ; faute de données suffisantes pour l'adapter à ces lagunes, la métrique « abondance » utilisée est la même que pour les lagunes « eu- et polyhalines ».
En l'absence d'une validation finale des grilles d'évaluation spécifiques, les résultats obtenus sur le compartiment « phytoplancton » sur les 7 masses d'eau oligo-mésohalines (salinité moyenne <18) sont interprétés selon deux systèmes :

Tableau 3 : Grilles de diagnostic de l'état du phytoplancton ; (a) grilles DCE pour les masses d'eau lagunaires ; (b) grilles proposées pour les lagunes oligo- et mésohalines.

a) grille DCE masses d'eau lagunaires		Très bon		Bon		Moyen		Médiocre		Mauvais
Abondance (nb cell./L(X 10^6))	picophyto		20		50		100		500	
	nanophyto		4		10		20		100	
Biomasse (oligo-meso)			5		7		10		20	
		Très bon		Bon		Moyen		Médiocre		Mauvais
EQR_A abondance	picophyto		0.75		0.3		0.15		1.03	
	nanophyto		0.75		0.3		0.15		0.04	
EQR_B biomasse (oligo-meso)			0.67		1.48		1.33		1.17	
EQR_{PHY}			**0.71**		**0.39**		**0.24**		**0.10**	

b) grille lagunes oligo- mesohalines		Très bon		Bon		Moyen		Médiocre		Mauvais
Abondance (nb cell./L(X 10^6))	picophyto		20		50		100		500	
	nanophyto		4		10		20		100	
Biomasse (oligo-meso)			9		15		27		51	
		Très bon		Bon		Moyen		Médiocre		Mauvais
EQR_A abondance	picophyto		0.75		0.3		0.15		0.03	
	nanophyto		0.75		0.3		0.15		0.03	
EQR_B biomasse (oligo-meso)			0.67		0.40		0.22		0.12	
EQR_{PHY}			**0.71**		**0.35**		**0.19**		**0.07**	

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

- **agrégation spatiale :** dans le cas des masses d'eau suivies sur plusieurs stations, les données de chaque paramètre sont agrégées en prenant chaque mois la moyenne des valeurs acquises sur les différentes stations de la masse d'eau ;
- **agrégation temporelle :** afin de prendre en compte la variabilité interannuelle des paramètres physico-chimiques, une agrégation temporelle des données est effectuée. La donnée prise en compte pour chacun des paramètres correspond à la valeur du percentile 90 calculé à partir des valeurs moyennes de chaque mois, sur une période de

6 étés consécutifs (durée des plans de gestion DCE). Dans le cadre de cette évaluation, l'agrégation temporelle des données porte sur la période 2012 à 2017 ;

- **transformation en EQR :** la valeur de chaque métrique est rapportée à la valeur de référence, définie à partir des données obtenues sur trois lagunes peu soumises à des pressions anthropiques. L'EQR obtenu prend alors des valeurs comprises entre 0 (état dégradé) et 1 (état de référence). Comme pour les éléments nutritifs, deux grilles d'évaluation ont été utilisées, celle des lagunes eu- et polyhalines et une grille provisoire, en cours d'étude, spécifique aux lagunes oligo-et méso-halines (Grillas *et al.* 2018).

- **agrégation des paramètres :**
    - la métrique d'abondance (EQR_A) est obtenue en retenant le minimum des EQR des densités de nanophytoplancton et de picophytoplancton.

    - l'état du compartiment « phytoplancton » (EQR_{PHY}) est obtenu en retenant la moyenne des métriques « abondance » (EQR_A) et « biomasse » (EQR_B) (Tableau 3).

3.4. Compartiment macrophytes

3.4.1. Protocole de prélèvement

Un protocole de mesure intermédiaire entre ceux utilisés dans les lagunes et les lacs d'eau douce a été développé et un indicateur macrophytes original proposé. Il est basé sur la valeur indicatrice des espèces réparties en 5 groupes le long du gradient d'eutrophisation (Sanchez et al. 2014).

Les peuplements de macrophytes ont été mesurés entre mi-juin et fin juillet 2017 sur 2 ou 3 points sur chaque station (Tableau 4). Ainsi, en plus du point principal où ont été collectés les échantillons d'eau, 1 ou 2 points complémentaires ont été définis en direction des points cardinaux et de la berge la plus proche. Ces points étaient placés à une distance de 200m de la station principale pour les lagunes les plus grandes (plus de 300ha) et à une distance de 100m de la station pour les lagunes plus petites.

Tableau 4 : Nombre de points et date des inventaires macrophytes par lagunes (2017)

Masse d'eau DCE	Lagunes	Nombre de stations échantillonnées	Nombre de points échantillonnés par stations	Date
FRDT05b-1	**Campignol**	5	2	13/07/2017
FRDT08-1	**Vendres**	4	2	12/07/2017
FRDT09-1	**Bagnas**	4	2	29/06/2017
FRDT13e-1	**Marette**	4	3	08/06/2017
FRDT13h-1	**Crey**	3	3	09/06/2017
	Charnier	4	3	18/07/2017
	Scamandre	4	3	05/07/2017
FRDT14c-1	**Grand Palun**	5	3	01/06/2017
FRDT15c-1	**Bolmon**	3	3	23/06/2017

L'observation des macrophytes a été effectuée à l'aide d'un râteau depuis un bateau avec le même protocole que celui utilisé par Grillas & David 2010. Cette méthode de mesure dérive de la méthode de référence pour les plans d'eau douce de Dutartre & Bertrin 2009.

Dans chaque station, un point fixe a été installé (ancre, piquet, etc.) et dans un rayon de 30m autour du point, le recouvrement total des macrophytes a été estimé visuellement lorsque cela était possible (bonne transparence ou macrophytes affleurant la surface). A partir de ce point, un transect de 30m a été établi dans une direction au hasard (souvent dans le sens du vent pour faciliter la manœuvre). Des points de mesure des macrophytes ont été réalisés à l'aide du râteau tous les mètres le long du transect. La manipulation du râteau comporte au moins un demi-tour (180°) sur lui-même au contact du fond.
Le point de départ et d'arrivée de chacun des transects a fait l'objet d'un relevé GPS. La profondeur de l'eau a été mesurée au début, au milieu et à la fin de chaque transect. La transparence de l'eau et la turbidité ont été mesurées au point de départ à l'aide d'un disque de Secchi.

L'abondance des taxons récoltés par ces prélèvements a été évaluée pour chaque espèce selon une gamme de 1 à 5 (Dutartre & Bertrin 2009) (Tableau 5).

L'abondance totale des macrophytes par prélèvement est calculée comme la somme des abondances de chaque espèce. L'abondance totale peut dépasser la valeur de 5 lorsque plusieurs taxons sont présents.

Tableau 5. Méthode d'évaluation de l'abondance relative des espèces récoltées au râteau

Code	Abondance
1	Quelques fragments
2	Fragments fréquents
3	Fragments sur l'ensemble du râteau
4	Taxon abondant
5	Taxon sur tout l'appareil
X	Présence à proximité du point de Prélèvement

Un recouvrement par espèce et par groupe est calculé. Il s'agit de la somme des coefficients d'abondance par points de mesure, divisé par la valeur maximale possible sur le transect (5 x 30 = 150). Un recouvrement de 100% pour une espèce se traduit par l'attribution d'un coefficient de 5 pour les 30 points d'échantillonnage au sein d'une placette. Les recouvrements par groupes (recouvrements d'espèces cumulés) peuvent donc dépasser 100% et sont donc ramenés à cette valeur maximum.

3.4.2. Analyses statistiques de la turbidité

Dans la version précédente de l'indicateur (Grillas *et al.* 2017), une pondération par la turbidité permettait d'améliorer la note globale de l'indicateur macrophytes lorsque la turbidité était élevée. La variable utilisée (NTU) ne permettait pas de distinguer la turbidité d'origine trophique (phytoplancton en particulier) de celle résultant de la remise en suspension des sédiments sous l'effet du vent (donc non liée à l'eutrophisation). Une approche indirecte était utilisée, en calculant les résidus de la corrélation entre la turbidité et la biomasse de chlorophylle-a. Afin de simplifier l'indicateur, la mesure des matières en suspension minérales a été ajoutée aux mesures physiques sur la colonne d'eau en 2017. L'approche mise en œuvre précédemment (Grillas *et al.* 2017) a été reprise dans ce travail avec les données des mesures 2017 incluant en outre cette variable supplémentaire. Les analyses ont donc visé à retravailler les relations statistiques entre les paramètres mesurés lors de cette campagne et à intégrer directement la mesure de MES minérale en lieu et place de la métrique « résidus … » afin de simplifier et fiabiliser la prise en compte de ces MES. (l'ensemble visant à consolider l'indicateur macrophytes qui, rappelons-le, a été construit initialement avec très peu de données). Ainsi, les analyses statistiques ont été conduites dans le but de corréler les variables liées à la turbidité : Profondeur, Salinité, Secchi, Turbidité (NTU), MES minérales et organiques (mg/l), Chlorophylle a (µgl/l) à l'abondance de

macrophytes, agrégés en deux groupes (espèces caractéristiques des lagunes oligo- et mésohalines et espèces indicatrices d'eutrophisation). L'objectif est d'identifier la part de la turbidité qui est causée par la remise en suspension du sédiment, donc non liée à l'eutrophisation, et de l'intégrer dans l'indicateur macrophyte.

Pour cela, nous avons d'abord réalisé une matrice de corrélation entre ces variables. Nous avons ensuite sélectionné les meilleures variables explicatives de la turbidité et étudié les relations avec les abondances des deux groupes d'espèces de macrophytes. Des régressions linéaires ont été utilisées pour les données d'abondance des espèces caractéristiques des lagunes oligo- et mésohalines. Les données d'abondances des espèces indicatrices d'eutrophisation ne suivant pas une loi normale (surreprésentation de points sans ces espèces), nous avons donc réalisé un test de Student (données en présence/absence). Enfin, l'abondance des macrophytes est modélisée en fonction de variables explicatives indépendantes et sélectionnées sur la base des résultats de la matrice de corrélation. Les modèles sont sélectionnés sur la base de leur AIC (critère d'information d'Akaike).

Les variables utilisées ont été transformées par une fonction $\log_{10}(x+1)$, sauf la profondeur de l'eau. Les abondances des macrophytes ont été regroupées par stations. Il s'agit de l'indice d'abondance moyen de chaque espèce par station, cumulé par groupe d'espèce (Tableau 8) pour chaque station.

L'indicateur macrophytes est basé sur la valeur indicatrice des espèces réparties en 5 groupes le long du gradient d'eutrophisation (Sánchez & Grillas 2012, Tableau 6).

Tableau 6 : Groupes d'espèces selon leur valeur indicatrice.

Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5
Zostera noltei	*Ruppia cirrhosa*	*Stuckenia pectinata*	*Ceratophyllum demersum*	*Monostroma sp.*
Chara galioides		*Potamogeton crispus*		
Chara tomentosa		*Myriophyllum spicatum*		*Ulva sp.*
Chara hispida		*Najas marina*		
Chara globularis		*Ceramium sp.*	*Chaetomorpha sp.*	
Lamprothamnium papulosum		*Gracilaria sp.*		*Cladophora sp.*

Une nouvelle espèce a été découverte en 2017 sur l'étang de Campignol, il s'agit de la Zostère naine *Zostera noltei*. Cette espèce typique des lagunes en bon état écologique a été intégrée dans le groupe 1 (Tableau 6).

3.4.3. Etat DCE du compartiment macrophytes

L'indicateur macrophytes comprend 3 métriques (Tableau 7).

<u>Métrique 1.</u> Recouvrement cumulé des espèces des groupes 1, 2 et 3 et recouvrement cumulé des espèces des groupes 4 et 5

La métrique 1 de l'indicateur macrophytes est basée sur le groupement des espèces potentiellement présentes dans ce type de lagunes en fonction de leur valeur indicatrice du niveau d'eutrophisation (Sánchez & Grillas 2012, Tableau 7). Cinq groupes ont été établis regroupés dans la métrique en 2 groupes :

Groupe 1 à 3: (1) : tous les charophytes, (2) : *Ruppia cirrhosa* et (3) : les angiospermes à affinité mésotrophe dont *Stuckenia pectinata* (=*Potamogeton pectinatus*),

Potamogeton crispus, *P. pusillus*, *Myriophyllum spicatum* et les macro-algues rouges potentiellement présentes dans ces lagunes. Ces espèces, résistant à une certaine turbidité et trophie du milieu, ne sont pas capables de surmonter une dégradation continue et poussée de celui-ci (Sfriso *et al*. 2007, Sfriso *et al*. 2009 & Orfanidis *et al.* 2011, Lauret *et al*. 2011).

Groupe 4 et 5 : (4) *Ceratophyllum demersum* et les macro-algues du genre *Chaetomorpha* qui sont assez tolérantes à une eutrophisation soutenue du milieu et aux eaux troubles (Veraart *et al.* 2004, Lauret *et al*. 2011), *et (5)* dont *:* les macro-algues vertes nitrophiles dont l'abondance élevée est indicatrice d'une augmentation des teneurs en nutriments et donc de l'eutrophisation du milieu (Sfriso *et al.* 2009; Orfanidis *et al*. 2011 & Neto *et al*. 2012).

Valeur de référence Métrique 1 : RV (G1+2+3) > 80%, et RV (G4+5)<30%

Métrique 2 : Recouvrement total de *Stuckenia pectinata* (*Potamogeton pectinatus*)

Ce seuil est donné à dire d'expert, considérant que si *Stuckenia pectinata* est une espèce abondante dans les lagunes peu salées, une forte dominance (très fort recouvrement) indique une perturbation du peuplement de macrophytes par l'eutrophisation.

Valeur de référence Métrique 2 : Recouvrement de *Stuckenia pectinata* <65%

Métrique 3. Résidus de la régression linéaire reliant la turbidité à la biomasse de chlorophylle-a (log_{10}Turbidité= a+b x log_{10}Chlo-a).

Cette métrique est provisoire. Elle vise à intégrer dans l'indicateur « macrophytes » une pondération de la note finale en fonction des causes de la turbidité. Deux causes sont envisagées, une cause trophique, exprimée par la corrélation entre la turbidité et la biomasse de chlorophylle et des causes non trophiques (remise en suspension du sédiment). Les résidus forts et positifs de la régression de la log_{10}Turbidité= a+b x log_{10}Chlo-a sont significativement corrélés à un indice de remise en suspension naturelle du sédiment (Sanchez *et al.* 2017).

Valeur de référence Métrique 3 : Résidus > 0,2 de la régression log_{10}Turbidité= a+b x log_{10}Chlo-a

Cette métrique fait une mesure indirecte de la turbidité liée à la remise en suspension du sédiment : elle représente la partie de la turbidité qui n'est pas expliquée par la biomasse de chlorophylle-a. Elle est remplacée dans le cadre de ce travail par une mesure directe de la matière en suspension minérale.

Tableau 7. Indicateur macrophytes (Grillas *et al.* 2018) Résidus TUR : Turbidité non trophique; RV (G1+G2+G3) = = recouvrement des espèces des groupes 1 à 3 ; RV (G4+G5) = recouvrement des espèces des groupes 4 à 5, indicatrices d'eutrophisation

Métrique RV G1+2+3	Turbidité	Résidus TUR	Métrique RV *S. pectinata*	Métrique RV (G4+5)	Classe
[100%-80%]	-		[0-65%]	[0-30%]	Très bon
				]30%-100%]	Bon
			]65%-100%]	[0-30%]	Moyen
				]30%-100%]	Médiocre
]80%-50%]	-	-	[0-65%]	[0-30%]	Bon
				]30%-100%]	Moyen
			]65%-100%]	[0-30%]	Moyen
				]30%-100%]	Médiocre
]50%-20%]	-	-	-	[0-30%]	Bon
				]30%-100%]	Moyen
]20%-5%]	≥ 15 ntu	≥0,2	-	[0-30%]	Bon
				]30%-100%]	Moyen
		<0,2	-	[0-30%]	Moyen
				]30%-100%]	Médiocre
	<15 NTU	-	-	[0-30%]	Médiocre
				]30%-100%]	Mauvais
]5%-0]	-	-		-	N/A

4. Conditions hydroclimatiques

Les cumuls des précipitations annuelles pendant le cycle hydrologique 2016-2017 sont majoritairement en dessous de la moyenne (2008-2017), notamment pour Agde et le Grau du Roi. Ils sont par ailleurs légèrement au-dessus de la moyenne pour Narbonne (Tableau 8b). Les cumuls sont caractérisés pour la plupart des stations par des pluies automnales et hivernales importantes mais également par des précipitations printanières plus faibles et une période estivale très sèche, situation habituelle un climat méditerranéen.

Tableau 8. Précipitations pendant la période d'étude ; a) précipitations mensuelles pendant le cycle hydrologique Septembre 2016 – Août 2017 et b) précipitations annuelles pendant le plan de gestion (**cycles 2008 - 2009** à 2016 – 2017).

a) Précipitations mensuelles (mm)	2016				2017								Total
	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	fév.	mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept-Août
Narbonne	42	133	79	28	66	52	81	30	13	6	4	8	**542**
Agde	16	102	45	24	75	27	32	10	11	8	1	3	**355**
Le Grau du Roi - Repausset	117	108	28	45	66	4	64	16	5	3	1	1	**459**
Nîmes-Garons	104	139	85	31	39	19	40	60	24	38	3	8	**591**
Arles	28	100	64	21	31	14	44	64	28	27	2	13	**435**
Marseille - Marignane	10	59	93	14	31	22	77	56	30	18	-	5	**415**

b) Précipitations annuelles (mm)	2008 2009	2009 2010	2010 2011	2011 2012	2012 2013	2013 2014	2014 2015	2015 2016	2016 2017	Moyenne
Narbonne	535	421	695	453	524	411	749	261	542	**510**
Agde	-	-	546	680	750	714	749	285	355	**583**
Le Grau du Roi - Repausset	1094	813	826	682	656	616	839	268	459	**695**
Nîmes-Garons	811	724	789	456	622	560	965	438	590	**662**
Arles	765	744	491	499	390	560	856	414	435	**573**
Marseille - Marignane	773	814	529	401	551	621	670	317	488	**574**

5. Résultats et discussion

5.1. Définition d'une nouvelle métrique turbidité pour l'indicateur macrophytes

5.1.1. Liens entre MES et macrophytes caractéristiques des lagunes oligo- et mésohalines (groupes 1 à 3)

Les variables les plus corrélées avec l'Abondance en macrophytes "caractéristiques" (groupes 1 à 3) sont les variables « MES minérales » (r= -0.54, P=4.186e-09, Figure 3) et « Profondeur » (r= -0.62 ; p= 2.617e-12) (Tableau 9). Les concentrations en MES organiques sont également négativement corrélées mais moins fortement à l'abondance des macrophytes des groupes 1 à 3 (r= -0.36, p= 1.605e-04, Figure 4). Les variables les plus corrélées avec l'Abondance en macrophytes indicateurs d'eutrophisation (groupes 4 et 5) sont les variables « MES organiques » (r= -0.66 ; p= 2.418e-14 ; Tableau 9) et « Azote total » (r= -0.69 ; p= 9.96e-16; Tableau 9). Les variables MES minérales et MES organiques ont été retenues pour prendre en compte l'effet de la turbidité sur l'abondance des macrophytes.

Tableau 9. Table de corrélation entre les variables liées à la turbidité de l'eau et l'abondance des macrophytes. Les corrélations significatives (* = p>0.05 ; ** = p> 0.005 ; *** = p>0.001) sont notées en rouge, les valeurs supérieures à r=0.5 sont notés en gras et les valeurs manquantes ont été ignorées.

Variables	Profondeur (cm)	Secchi (cm)	log Salinité	Log Turbidité (NTU)	log MES minérale (mg/l)	log MES organique (mg/l)	log Chl a (µg/l)	log Azote total (µmol/l)	log Phosphore total (µmol/l)	Log Abondance macrophytes groupes 1-3	Log Abondance macrophytes groupes 4-5
Profondeur (cm)	-	-0,36***	-0,37***	0,091	0,39***	**0,62*** **	0,41***	0,23*	0,26**	**-0,62*** **	-0,44***
Secchi (cm)	-0,36***	-	-0,39***	-0,43***	**-0,67*** **	**-0,57*** **	-0,41***	-0,42***	-0,28**	0,46***	0,34***
log Salinité	-0,37***	-0,39***	-	-0,22*	-0,31**	-0,32***	-0,09	-0,079	0,29**	0,067	0,37***
Log Turbidité (NTU)	0,091	-0,43***	-0,22*	-	0,49***	0,19	0,096	0,14	-0,09	-0,17	-0,13
log MES minérale (mg/l)	0,39***	**-0,67*** **	-0,31**	0,49***	-	0,45***	0,25**	0,11	0,04	**-0,54*** **	-0,057
log MES organique (mg/l)	**0,62*** **	**-0,57*** **	-0,32***	0,19	0,45***	-	**0,79*** **	**0,71*** **	0,49***	-0,36***	**-0,66*** **
log Chl a (µg/l)	0,41***	-0,41***	-0,09	0,096	0,25**	**0,79*** **	-	**0,65*** **	**0,51*** **	-0,16	-0,43***
log Azote total (µmol/l)	0,23*	-0,42***	-0,079	0,14	0,11	**0,71*** **	**0,65*** **	-	**0,55*** **	0,0028	**-0,69*** **
log Phosphore total (µmol/l)	0,26**	-0,28**	0,29**	-0,09	0,04	0,49***	**0,51*** **	**0,55*** **	-	-0,3**	-0,27**
Log Abondance macrophytes groupes 1-3	**-0,62*** **	0,46***	0,067	-0,17	**-0,54*** **	-0,36***	-0,16	0,0028	-0,3**	-	0,037
Log Abondance macrophytes groupes 4-5	-0,44***	0,34***	0,37***	-0,13	-0,057	**-0,66*** **	-0,43***	**-0,69*** **	-0,27**	0,037	-

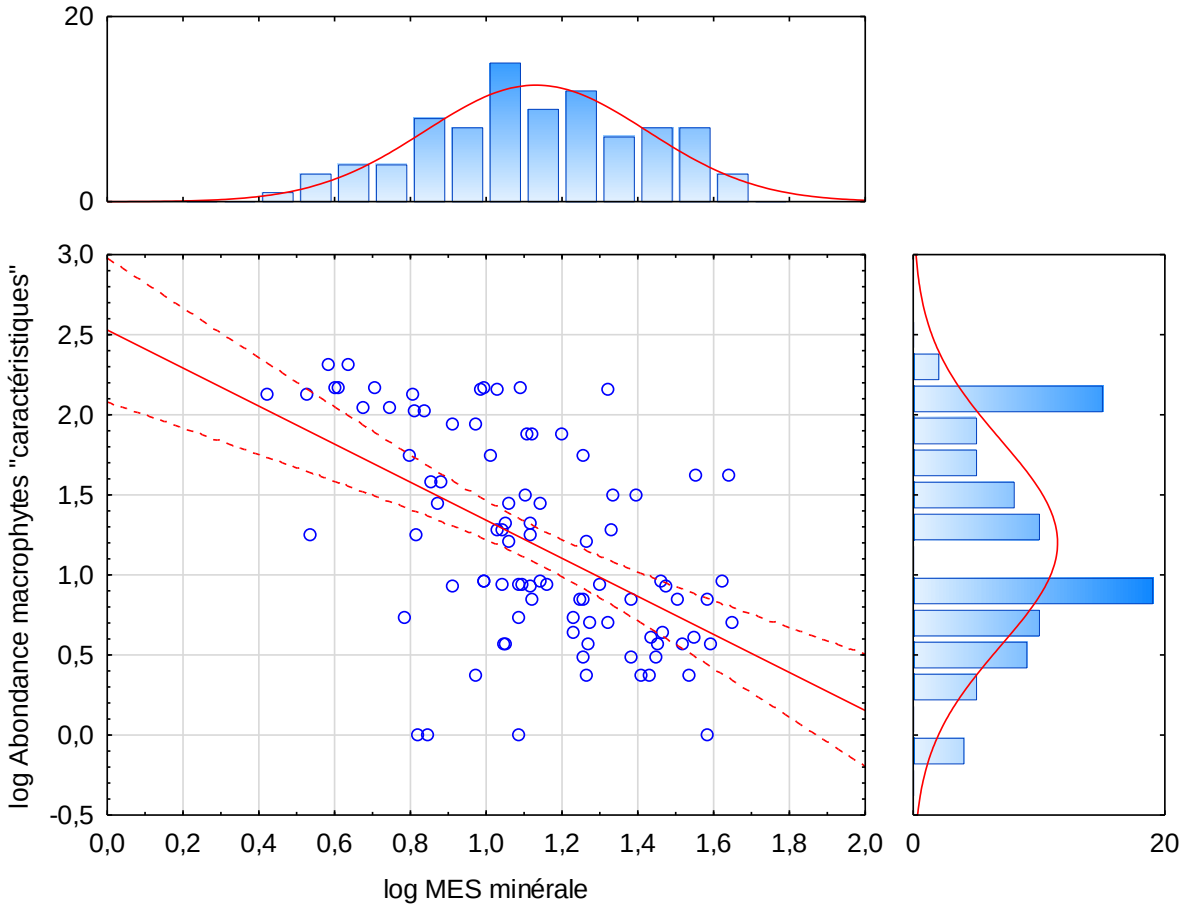


Figure 3 : Relation entre l'abondance en macrophytes caractéristiques des lagunes oligo- et mésohalines et la MES minérale (mg/l).

Les MES-minérales ne traduisent pas un état de dégradation mais sont une caractéristique intrinsèque à chaque lagune, causée par le vent et liée à la faible profondeur de ces lagunes. **Il est donc bien nécessaire de les prendre en compte pour ne pas sous-évaluer l'état des lagunes à forte charge en MES minérales. Cette variable est à intégrer directement dans la métrique macrophytes** pour remplacer la métrique turbidité (résidus de la régression entre la turbidité et la biomasse de chlorophylle-a) **(voir partie 3.4.2).**

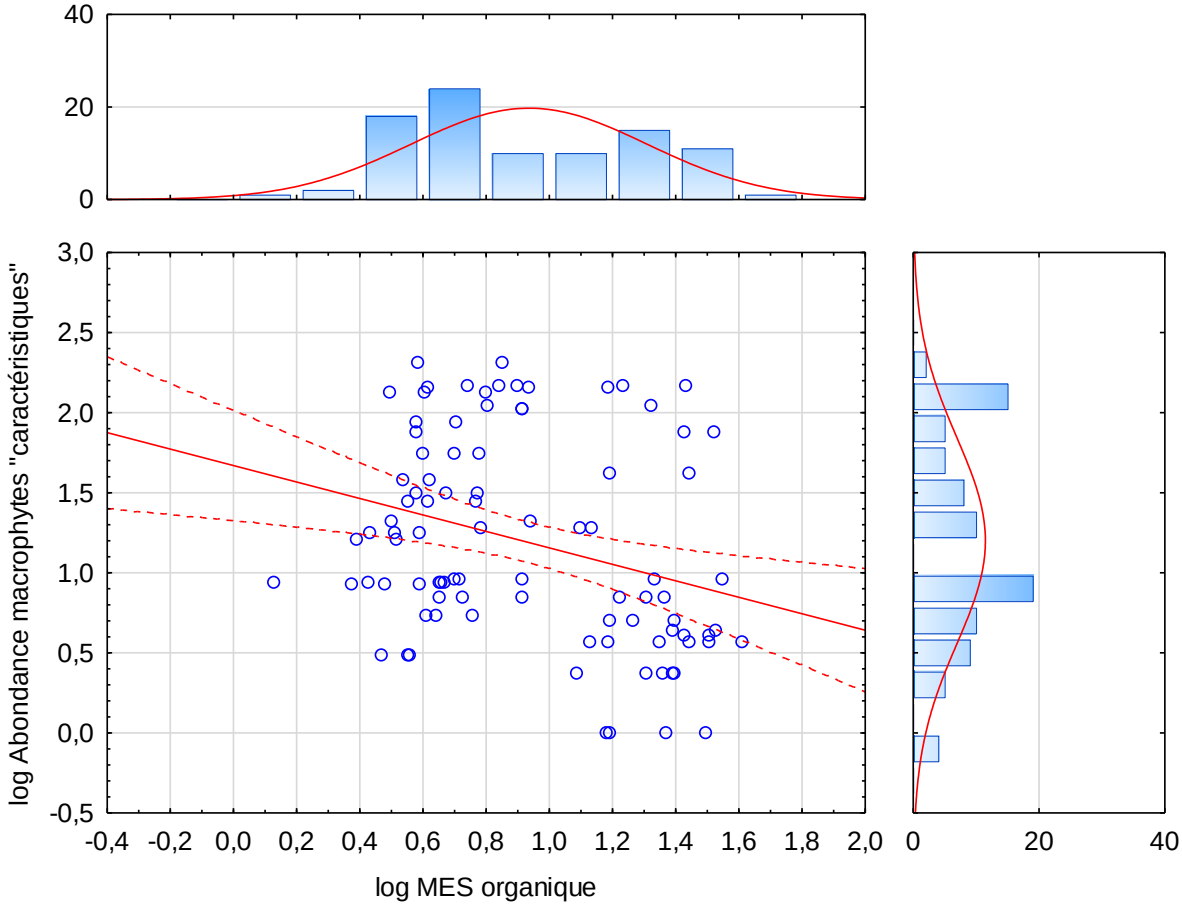


Figure 4 : Relation entre l'abondance en macrophytes caractéristiques des lagunes oligo- et mésohalines et la MES organique (mg/l).

5.1.2. Lien entre MES et macrophytes indicateurs d'eutrophisation

Les résultats des tests de Student (données en présence/absence) montrent que les concentrations de MES organiques sont significativement plus fortes en l'absence des macrophytes indicateurs d'eutrophisation (groupes 4 et 5) dans les stations échantillonnées ($p=4.174^{E-12}$ **;** Figure 4). Au contraire, les concentrations de MES minérales ne diffèrent pas avec la présence des macrophytes des groupes 4 et 5 (Figure 5, Tableau 10).
Cette situation est expliquée par les différences de conséquences de l'eutrophisation en fonction de la salinité. Dans les lagunes salées (et méso-halines), les macroalgues (macrophytes des groupes 4 et 5) remplacent les macrophytes angiospermes au cours du processus d'eutrophisation, puis sont elle-mêmes remplacées par le phytoplancton dans les stades les plus avancés d'eutrophisation (Le Fur 2017). A un stade intermédiaire d'eutrophisation, il y a donc peu de phytoplancton avec les macroalgues. Dans les lagunes oligo-halines, le phytoplancton remplace directement les angiospermes. Dans nos résultats, les fortes concentrations de MES organiques (correspondant essentiellement au phytoplancton : R= 0.79, p< 0.001, Tableau 10) sont trouvées dans les lagunes les plus dessalées (oligo-halines) mais pas dans les lagunes mésohalines où les macroalgues sont plus compétitives.

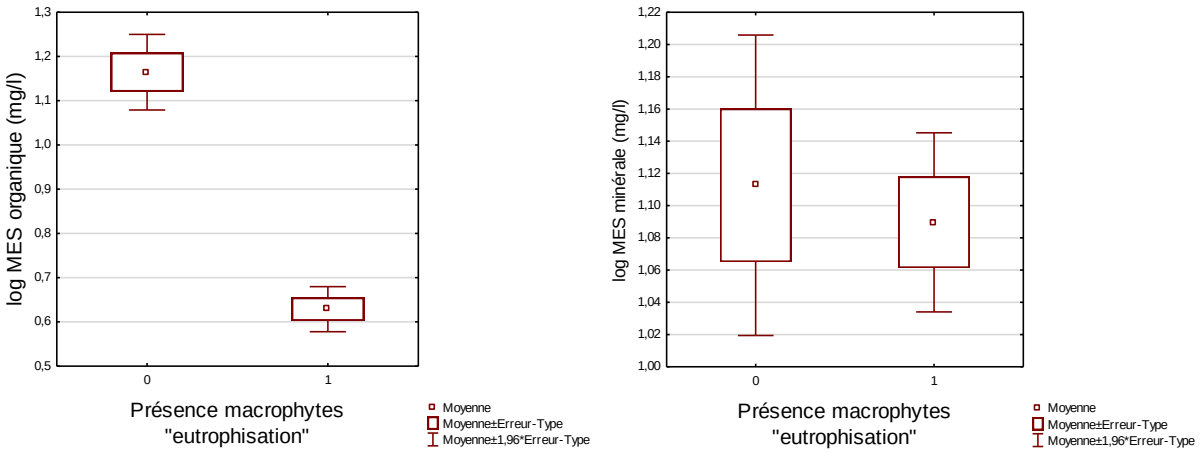


Figure 5 : Résultats des tests de Student, (0 : absence de macrophytes indicateurs d'eutrophisation, n = 48 stations ; 1 : présence de macrophytes indicateurs d'eutrophisation, n = 56 stations).

Lorsque l'on ne considère que les stations avec présence de macrophytes indicateurs d'eutrophisation, aucune corrélation entre leur abondance et les MES organiques ou minérales n'a pu être établie (Tableau 10) probablement du fait du faible nombre de stations concernées et d'abondances généralement faibles (Tableau 14).

Tableau 10. Coefficients de corrélation entre les MES minérales et organiques et l'abondance des macrophytes indicateurs d'eutrophisation. Aucune corrélation n'est ici significative (p>0.05) et les valeurs manquantes ont été ignorées dans le calcul des corrélations.

Variables	Log MES minérales	Log MES organiques	Log Abondance macrophytes eutrophisation
Log MES minérales	-	0.17	-0.11
Log MES organiques	0.17	-	-0.17
Log Abondance macrophytes "eutrophisation" (si présence)	-0.11	-0.17	-

5.2. Autres facteurs influençant l'abondance des macrophytes

5.2.1. Modélisation de l'abondance des macrophytes caractéristiques des lagunes oligo- et mésohalines (GLM)

Nous cherchons ici à évaluer conjointement l'effet des MES minérales, de la profondeur et de l'interaction entre ces deux facteurs sur l'abondance des macrophytes caractéristiques des lagunes oligo- et mésohalines.

Tableau 11. Résultat de la modélisation de l'abondance des macrophytes caractéristiques des lagunes oligo- et mésohalines (GLM : R^2 = 0,56 ; déviance résiduelle = 19.95 sur 100 degrés de liberté).

Variable	Estimate	Std. Error	P-value
(Intercept)	**4.660221**	**0.479931**	**4.28e-16 *****
Log MES minérales (mg/l)	**-2.376820**	**0.424617**	**1.91e-07 *****
Profondeur (cm)	**-0.032610**	**0.005872**	**2.31e-07 *****
Log MES minérales : Profondeur	**0.019514**	**0.004808**	**9.82e-05 *****

L'abondance en macrophytes caractéristiques diminue significativement avec l'augmentation des MES minérales et de la profondeur (Tableau 11). Les effets de ces deux variables s'ajoutent pour réduire la lumière disponible dans l'eau pour la photosynthèse. Cependant l'effet statistique de la profondeur sur l'abondance de ces macrophytes est variable selon la concentration en MES minérales. Elle est importante pour les faibles concentrations en MES minérales (diminution de l'abondance en macrophytes avec la profondeur) jusqu'à devenir très faible, voire négligeable pour les plus fortes concentrations (pas de diminution de l'abondance en macrophytes qui reste toujours faible) (Figure 6). Cet effet est probablement lié à la trop faible abondance de la lumière lorsque la concentration en MES minérales est importante et cause une turbidité trop forte pour assurer le développement d'herbiers aquatiques, même à des faibles profondeurs.

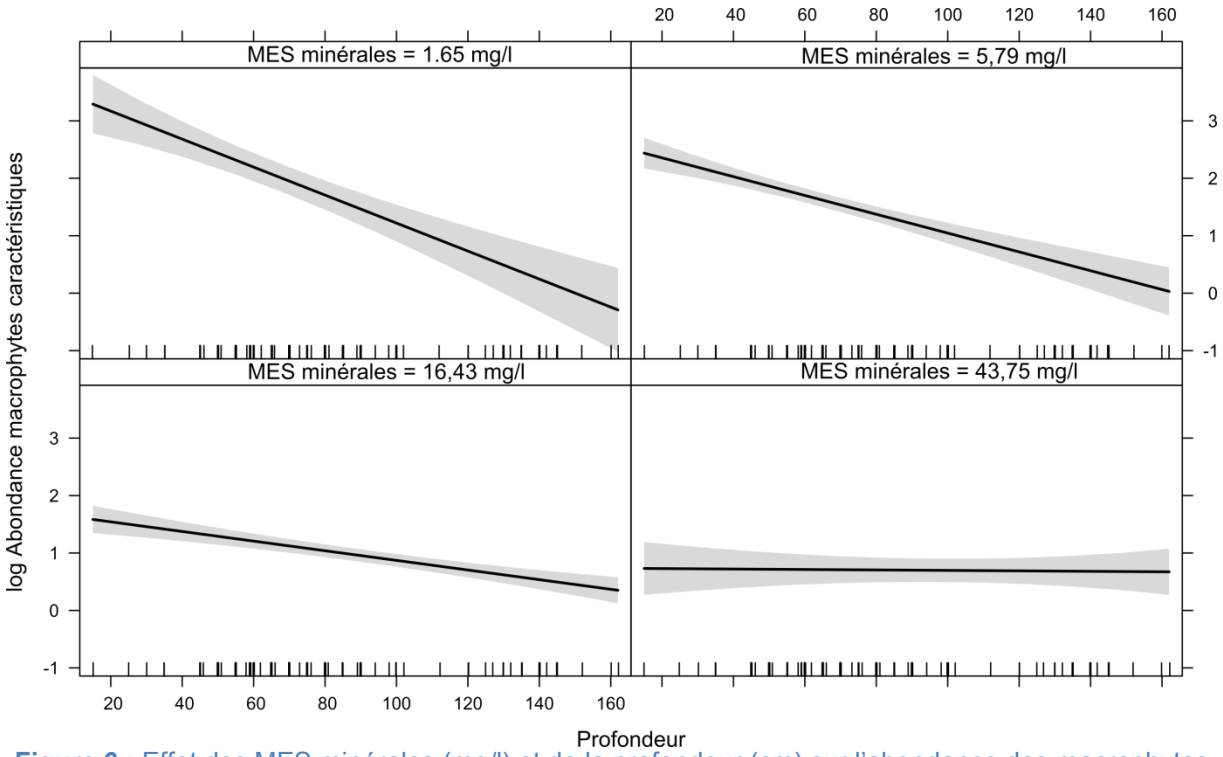


Figure 6 : Effet des MES minérales (mg/l) et de la profondeur (cm) sur l'abondance des macrophytes caractéristiques des lagunes oligo- et mésohalines (GLM). Pour chaque graphe, le modèle a calculé, pour une concentration théorique des MES (précisée au-dessus du graphe correspondant).

Il pourrait donc paraitre opportun d'appliquer un second correctif lié à la profondeur, qui entraine la raréfaction naturelle de ces macrophytes (plus faible pénétration de la lumière dans l'eau) et qui n'est pas pris en compte pour les lagunes à faibles MES minérales. L'effet des fortes concentrations en MES minérales sur les macrophytes prédomine quant à lui sur celui de la profondeur, aboutissant à la raréfaction des macrophytes quel que soit la

profondeur (Figure 6). L'effet des MES minérales, même en faible concentration, se cumule à celui de la profondeur de la colonne d'eau, aboutissant à une faible abondance en macrophytes (groupes 1, 2 et 3) dans les eaux les plus profondes. Un correctif pourrait donc être appliqué pour les lagunes les plus profondes et présentant des MES minérales en faible concentration. Toutefois, cette situation implique une telle raréfaction des macrophytes que l'indicateur est non applicable (< 5% de recouvrement en macrophytes tous groupes confondus). La profondeur n'est finalement pas intégrée dans la métrique puisque cela aurait impliqué une lourdeur d'utilisation plus forte sans amélioration du résultat.

5.2.2. Modélisation de l'abondance des macrophytes indicateurs d'eutrophisation (GLM)

Nous cherchons ici à évaluer conjointement l'effet des nutriments (ici azote total), de la salinité, de la profondeur et de l'interaction entre ces deux derniers facteurs sur l'abondance des macrophytes indicateurs d'eutrophisation dans les lagunes oligo- et mésohalines.

Tableau 12. Résultat de la modélisation de l'abondance des macrophytes indicateurs d'eutrophisation dans les lagunes oligo- et mésohalines (GLM : R^2 = 0,63 ; déviance résiduelle = 16.03 sur 100 degrés de liberté).

Variable	Estimate	Std. Error	P-value
(Intercept)	**3.750300**	**0.495537**	**2e-11 *****
log Salinité	**1.908149**	**0.473142**	**0.000108 *****
Profondeur (cm)	**0.009303**	**0.004805**	**0.055678**
Log Azote total (µmoles/l)	**-2.022253**	**0.196185**	**< 2e-16 *****
log Salinité : Profondeur	**-0.015652**	**0.005437**	**0.004896 ****

L'abondance en macrophytes indicateurs d'eutrophisation diminue avec l'augmentation de l'azote total (azote total présent dans la colonne d'eau, y compris dans le phytoplancton) (Tableau 12, Figure 7). Ce résultat est contre-intuitif puisque ces macrophytes devraient être favorisées par des nutriments comme l'azote. Ce résultat peut être expliqué par un effet de la compétition pour la lumière lié au développement massif du phytoplancton (pouvant aller à plus de 700 µg/l pour le Bolmon), dont la biomasse est corrélée à la concentration en azote total ($r=0.65$; $p=8.328^{E-14}$).

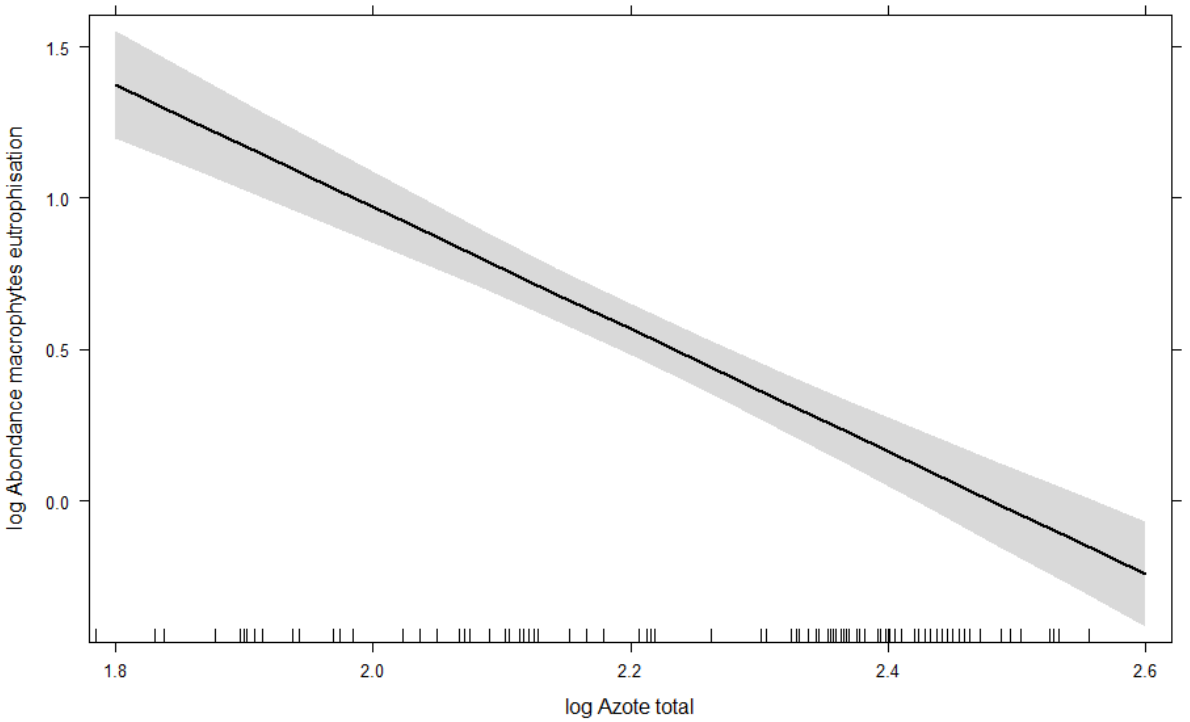


Figure 7 : Effet de l'azote total (µmol/l) sur l'abondance des macrophytes indicateurs d'eutrophisation dans les lagunes oligo- et mésohalines (GLM)

L'abondance en macrophytes indicateurs d'eutrophisation augmente avec la salinité. Cet effet est également variable en fonction de la profondeur et ne se vérifie que pour les plus faibles niveaux d'eau (jusqu'à une soixantaine de centimètres environ, Figure 8). Ces macrophytes (macro-algues) sont en général plus tolérantes au sel que les espèces caractéristiques des lagunes oligo-mésohalines. Elles sont quasiment absentes des lagunes les moins salées (oligo-halines) et présentes seulement dans les lagunes méso-halines.

La salinité pourrait être intégrée à l'indicateur macrophytes puisque cette variable implique une augmentation des macrophytes indicateurs d'eutrophisation (groupes 4 et 5) sans être un facteur de dégradation. Cependant, cet effet ne concerne que quelques lagunes (méso-halines) et dépend de la transparence de l'eau. Son intégration complexifierait sensiblement l'indicateur macrophytes ; elle constitue cependant un élément important dans l'interprétation des données sur les macrophytes des lagunes oligo-mésohalines.

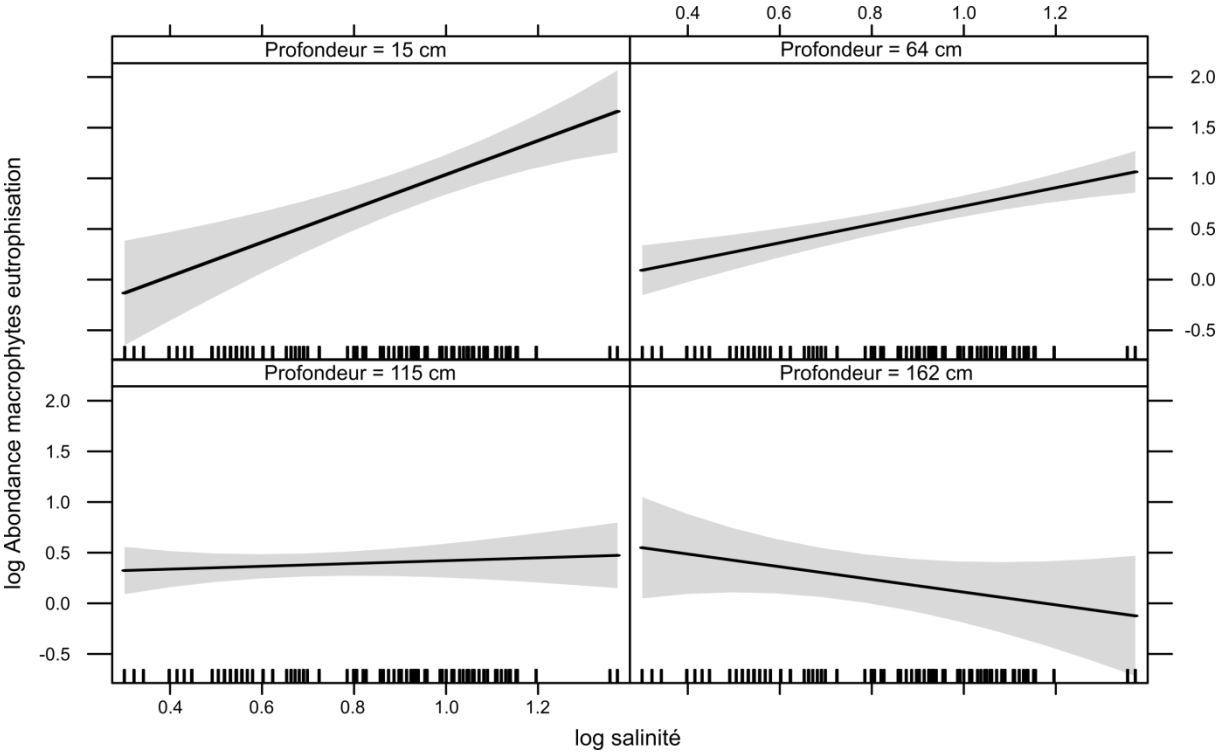


Figure 8 : Effet de la salinité et de la profondeur (cm) sur l'abondance des macrophytes indicateurs d'eutrophisation dans les lagunes oligo- et mésohalines (GLM). Pour chaque graphique, le modèle a calculé, pour une profondeur théorique (indiquée au-dessus du graphe correspondant), la relation entre l'abondance des macrophytes et la salinité.

5.3. Définition d'un seuil pour la prise en compte des MES minérales

L'effet de la concentration en MES minérales sur la transparence de l'eau et donc sur les macrophytes est évidemment continu. Afin de ne pas rendre la métrique et l'indicateur trop complexes, il a semblé préférable d'utiliser une valeur seuil pour la concentration en MES minérales. La variabilité de l'abondance en macrophytes caractéristiques des lagunes oligo- et mésohalines se réduit très fortement lorsque la concentration en MES minérales augmente et devient toujours très faible à partir de 10 mg/l (Figure 9). En-dessous de cette valeur, l'abondance des macrophytes des groupes 1 à 3 est très variable et diminue avec les MES minérales (Figure 9). Cette valeur seuil est dépassée dans 26 des 36 stations échantillonnées en 2017 (Figure 10). Ainsi la plupart des stations et des lagunes ont des concentrations de MES minérales élevées et seul le Bagnas reste globalement dans des conditions peu turbides sur l'ensemble de ses stations. Ceci s'explique par les recouvrements importants en macrophytes de cette lagune (recouvrement de 95% en moyenne sur les stations échantillonnés d'un herbier de *S. pectinata*), limitant ainsi la remise en suspension des éléments minéraux par les vagues. Quelques stations en dehors de cette lagune sont également peu soumises aux effets de MES minérales, il s'agit notamment de CAM5, CR2, VDR11 et MARN (voir Tableau 14). Ces stations connaissent également des herbiers abondants malgré le faible recouvrement général des macrophytes de ces lagunes (Campignol, Crey, Vendres et Marette, voir Tableau 14).

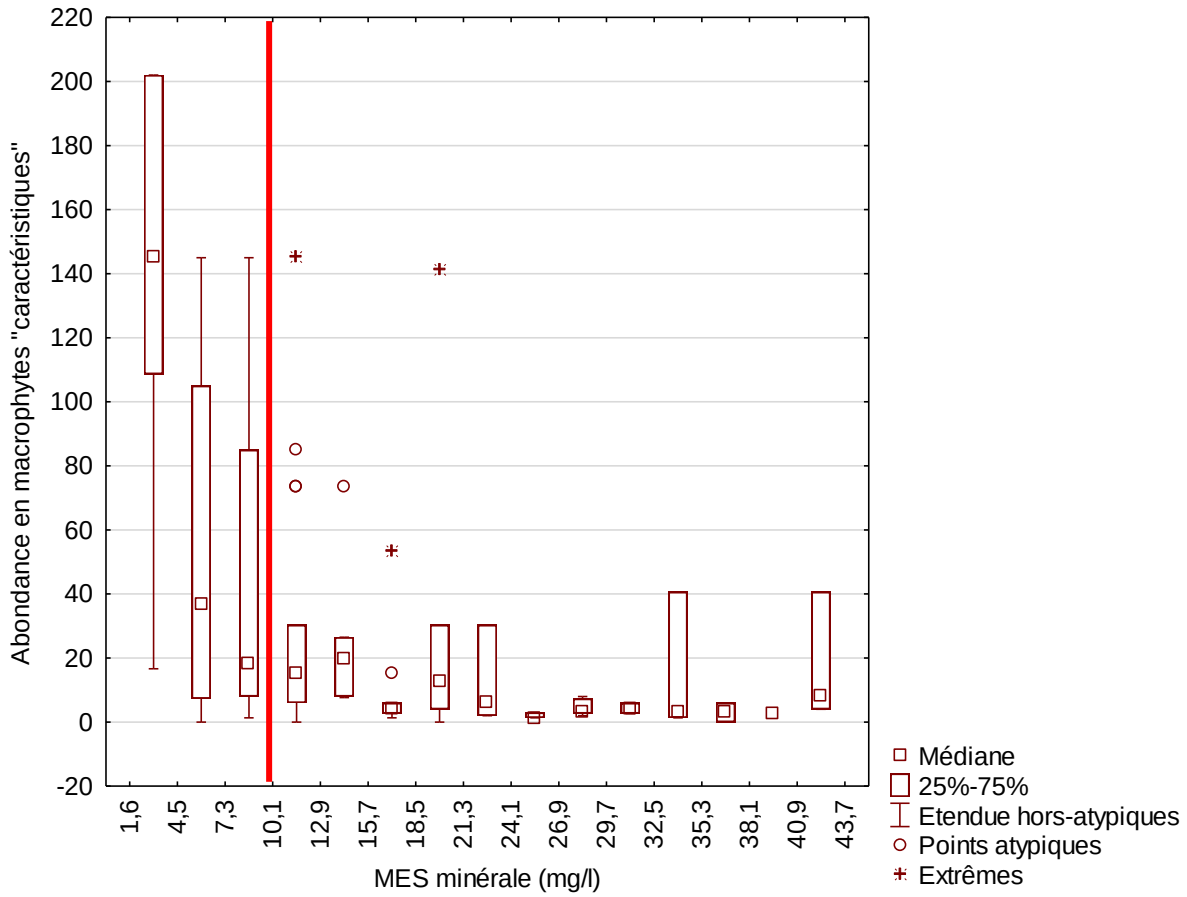


Figure 9 : Représentation en boites à moustaches de la relation entre les MES minérales (mg/l) et l'abondance en macrophytes caractéristiques des lagunes oligo- et mésohalines (MES minérales regroupés en 15 classes de concentration)

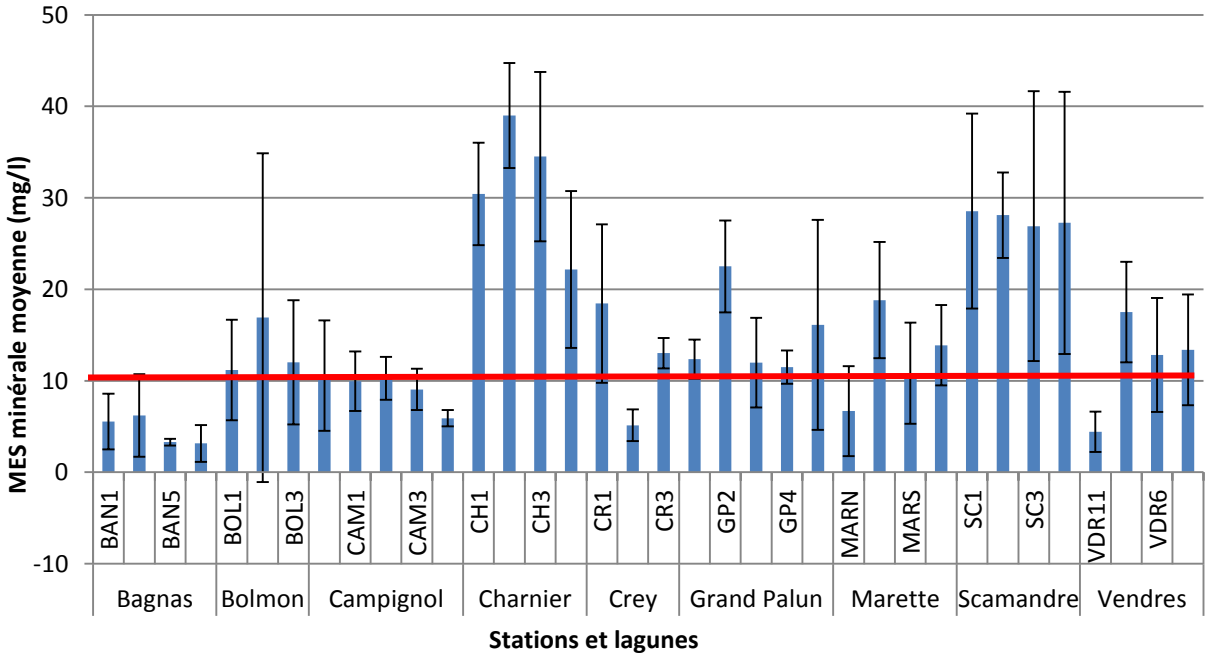


Figure 10 : Moyenne des MES minérales par station et par lagune

5.4. Modification de l'indicateur macrophytes

La concentration des MES minérales, directement mesurable, remplace la métrique précédente de la turbidité, calculée comme les résidus de la corrélation entre la turbidité et la biomasse de chlorophylle-a (Grillas *et al.* 2017). L'intégration de cette métrique dans l'indicateur reste identique (Tableau 15), puisque cette variable n'entre en compte qu'à partir d'un recouvrement en macrophytes caractéristiques des lagunes oligo- et mésohalines inférieur à 20%. La pondération de la turbidité ne s'applique en effet qu'aux cas où l'abondance des macrophytes caractéristiques (groupes 1 à 3) est faible et coïncidant avec une forte concentration de matières minérales en suspension.

La turbidité liée aux MES minérales est incluse dans la métrique avec un seuil de 10 mg/l. La valeur de cette variable est la moyenne des données récoltées lors des trois campagnes de terrain de l'année échantillonnée.
Aucune autre modification de la métrique n'a été réalisée depuis la dernière étude (Grillas *et al*. 2017).

Tableau 13. Nouvelle métrique proposé, intégrant les MES minérales. RV (G1+G2+G3) = recouvrement des espèces des groupes 1 à 3 ; RV (G4+G5) = recouvrement des espèces des groupes 4 à 5, indicatrices d'eutrophisation

Métrique RV G1+2+3	MES minérales	Métrique RV *S. pectinata*	Métrique RV (G4+5)	Classe
[100%-80%]	-	[0-65%]	[0-30%]	Très bon
			]30%-100%]	Bon
		]65%-100%]	[0-30%]	Moyen
			]30%-100%]	Médiocre
]80%-50%]	-	[0-65%]	[0-30%]	Bon
			]30%-100%]	Moyen
		]65%-100%]	[0-30%]	Moyen
			]30%-100%]	Médiocre
]50%-20%]	-	-	[0-30%]	Bon
			]30%-100%]	Moyen
]20%-5%]	≥ 10 mg/l	-	[0-30%]	Bon
			]30%-100%]	Moyen
	< 10 mg/l	-	[0-30%]	Médiocre
			]30%-100%]	Mauvais
]5%-0]	-	-	-	Mauvais

5.5. Etat DCE des lagunes oligo et mésohalines pour les macrophytes

5.5.1. Application de l'indicateur

L'application de l'indicateur conclut à un état « moyen » vis-à-vis des macrophytes pour six des neuf lagunes (Campignol, Vendres, Bagnas, Marette Crey et Grand Palun) et pour cinq des sept masses d'eau (Tableau 14). Une lagune est dans un état « médiocre » vis-à-vis des macrophytes (Charnier) et deux sont dans un état « mauvais » (Scamandre et Bolmon) du fait du trop faible recouvrement en macrophytes (< à 5%). L'hétérogénéité de l'évaluation de l'état entre stations d'une même lagune peut être importante, notamment pour Vendres (de « mauvais » à « très bon »), la Marette, Le Crey et le Charnier (de « mauvais » à « bon »). Cette hétérogénéité illustre bien la nécessité de multiplier les points d'échantillonnages au sein des masses d'eau afin de conserver une représentativité de l'état global de la masse d'eau.

Tableau 14. Etat des lagunes pour les macrophytes en 2017 par station, par lagune et par masse d'eau (les valeurs en gras correspondent aux valeurs permettant la notation des lagunes et masses d'eau). RV (G1+G2+G3) = recouvrement des espèces des groupes 1 à 3 ; RV (G4+G5) = recouvrement des espèces des groupes 4 à 5.

Masse d'eau DCE	Lagunes	Station	RV G1 + G2 + G3 (%)	RV S.pectinata (%)	RV G4+G5 (%)	MES minérale (mg/l)	Notation	Valeur classe DCE	Classe Lagune (moyenne)	Classe masse d'eau DCE (moyenne)
FRDT05b-1	Campignol	CAM	**35,67**	0	**33,67**	10,57	Moyen	0,5	Moyen (0,54)	Moyen (0,54)
		CAM1	**17,67**	0	**27,67**	9,95	Médiocre	0,3		
		CAM2	**5,33**	0	**29,67**	**10,26**	Moyen	0,5		
		CAM3	**56,67**	**0**	**4,33**	9,05	Bon	0,7		
		CAM5	**24,67**	0	**15,67**	5,9	Bon	0,7		
FRDT08-1	Vendres	VDR1	**70**	**70**	**0**	4,42	Moyen	0,5	Moyen (0,55)	Moyen (0,55)
		VDR2	**4**	0	**22**	17,51	Mauvais	0,1		
		VDR6	**94**	**17,33**	**2,67**	12,81	Très bon	0,9		
		VDR9	**12**	12	**0**	**13,39**	Bon	0,7		
FRDT09-1	Bagnas	BAN1	**96,67**	**96,67**	**0**	5,54	Moyen	0,5	Moyen (0,5)	Moyen (0,5)
		BAN4	**96,67**	**89,33**	**0**	6,19	Moyen	0,5		
		BAN5	**100**	**96**	**0**	3,28	Moyen	0,5		
		BAN6	**88,33**	**85,67**	**0**	3,14	Moyen	0,5		
FRDT13e-1	Marette	MARN	**11,11**	11,11	**8,44**	**6,68**	Médiocre	0,3	Moyen (0,45)	Moyen (0,45)
		MARN2	**20,22**	20,22	**9,56**	18,82	Bon	0,7		
		MARS	**2,89**	1,78	2	10,84	Mauvais	0,1		
		MARS5	**5,11**	5,11	**3,78**	**13,87**	Bon	0,7		
FRDT13h-1	Crey	CR1	**1,78**	1,78	0	18,44	Mauvais	0,1	Moyen (0,43)	Médiocre (0,28)
		CR2	**72,44**	**68,22**	**0**	5,12	Moyen	0,5		
		CR3	**49,11**	30,67	**0**	13,02	Bon	0,7		
	Charnier	CH1	**2**	1,78	0	30,42	Mauvais	0,1	Médiocre (0,35)	
		CH2	**27,11**	27,11	**0**	38,99	Moyen	0,5		
		CH3	**5,33**	5,33	**0**	**34,51**	Bon	0,7		
		CH4	**2,22**	2,22	0	22,16	Mauvais	0,1		
	Scamandre	SC1	**4**	0	0	28,54	Mauvais	0,1	Mauvais (0,1)	
		SC2	**0,89**	0,22	0	28,09	Mauvais	0,1		
		SC3	**1,78**	0	0	26,89	Mauvais	0,1		
		SC4	**2,67**	0	0	27,26	Mauvais	0,1		
FRDT14c-1	Grand Palun	GP1	**13,11**	2,89	**0,67**	**12,36**	Bon	0,7	Moyen (0,42)	Moyen (0,42)
		GP2	**1,33**	1,33	4,44	22,51	Mauvais	0,1		
		GP3	**10**	10	**19,11**	11,98	Bon	0,7		
		GP4	**5,11**	5,11	**32,67**	11,49	Moyen	0,5		
		GP5	**4,89**	1,56	10,44	16,11	Mauvais	0,1		
FRDT15c-1	Bolmon	BOL1	**0,89**	0,89	0	11,17	Mauvais	0,1	Mauvais (0,1)	Mauvais (0,1)
		BOL2	**0**	0	0	16,9	Mauvais	0,1		
		BOL3	**0**	0	0	12,01	Mauvais	0,1		

5.5.2. Comparaison de l'évolution des macrophytes 2013 - 2017

La métrique macrophyte ayant évolué depuis 2013, il n'est pas possible de comparer les résultats finaux de l'évaluation de l'état des lagunes entre 2013 et 2019 avec cet indicateur. Toutefois, il reste possible de comparer l'évolution du recouvrement en macrophytes ainsi que des variables environnementales les plus susceptibles d'impacter le recouvrement et la composition de la végétation.

Entre 2013 et 2017, les communautés macrophytiques ont connu des modifications importantes. Ainsi, 17 des 36 stations ont connu une évolution de leur recouvrement en macrophytes caractéristiques (Groupes 1, 2 et 3) supérieure à 50% et la grande majorité (15 stations) de ces évolutions sont des régressions (Tableau 15). De même, les macrophytes des groupes 4 et 5 ont connu une évolution de plus de 50% de leur recouvrement sur 14 des 36 stations étudiées, mais dont une petite majorité (8 stations) est en augmentation. De manière générale, l'état des herbiers tend vers une dégradation, même si ce résultat est plus contrasté dans le détail :

- Campignol : augmentation du recouvrement en macrophytes caractéristiques de 12.9% à 56.6% pour la station CAM3, mais également une diminution du recouvrement de 70,9% à 5.3% pour la station CAM2. La station CAM5 connait quant à elle une faible diminution en macrophytes caractéristiques avec recouvrement passant de 19.8% à 24.7% (Tableau 15). Sur les stations CAM3 et CAM5, cette évolution est accompagnée par une diminution importante des macroalgues (groupes 4 et 5) qui sont passé de 100% de recouvrement chacune (2013), à respectivement 4.3% et 15.7% de recouvrement en 2017 malgré une augmentation de la salinité (qui favorise les macroalgues) dans la même période. Cette évolution pourrait expliquer la forte augmentation de la biomasse du phytoplancton et de la densité du picophytoplancton par rapport à 2015 et 2013. Cette lagune affiche des variations assez hétérogènes de ces herbiers. Son état écologique, évalué sur la base de l'indicateur macrophyte, passe de « médiocre » en 2013 à « moyen » en2017.

- Vendres : VRD2 et VDR 9 connaissent une importante diminution du recouvrement en macrophytes caractéristiques, passant de 81.3% à 4% pour VDR2 et de 77.6% à 12% pour VDR9 (Tableau 15). Cette diminution se vérifie également mais dans une moindre mesure pour la station VDR1. La station VDR 6 connait quant à elle une très légère augmentation de ces macrophytes, liée à l'augmentation et au remplacement d'espèces des groupes 1, 2 et 3 par *S. pectinata,* ce qui ne traduit pas une réelle amélioration de l'état vis à vis des macrophytes. On note également une augmentation des macroalgues pour la station VDR2 (passage de 2.7% à 22% de recouvrement). Cette détérioration générale des herbiers sur Vendres est probablement liée à l'augmentation de l'azote total ainsi qu'à une augmentation du phytoplancton (chlorophylle-a), notamment pour VDR2 et 9 (Tableau 15 et section 7, fiche Vendres). Ces changements traduisent une dégradation de l'état écologique de la lagune sur la base de l'indicateur macrophyte, qui passe de bon en 2013 à moyen en 2017.

- Bagnas : la station BAN5 connait une augmentation du recouvrement de 30,7% (2013) à 100% (2017) pour les macrophytes caractéristiques (Tableau 15); cette évolution est générale, essentiellement liée à une augmentation de l'abondance de *S. pectinata* et expliquée par l'assèchement estival qu'a connu cette lagune en été 2016 et à la diminution des MES (-81%) associée (cf section 7, fiche Bagnas). On note également une disparition des macroalgues (macrophytes groupes 4 et 5) dans cette lagune, traduisant une amélioration de l'état des herbiers. Cependant le classement de la lagune reste inchangé entre 2013 et 2017 (« moyen »), le recouvrement très élevé de *S. pectinata* (>65%) ne permettant pas d'accéder à un meilleur classement.

- La Marette : trois stations connaissent une diminution notable de leur herbier : MARN (passage de 67.6% à 11.1 en 2017), MARN2 (passage de 47.6% à 20.2 en 2017) et MARNS5 (passage de 21.6% à 5.1% en 2017). Malgré cette régression, la Marette conserve son état écologique « moyen » malgré une dégradation de sa note (de 0.6 en 2013 à 0.45 en 2017) et se rapproche ainsi d'un état « médiocre ».

- La masse d'eau Charnier-Crey-Scamandre est en 2017 dans un état « médiocre » alors qu'elle était dans un état « moyen » en 2013. Cette masse d'eau est constituée de 3 lagunes dans des situations contrastées :

    a. Le Crey : CR1 connait une diminution importante du recouvrement en macrophytes caractéristiques de 80,9% à 1,8 %, possiblement liée à une augmentation de l'azote total (Tableau 15 ; Annexe 1, fiche Crey). La station CR3 connait également une diminution de ces macrophytes mais dans une moindre mesure, tandis que la station CR2 affiche une légère augmentation de ces derniers. La lagune passe d'un état « bon » en 2013 à « moyen » en 2017 sur la base de l'indicateur macrophyte.

    b. Le Charnier : Cette lagune conserve son état écologique « médiocre » en raison de ses faibles abondances en macrophytes caractéristiques.

    c. Le Scamandre : L'ensemble des stations enregistrent une diminution des macrophytes caractéristiques pour atteindre des valeurs très faibles en 2017 (voir tableau 14). La lagune passe d'un état « moyen » à « mauvais »en 2017, sur la base de l'indicateur macrophyte.

- La Grand Palun à La Palissade a connu une diminution notable de ses macrophytes caractéristiques (de 10.4% (GP2), 34% (GP3), 21.1% (GP4) et 13.8% (GP5) en 2013 à respectivement 1.3%, 10%, 5.1% et 4.9 % de recouvrement) (Tableau 15). Cette évolution était associée à une augmentation importante du recouvrement des macroalgues sur plusieurs stations (de 0% (GP2), 0.4% (GP3), 0% (GP4) et 0.2 (GP5) en 2013 à respectivement 4.4%, 19.1%, 32.7% et 10.4 % de recouvrement). Cette dégradation des herbiers est probablement à mettre en relation avec l'augmentation des nutriments dans l'eau et de la salinité en 2017 (Tableau 15 ; Annexe 1, fiche La Palissade). Cette dégradation de l'état écologique des herbiers se traduit par le passage d'un bon état écologique en 2013 à un état moyen en 2017.

- Le Bolmon connait une réduction du peu de macrophytes caractéristiques présents en 2013 (passage de 6.93% en 2013 à 0.89% en 2017 pour la station BOL1). La lagune passe d'un état « médiocre » en 2013 à « mauvais » en 2017 pour les macrophytes.

De manière générale, les variations du recouvrement des macrophytes sont contrastées entre lagunes mais également au sein d'une même lagune (les herbiers peuvent régresser en certains points et augmenter dans d'autres secteurs d'une même lagune, comme Campignol par exemple, voir Tableau 15). Ce résultat étaye l'importance de multiplier les points de suivis dans une même lagune.

Tableau 15. Comparaison de l'évolution du recouvrement en macrophytes (RV (G1+G2+G3) = recouvrement des espèces des groupes 1 à 3 ; RV (G4+G5) = recouvrement des espèces des groupes 4 à 5) et des variables profondeur (cm), salinité, MES (mg/l ; matières en suspension totales), Chl a (µg/l) et Azote total (µmol/l) entre 2013 et 2017. Les valeurs sont les écarts bruts entre les valeurs de 2017 et de 2013, accompagné du pourcentage de variation correspondant. Les stations sont classées par ordre décroissant de la variation du recouvrement total des macrophytes des groupes 1, 2 et 3 (colonne Variation RV G1+2+3).

Masse d'eau DCE	Lagunes	Station	Variation RV G1+2+3 % (%)	Variation RV *S. pectinata* % (%)	Variation RV G4+5 % (%)	Variation profondeur cm (%)	Variation salinité PSU (%)	Variation MES mg/l (%)	Variation Chl a µg/l (%)	Variation Azote total µmol/l (%)
FRDT09-1	Bagnas	BAN5	+69,3 (53%)	+65,3 (52%)	-0,2 (-100%)	+0,7 (1%)	+0,7 (7%)	-56,3 (-81%)	-13,5 (-39%)	+85,7 (31%)
FRDT05b-1	Campignol	CAM3	+43,8 (63%)	-0,2 (-100%)	-95,7 (-92%)	-6,6 (-4%)	+3,3 (22%)	-7,1 (-21%)	-0,6 (-2%)	+66,7 (42%)
FRDT09-1	Bagnas	BAN1	+30,5 (19%)	+31,3 (19%)	0	-7,7 (-7%)	-0,8 (-7%)	-6 (-22%)	+21,2 (60%)	+98 (29%)
FRDT09-1	Bagnas	BAN4	+17,6 (10%)	+11,6 (7%)	-15,6 (-100%)	-7,7 (-7%)	-0,5 (-4%)	+6,6 (17%)	+37,2 (80%)	+143 (41%)
FRDT13h-1	Crey	CR2	+13,3 (10%)	+9,3 (7%)	0	-10,2 (-6%)	-1,2 (-36%)	-16,4 (-31%)	-80,5 (-55%)	+129,7 (33%)
FRDT09-1	Bagnas	BAN6	+5,7 (3%)	+3 (2%)	-4,4 (-100%)	+1,3 (1%)	-0,8 (-7%)	-9,4 (-42%)	+0,2 (1%)	+121,7 (38%)
FRDT14c-1	Grand Palun	GP1	+2,7 (11%)	-3,8 (-40%)	+0,7 (100%)	+5,2 (4%)	+3 (58%)	-29,8 (-48%)	-4,8 (-33%)	+77,8 (54%)
FRDT08-1	Vendres	VDR6	+2,7 (1%)	+17,3 (100%)	+2,5 (85%)	-18,3 (-17%)	+2,8 (11%)	-14,2 (-25%)	+23,8 (41%)	+135,2 (30%)
FRDT13e-1	Marette	MARS	+1,6 (37%)	+0,9 (33%)	+0,2 (6%)	+7,3 (6%)	+3,8 (17%)	-35,6 (-55%)	-4,2 (-25%)	+57,7 (27%)
FRDT13h-1	Charnier	CH3	+0,9 (9%)	+0,9 (9%)	0	-9,8 (-5%)	-1,3 (-19%)	-128,1 (-51%)	-49,5 (-47%)	+109,9 (26%)
FRDT15c-1	Bolmon	BOL2	0	0	0	-3,3 (-1%)	+1,9 (12%)	-29,5 (-26%)	-93,9 (-54%)	+98,3 (28%)

Masse d'eau DCE	Lagunes	Station	Variation RV G1+2+3 % (%)	Variation RV *S. pectinata* % (%)	Variation RV G4+5 % (%)	Variation profondeur cm (%)	Variation salinité PSU (%)	Variation MES mg/l (%)	Variation Chl a µg/l (%)	Variation Azote total µmol/l (%)
FRDT15c-1	Bolmon	BOL3	0	0	0	-5,4 (-2%)	+1,8 (12%)	-42,4 (-38%)	-114,2 (-63%)	+97,6 (28%)
FRDT13h-1	Scamandre	SC4	-0,4 (-8%)	-3,1 (-100%)	0	-0,7 (0%)	-0,5 (-9%)	-35,1 (-28%)	-6,6 (-7%)	+91,8 (25%)
FRDT13h-1	Charnier	CH1	-2,2 (-36%)	-2,2 (-38%)	0	-9,8 (-5%)	-1,3 (-19%)	-167,7 (-59%)	-34,8 (-30%)	+90,6 (23%)
FRDT05b-1	Campignol	CAM5	-4,9 (-9%)	0	-84,3 (-73%)	+11,3 (8%)	+5,1 (34%)	-18 (-49%)	-12,6 (-30%)	+43,4 (27%)
FRDT15c-1	Bolmon	BOL1	-6 (-77%)	-6 (-77%)	0	+8,3 (3%)	+1,8 (11%)	-27,7 (-31%)	-101,3 (-56%)	+91,6 (27%)
FRDT13h-1	Scamandre	SC3	-7,3 (-67%)	-8 (-100%)	0	+0,3 (0%)	-0,3 (-6%)	-16,7 (-16%)	-14,9 (-15%)	+109,2 (28%)
FRDT13h-1	Charnier	CH4	-7,8 (-64%)	-7,3 (-62%)	0	-12 (-6%)	-1,4 (-20%)	-220,5 (-69%)	-49,7 (-45%)	+101,6 (23%)
FRDT14c-1	Grand Palun	GP5	-8,9 (-48%)	-10,9 (-78%)	+10,2 (96%)	-6,9 (-5%)	+2,6 (57%)	-21,8 (-38%)	-10 (-63%)	+32,3 (20%)
FRDT14c-1	Grand Palun	GP2	-9,1 (-77%)	-8,7 (-77%)	+4,4 (100%)	-2,7 (-2%)	+2,9 (57%)	-24,4 (-33%)	-8 (-43%)	+27,7 (27%)
FRDT13h-1	Scamandre	SC2	-9,1 (-84%)	-5,8 (-93%)	0	0,2 (0%)	-0,4 (-7%)	-14,5 (-13%)	-16,9 (-15%)	+108 (29%)
FRDT13h-1	Charnier	CH2	-9,3 (-15%)	-5,1 (-9%)	0	-2 (-1%)	-1,3 (-20%)	-72,6 (-38%)	-21,6 (-24%)	+90,7 (23%)
FRDT05b-1	Campignol	CAM	-13,7	-16,4 (-100%)	-15,7 (-19%)	+7,1 (4%)	+2,6 (22%)	-9 (-24%)	-6,4 (-14%)	+15,5 (9%)

Masse d'eau DCE	Lagunes	Station	Variation RV G1+2+3 % (%)	Variation RV *S. pectinata* % (%)	Variation RV G4+5 % (%)	Variation profondeur cm (%)	Variation salinité PSU (%)	Variation MES mg/l (%)	Variation Chl a µg/l (%)	Variation Azote total µmol/l (%)
			(-16%)							
FRDT13h-1	Crey	CR3	-15,6 (-14%)	-33,3 (-35%)	0	-6,8 (-4%)	0 (1%)	4,6 (7%)	-70,5 (-56%)	+119,5 (33%)
FRDT14c-1	Grand Palun	GP4	-16 (-61%)	-16 (-61%)	+32,7 (100%)	+6 (4%)	+2,7 (54%)	-22,8 (-47%)	-11,6 (-61%)	+29 (25%)
FRDT13e-1	Marette	MARS5	-16,5 (-62%)	-11,1 (-52%)	+2,2 (42%)	3,7 (4%)	+3,5 (16%)	-25,9 (-43%)	-2,7 (-22%)	+51,8 (24%)
FRDT08-1	Vendres	VDR1	-16,9 (-11%)	-14,4 (-9%)	0	-20,7 (-15%)	+1,1 (7%)	-23 (-53%)	-2,3 (-3%)	+115,5 (25%)
FRDT13h-1	Scamandre	SC1	-22,2 (-74%)	-25,8 (-100%)	0	+3,3 (1%)	-0,6 (-11%)	-33,3 (-26%)	-26,9 (-24%)	+95,2 (24%)
FRDT14c-1	Grand Palun	GP3	-24 (-55%)	-24 (-55%)	+18,7 (96%)	+8,3 (8%)	+2,4 (51%)	-13 (-32%)	-4,9 (-36%)	+41,3 (38%)
FRDT13e-1	Marette	MARN2	-27,3 (-40%)	-15,1 (-27%)	-2,7 (-12%)	+8,3 (7%)	+3,5 (20%)	-15,1 (-25%)	+1,9 (18%)	+54,4 (26%)
FRDT13e-1	Marette	MARN	-56,5 (-72%)	-39,1 (-64%)	+8,2 (95%)	+12 (9%)	+3,9 (21%)	-23,1 (-56%)	-0,7 (-9%)	+50,2 (24%)
FRDT05b-1	Campignol	CAM1	-63,9 (-64%)	-9,1 (-100%)	-49,2 (-47%)	-6,8 (-5%)	+3 (28%)	-8,1 (-23%)	-10,1 (-26%)	+44 (30%)
FRDT05b-1	Campignol	CAM2	-65,6 (-86%)	-12,7 (-100%)	-33 (-36%)	-1,8 (-1%)	4,2 (34%)	-3,3 (-10%)	9,7 (18%)	70,9 (43%)

Masse d'eau DCE	Lagunes	Station	Variation RV G1+2+3 % (%)	Variation RV *S. pectinata* % (%)	Variation RV G4+5 % (%)	Variation profondeur cm (%)	Variation salinité PSU (%)	Variation MES mg/l (%)	Variation Chl a µg/l (%)	Variation Azote total µmol/l (%)
FRDT08-1	Vendres	VDR9	-65,6 (-73%)	-60 (-71%)	0	6,7 (6%)	0,8 (5%)	-6,5 (-12%)	5,7 (6%)	159,2 (33%)
FRDT08-1	Vendres	VDR2	-77,3 (-91%)	-43,7 (-100%)	19,3 (78%)	-4,2 (-8%)	4,5 (19%)	-9,4 (-17%)	12,4 (53%)	182,9 (39%)
FRDT13h-1	Crey	CR1	-79,1 (-96%)	-53,3 (-94%)	-1,3 (-100%)	-9,3 (-4%)	0,2 (7%)	15 (17%)	-51,7 (-38%)	164,4 (40%)
Moyenne			-12,1 (-30%)	-8,2 (-42%)	-5,6 (-3%)	-1,7 (-1%)	1,4 (-12%)	-32,2 (-32%)	-19,8 (-18%)	88,9 (30%)

6. Discussion générale et conclusions sur l'indicateur macrophytes

L'importance des stress naturels dans les estuaires et les écosystèmes lagunaires rend difficile l'identification de stress additionnels, notamment les stress anthropiques et ceux résultants de l'eutrophisation (Elliott & Quintino 2007). Les lagunes oligo- et mésohalines sont caractérisées par une salinité faible et une transparence en général plus faible que dans les milieux d'eau douce et les milieux plus salés. Pour les macrophytes, l'atténuation lumineuse est un facteur limitant prépondérant (Kirk 1994). Dans les eaux de transition où la turbidité est souvent forte, les variations des concentrations de sédiment en suspension et du phytoplancton expliquent largement les variations spatio-temporelles des gradients de lumière dans l'eau (Anthony *et al.* 2004). Le coefficient d'extinction lumineuse de la chlorophylle est plus élevé que celui des particules minérales (Van Duin 2001). Cependant, les concentrations en sédiment en suspension sont dans les eaux de transition souvent supérieures de plusieurs ordres de grandeurs aux concentrations de chlorophylle dans l'eau (Muslim & Jones 2003, Anthony 2004). C'est le cas dans les lagunes oligo- et mésohalines où les concentrations moyennes de matières minérales en suspension par station sont comprises entre 3 et 39 mg/L alors que les concentrations moyennes de chlorophylle sont comprises entre 3 et 53 µg/L (données maximales et minimales 2017) soit 3 à 4 ordres de grandeurs plus faibles. Les concentrations en matières minérales en suspension sont donc représentatives des conditions lumineuses de développement de la végétation submergées et les MES minérales une estimation de cette concentration (la minéralisation des particules organiques en suspension a une contribution minime à cette quantité).

L'effet limitant dû au manque de lumière pour les herbiers aquatiques est également pris en compte dans l'évaluation de l'état des macrophytes des lagunes eu-halines. Seules les stations peu profondes sont considérées, une profondeur de plus de 5m pouvant pénaliser l'évaluation de l'état des lagunes étudiées (Diana, Urbino et Berre, Derolez & Oheix 2012). Les MES minérales ne sont cependant pas prises en compte pour les lagunes eu-halines, pour lesquelles la turbidité est essentiellement causée par le phytoplancton, les argiles précipitant à forte salinité (Thill *et al.* 2001, Carpentier *et al.* 2005). Il est donc particulièrement important de prendre en compte les MES minérales comme cause de raréfaction des macrophytes non lié à l'eutrophisation des lagunes oligo à mésohalines.

En 2013, une première tentative d'intégration de ce facteur dans la métrique macrophytes a été réalisée, en utilisant directement la turbidité (NTU). Les fortes turbidités associées à de faibles recouvrements en macrophytes des groupes 1-2 et 3 et des groupes 4 et 5 entrainaient alors une amélioration de la note finale. En 2015, la turbidité non organique a été prise en compte au travers d'un moyen d'un calcul indirect. Il s'agissait alors de calculer les résidus de la relation entre la turbidité et la chlorophylle-a présente dans l'eau (turbidité d'origine organique lié à l'eutrophisation). Ces résidus correspondent à la part de la turbidité non expliquée par la chlorophylle-a et donc d'origine minérale. Ces premiers travaux ont permis de prendre en compte l'effet de la turbidité « naturelle », non lié à l'eutrophisation lors de l'évaluation de l'état écologique des lagunes oligo à méso-halines de 2013 et 2015. En 2017, les matières en suspensions (MES) organiques et minérales ont été mesurés directement, permettant de confirmer l'effet de ces MES minérales sur les macrophytes. Les résultats montrent comme attendu une forte corrélation négative des MES minérales sur l'abondance des macrophytes caractéristiques. Cet effet est d'autant plus important que la profondeur de l'eau est grande, pouvant aboutir jusqu'à la disparition complète des macrophytes. Les MES organiques restent négativement corrélées à l'abondance des macrophytes caractéristiques, confirmant la pertinence de l'indicateur.

Les macrophytes indicateurs de l'eutrophisation (macroalgues des groupes 4 et 5), sont quant à eux essentiellement influencés par l'azote total et les MES organiques. Les fortes concentrations en azote total favorisent le phytoplancton, produisant de plus fortes concentrations en MES organiques qui entrainent une diminution des macroalgues. Il s'agit d'un niveau d'eutrophisation avancé où domine le phytoplancton (Sand-Jensen & Borum 1991, Le Fur *et al.* 2017). Enfin, la salinité a un effet positif sur l'abondance en macroalgues, notamment dans les eaux peu profondes où ces espèces s'expriment sans être limitées par le manque de lumière. Cela s'explique par le fait que ces espèces sont essentiellement des espèces halotolérantes et elles n'apparaissent que très rarement dans notre jeu de lagunes aux plus faibles salinités (< à 3mg/l). Ce facteur non lié à l'eutrophisation des lagunes n'a pas été ici pris en compte car d'importance trop marginale pour qu'il soit intégré à l'indicateur. La salinité peut, cependant, constituer un élément d'interprétation et de discussion important.

L'effet des MES minérales sur les macrophytes caractéristiques a été intégré à l'indicateur avec un seuil à 10mg/l. Au-delà de ce seuil, l'abondance en macrophytes caractéristiques varie peu et reste toujours faible, sauf exception. Diminuer ce seuil permettrait de prendre en compte une plus faible diminution des macrophytes indicateurs, liée à de plus faibles concentrations en MES minérales. Le choix de ce seuil (10mg/l) permet de n'appliquer une pondération dans l'indicateur que lorsque l'effet des MES minérales est important et quasi-systématique.

Pour des concentrations en MES minérales supérieures à 10mg/l, l'évaluation de l'état écologique des lagunes, avec l'indicateur « macrophytes » est donc augmenté d'un niveau (passage de « médiocre » à « moyen » par exemple) pour des recouvrements en macrophytes caractéristiques de 0% à 20%.

Le présent travail conclut la mise en place de la métrique « macrophytes » pour les lagunes oligo-mésohalines.

En ce qui concerne les résultats de l'évaluation 2017, nous avons vu que l'ensemble des masses d'eau possèdent un état « moyen » selon l'indicateur macrophyte, sauf la masse d'eau de Scamandre Crey Charnier (« médiocre ») et le Bolmon qui présente un état « mauvais » (absence d'herbiers). Ce résultat général ne doit pas cacher l'hétérogénéité des situations qui existe au sein d'une même masse d'eau, ou lagune, justifiant la nécessité d'échantillonnage en différents points. Il est également important de ne pas négliger les bordures, moins profondes, possiblement plus abritées du vent et donc susceptibles de présenter des herbiers naturellement plus importants que le reste du plan d'eau.

Par comparaison avec 2013, l'évolution des herbiers va dans le sens d'une dégradation générale, notamment pour le Crey, Vendres et Grand Palun. Les facteurs mis en causes sont l'eutrophisation croissante de ces lagunes, notamment lié à l'azote total et les fortes concentrations en phytoplancton (Chl a). Une amélioration de l'état des herbiers est toutefois à noter pour le Bagnas qui a connu un assèchement récent. Cet assèchement permet une meilleure compaction du sol et diminue ainsi les MES minérales en suspension. Cela permet également une oxydation du sédiment facilitant la croissance des macrophytes enracinées.

7. Bilan de la campagne DCE 2017 pour les lagunes oligo et mésohalines.

Dans cette section sont synthétisées ci-dessous dans des fiches par masse d'eau leur état d'eutrophisation au regard des critères de la DCE. Ces résultats ne concernent pour la physico-chimie et le phytoplancton que le point de référence DCE. L'ensemble des résultats par point et pour chacune des lagunes sont présentés dans les annexes.

Physico -chimie 2017

Phyto-plancton 2017

Macro phytes 2017

Campignol FRDT05b

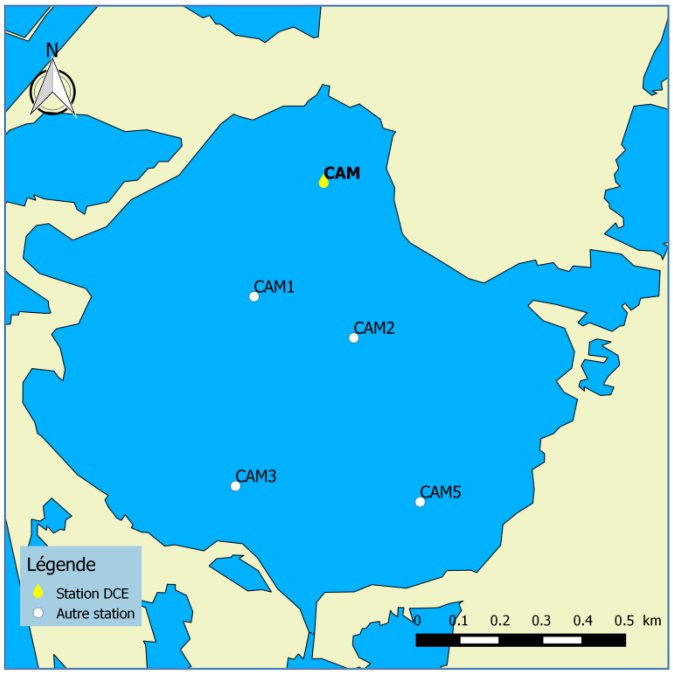


Figure A.1. Localisation des stations de mesures de Campignol

L'état de la colonne d'eau et du phytoplancton pour l'étang de Campignol est diagnostiqué pour la DCE au niveau de la station DCE (station CAM, Figure A.1) située au nord. Quatre stations supplémentaires sont étudiées depuis 2013 dans le cadre du projet en cours d'adaptation des outils de diagnostic aux lagunes oligo et mésohalines *(étude Onema/Ifremer /Tour du Valat/UM2).*

L'état de la colonne d'eau sur la période 2012-2017 est qualifié de « mauvais » au regard des grilles DCE pour les lagunes ; cet état serait le même avec les grilles pour les lagunes oligo et mésohalines (Tableau A.1). Le critère le plus déclassant est l'azote inorganique dissous (NID) ; à noter que ce critère n'a pas été révisé pour les lagunes oligo et mésohalines. Pour le phytoplancton, l'état est qualifié de « mauvais » avec la grille pour les lagunes eu- et polyhalines ; il est «médiocre » avec la grille pour les lagunes oligo et mésohalines (Tableau A2).

L'état de la masse d'eau pour les macrophytes est « moyen », contrasté entre le nord (moyen à médiocre) et le sud (« bon ») (Tableau A3). L'évolution des herbiers de Campignol est également hétérogène avec de fortes augmentations, diminution ou maintien des macrophytes caractéristiques selon les points échantillonnés.

Sur la période 2012-2015, l'état physico-chimique semblait s'améliorer mais les données pour l'année 2017 sont particulièrement élevées pour les formes totales de l'azote (NT) et du phosphore (PT) (Figures A.2 et A.3). Le NID et le PO_4^{3-} montrent une grande variabilité intra et interannuelle avec une tendance à la diminution. Le phytoplancton montre des valeurs beaucoup plus fortes que les années précédentes pour la biomasse et les densités de nanophytoplancton et picophytoplancton. Ces résultats mettent en évidence le mauvais fonctionnement de la lagune de Campignol vis-à-vis de l'eutrophisation, peut-être aggravé par les conditions météorologiques de 2017 avec un fort déficit cumulé pluviométrique d'avril à août (Narbonne) qui a probablement réduit le renouvellement des eaux de la lagune.

Sur la période 2012-2017, la masse d'eau « Campignol » ne répond pas aux exigences de la DCE pour les caractéristiques physico-chimiques de la colonne d'eau, du phytoplancton et des macrophytes (2017)

Campignol FRDT05b

Tableau A.1. Colonne d'eau : état physico-chimique DCE 2017* pour Campignol soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille provisoire (non validée) « Lagunes oligo et mésohalines » (N=15) (seuls les seuils pour NT et PT ont été modifiés).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**P90 et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**P90 et état**	**[IC]**
NID	42,63	[42,29 – 42,97]	*NID*	*42,63*	*[42,29 – 42,97]*
PO_4^{3-}	1,22	[1,21 - 1,23]	*PO_4^{3-}*	*1,22*	*[1,21 - 1,23]*
NT	101,98	[100,89 – 103,06]	NT	101,98	[100,89 – 103,06]
PT	5,33	[5,29 – 5,38]	PT	5,33	[5,29 – 5,38]
Etat physico-chimique			**Etat physico-chimique**		

Tableau A.2. Phytoplancton : état DCE 2017* pour Campignol soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille provisoire (non validée) « Lagunes oligo et mésohalines » (N=15).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**EQR et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**EQR et état**	**[IC]**
Biomasse	0,121	[0,118 – 0,128]	Biomasse	0,218	[0,204 – 0,225]
Abondance	0,036	[0,031 – 0,042]	*Abondance*	*0,036*	*[0,031 – 0,042]*
Phytoplancton	0,079	[0,071 – 0,086]	**Phytoplancton**	0,127	[0,119 – 0,134]

Tableau A3. Macrophytes : état de la masse d'eau Campignol en 2017 ; les valeurs en rouge pour les MES minérales indiquent les stations où la pondération s'applique.

Station	RV G1 + G2 + G3 (%)	RV *S.pectinata* (%)	RV G4+G5 (%)	MES minérale (mg/l)	Notation	Classe Lagune	Classe masse d'eau DCE
CAM	35,67	0	33,67	10,57	Moyen	Moyen	Moyen
CAM1	17,67	0	27,67	9,95	Médiocre		
CAM2	5,33	0	29,67	10,26	Moyen		
CAM3	56,67	0	4,33	9,05	Bon		
CAM5	24,67	0	15,67	5,9	Bon		

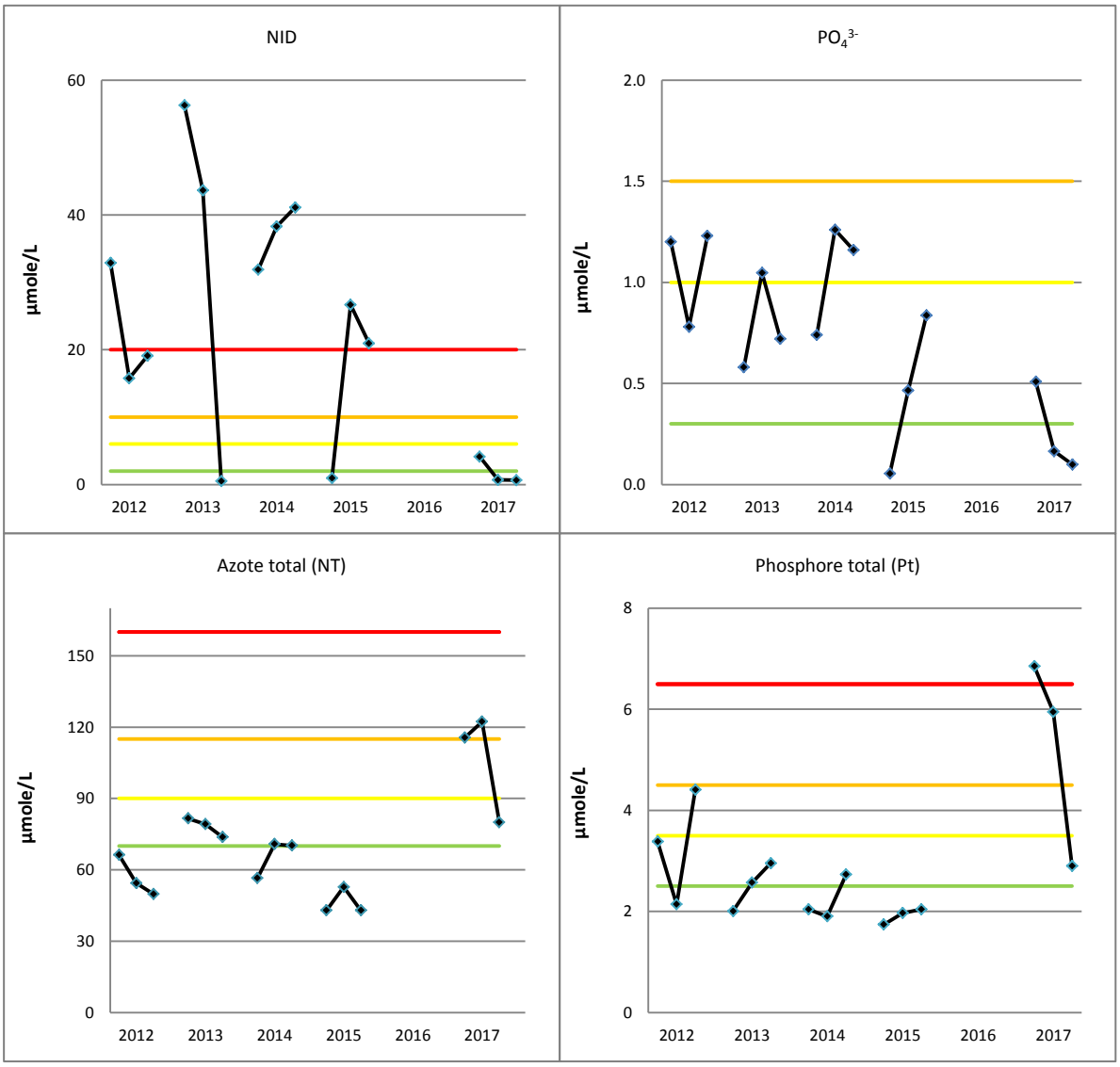


Figure A.2. Concentrations en NID, PO_4^{3-}, NT et PT (en µmole/L) des étés (juin à août) 2012 à 2017 à Campignol (station CAM).

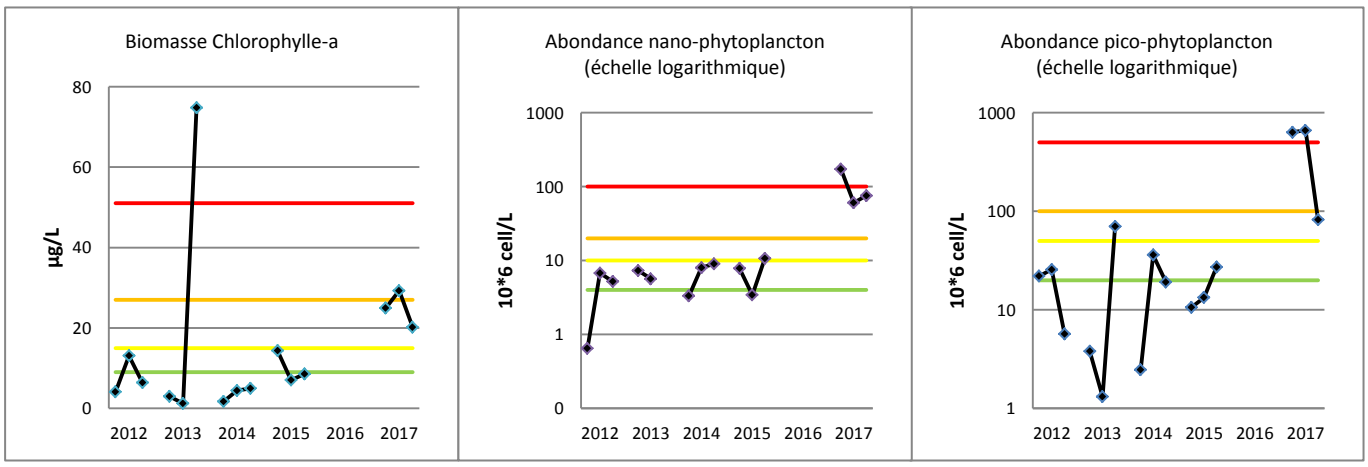


Figure A.3. Concentration de chlorophylle-*a* (µg/L), abondances de pico-phytoplancton et de nano-phytoplancton (million de cellules/L) des étés (juin à août) 2012 à 2017 à Campignol (station CAM).

Physico -chimie 2017

Phyto- plancton 2017

Macro phytes 2017

Vendres FRDT08-1

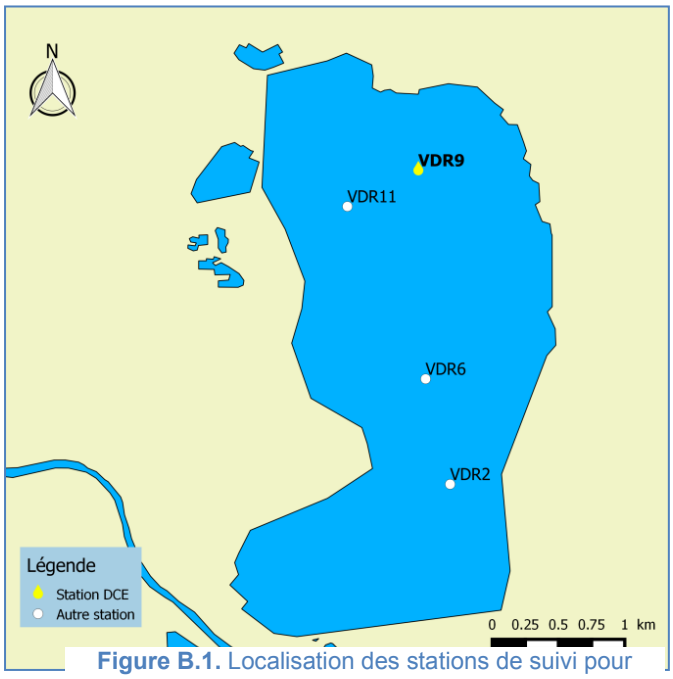


Figure B.1. Localisation des stations de suivi pour Vendres

L'état de la colonne d'eau et du phytoplancton pour l'étang de Vendres est diagnostiqué pour la DCE au niveau de la station DCE (station VDR9, Figure B1) située au nord. Trois stations supplémentaires sont étudiées depuis 2013 dans le cadre du projet en cours d'adaptation des outils de diagnostic aux lagunes oligo et mésohalines *(étude Onema/Ifremer /Tour du Valat/UM2).* L'état de la colonne d'eau et du phytoplancton sont qualifiés de « mauvais » au regard des grilles DCE pour les lagunes eu et polyhalines sur la période 2012-2017 (Tableaux B1 et B2). Il serait identique avec les grilles pour les lagunes oligo et mésohalines (Tableaux B1 et B2). Les critères les plus déclassants dans la colonne d'eau sont l'azote total (NT) et le Phosphore total (PT).

Sur la période 2012-2017, l'évolution de l'état de la masse d'eau est contrastée en fonction des paramètres utilisés : en augmentation pour NT et NID, fluctuant pour PO_4^{3-}.

L'état de la masse d'eau pour les macrophytes est « moyen » et très contrasté entre stations (« très bon » à « mauvais ») (Tableau B3).
On note une détérioration plus ou moins marquée des herbiers de macrophytes de cette lagune avec le recul des espèces caractéristiques au profit des macro-algues. Ces changements sont probablement liés à un processus d'eutrophisation (augmentation de l'azote total et du phytoplancton).

Les concentrations d'azote total et de phosphore total restent très élevées avec une tendance à la diminution (Figure B.2). Le NID et le phosphore dissous (PO_4^{3-}) montrent en 2017 les valeurs les plus fortes sur la période 2012-2017. De même, le phytoplancton en biomasse et densité montre des valeurs très élevées, les plus fortes sur la période considérée pour les densités (Figure B.3). L'aggravation de l'état de la masse d'eau en 2017 pourrait être liée au déficit pluviométrique printanier qui a pu réduire la vitesse de renouvellement des eaux.

Sur la période 2012-2017, la masse d'eau « Vendres » ne répond pas aux exigences de la DCE pour les caractéristiques physico-chimiques, pour le phytoplancton et pour les macrophytes.

Vendres FRDT08-1

Tableau B.1. Colonne d'eau : état physico-chimique DCE 2017* pour Vendres soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille «provisoire (non validée) Lagunes oligo et mésohalines » (N=12) (seuls les seuils pour NT et PT ont été modifiés).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**P90 et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**P90 et état**	**[IC]**
NID	4,84	[3,48 - 6,20]	*NID*	*4,84*	*[3,48 – 6,20]*
PO_4^{3-}	1,64	[1,60 - 1,6,84]	*PO_4^{3-}*	*1,64*	*[1,60 - 1,6,84]*
NT	275,65	[273,1 – 278,2]	NT	275,65	[273,1 – 278,2]
PT	8,42	[8,29 – 8,55]	PT	8,42	[8,29 – 8,55]
Etat physico-chimique			**Etat physico-chimique**		

Tableau B.2. Phytoplancton : état DCE 2017* pour Vendres soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille provisoire (non validée) « Lagunes oligo et mésohalines » (N=12).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**EQR et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**EQR et état**	**[IC]**
Biomasse	0,049	[0,048 – 0,050]	Biomasse	0,089	[0,087 – 0,091]
Abondance	0,008	[0,007 – 0,009]	*Abondance*	*0,008*	*[0,007 – 0,009]*
Phytoplancton	0,029	[0,028 – 0,030]	**Phytoplancton**	0,049	[0,047 – 0,0524]

Tableau B3. Macrophytes : état de la masse d'eau Vendres en 2017 ; les valeurs en rouge pour les MES minérales indiquent les stations où la pondération s'applique.

Station	RV G1 + G2 + G3 (%)	RV *S.pectinata* (%)	RV G4+G5 (%)	MES minérale (mg/l)	Notation	Classe Lagune	Classe masse d'eau DCE
VDR1	70	70	0	4,42	Moyen	Moyen	Moyen
VDR2	4	0	22	17,51	Mauvais		
VDR6	94	17,33	2,67	12,81	Très bon		
VDR9	12	12	0	13,39	Bon		

Vendres FRDT08-1

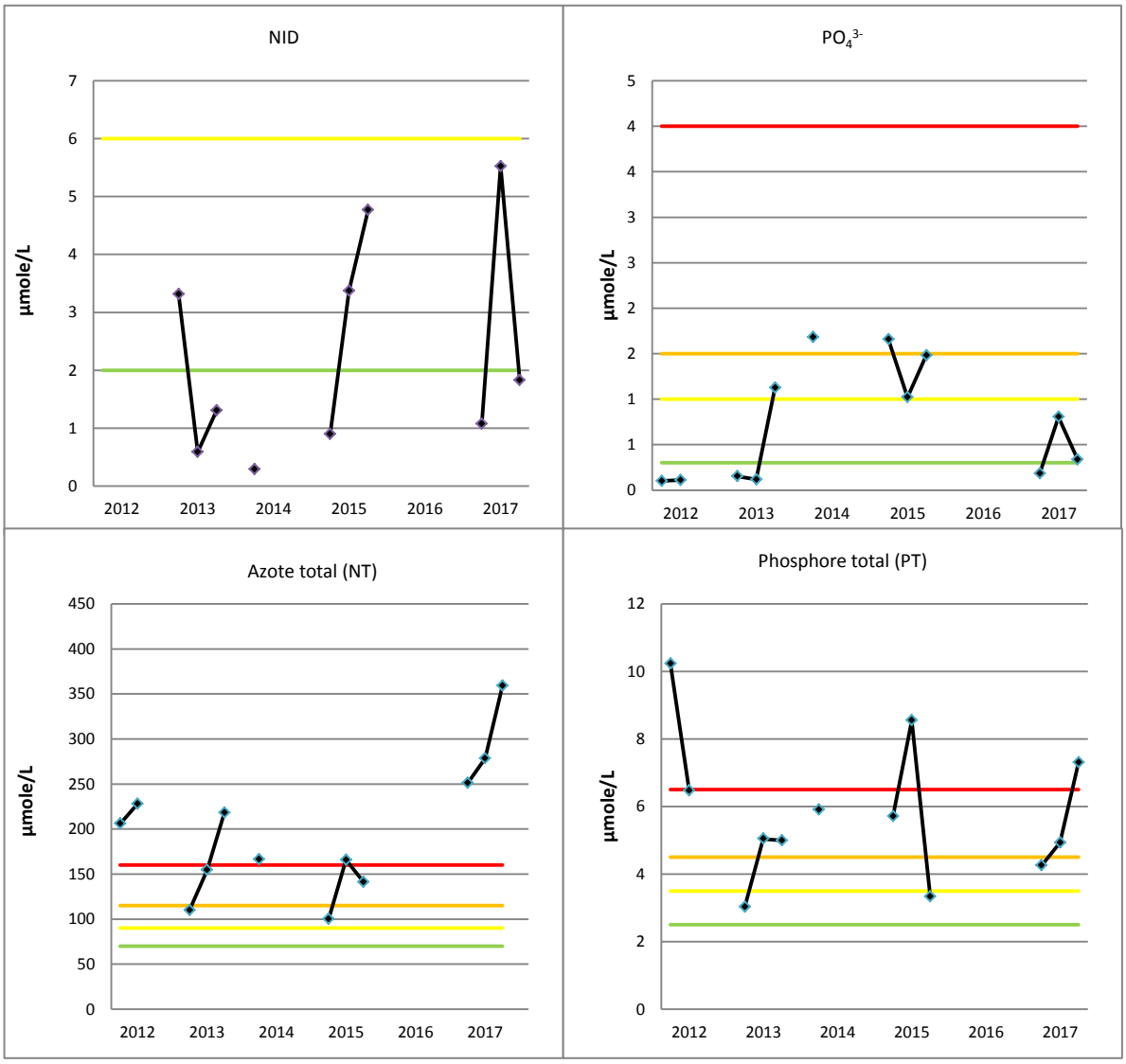


Figure B.2. Concentrations en NID, PO_4^{3-}, NT et PT (en µmole/L) des étés (juin à août) 2012 à 2017 à Vendres (station VDR9).

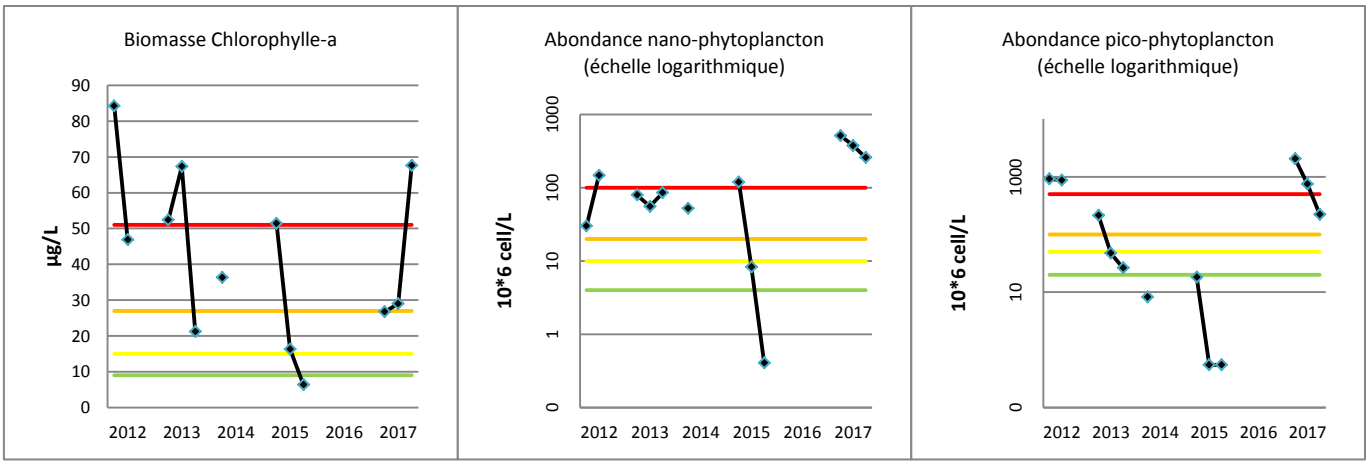


Figure B.3. Concentration de chlorophylle-*a* (µg/L), abondances de pico-phytoplancton et de nano-phytoplancton (million de cellules/L) des étés (juin à août) 2012 à 2017 à Vendres (station VDR9).

Physico -chimie 2017

Phyto- plancton 2017

Macro phytes 2017

Bagnas FRDT09-1

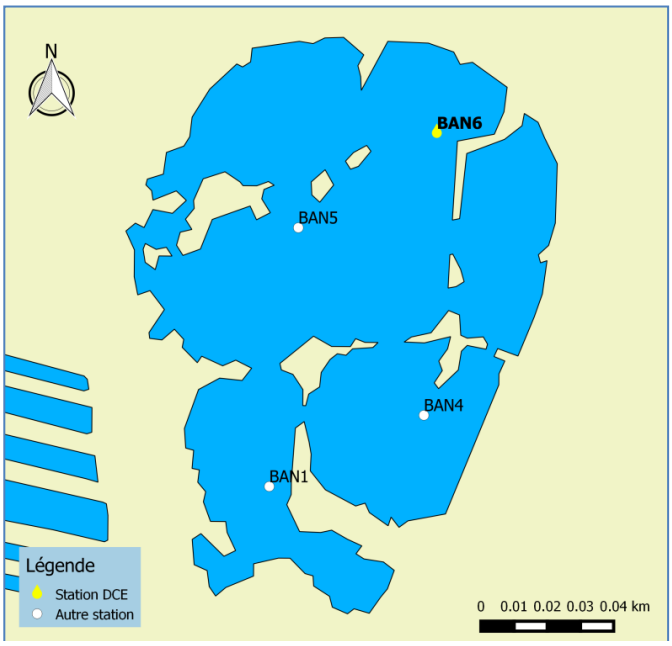


Figure C.1. Localisation des stations de mesure sur l'étang du Bagnas

L'état de la colonne d'eau et du phytoplancton pour l'étang du Bagnas est diagnostiqué pour la DCE au niveau de la station DCE (station BAN6, Figure C1) située au nord. Trois stations supplémentaires sont étudiées depuis 2013 dans le cadre du projet en cours d'adaptation des outils de diagnostic aux lagunes oligo et mésohalines *(étude Onema/Ifremer /Tour du Valat/UM2).*

L'état de la colonne d'eau est qualifié de « mauvais » au regard des grilles DCE pour les lagunes eu- et polyhalines et pour les lagunes oligo et mésohalines sur la période 2012-2017 (Tableaux C1 et C2). Le critère le plus déclassant dans la colonne d'eau est l'azote total (NT).

Pour le phytoplancton, l'état est qualifié de « mauvais » au regard des grilles DCE pour les lagunes eu- et polyhalines ; l'utilisation de la grille pour les lagunes oligo et mésohalines aurait conduit à un classement légèrement meilleur (« médiocre ») pour le phytoplancton.

L'état pour les macrophytes est « moyen », caractérisé par une très forte abondance de *Stuckenia pectinata* (espèce caractéristique mais déclassante en forte abondance) (Tableau C3). Cette espèce à connu une augmentation importante depuis 2013, très probablement liée à l'assèchement estival du Bagnas en 2016 et à la diminution des matières en suspension qui en a résulté.

La seule tendance claire qui apparait sur l'état de la masse d'eau est une diminution des concentrations en PO_4^{3-}. A noter une augmentation importante en 2017 des concentrations en azote total (NT) et Phosphore total (PT). Cette augmentation pourrait résulter des conditions climatiques très sèches du printemps 2017 avec probablement un faible renouvellement des eaux. Une amélioration de la qualité de l'eau était attendue à la suite de l'assèchement prolongé de l'été 2016. Cet assèchement a conduit à une forte augmentation du recouvrement total des macrophytes et du recouvrement de *S. pectinata* par rapport à 2013 (Annexe 1). Le fonctionnement hydrologique très artificialisé et la qualité de l'eau en entrée de la lagune devraient être mieux connus pour envisager l'amélioration de la gestion et par suite de l'état de la lagune.

Sur la période 2012-2017, la masse d'eau « Bagnas » ne répond pas aux exigences de la DCE pour les caractéristiques physico-chimiques, pour le phytoplancton et pour les macrophytes.

Bagnas FRDT09-1

Tableau C.1. Colonne d'eau : état physico-chimique DCE 2017* pour le Bagnas soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille provisoire (non validée) « Lagunes oligo et mésohalines » (N=12) (seuls les seuils pour NT et PT ont été modifiés).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**P90 et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**P90 et état**	**[IC]**
NID	1,80	[1,78 – 1,82]	*NID*	*1,80*	*[1,78 – 1,82]*
PO_4^{3-}	1,18	[1,17 - 1,20]	*PO_4^{3-}*	*1,18*	*[1,17 - 1,20]*
NT	212,42	[211,81 – 213,02]	NT	212,42	[211,81 – 213,02]
PT	5,26	[5,24 – 5,28]	PT	5,26	[5,24 – 5,28]
Etat physico-chimique			**Etat physico-chimique**		

Tableau C.2. Phytoplancton : état DCE 2017* pour le Bagnas soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille provisoire (non validée) « Lagunes oligo et mésohalines » (N=12).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**EQR et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**EQR et état**	**[IC]**
Biomasse	0,075	[0,073 – 0,076]	Biomasse	0,135	[0,132 – 0,138]
Abondance	0,013	[0,011 - 0,014]	*Abondance*	*0,013*	*[0,011 - 0,014]*
Phytoplancton	0,044	[0,040 - 0,045]	**Phytoplancton**	0,074	[0,072 - 0,076]

Tableau C3. Macrophytes : état de la masse d'eau Grand Bagnas en 2017 ; les valeurs en rouge pour les MES minérales indiquent les stations où la pondération s'applique.

Station	RV G1 + G2 + G3 (%)	RV S.pectinata (%)	RV G4+G5 (%)	MES minérale (mg/l)	Notation	Classe Lagune	Classe masse d'eau DCE
BAN1	96,67	96,67	0	5,54	Moyen	Moyen	Moyen
BAN4	96,67	89,33	0	6,19	Moyen		
BAN5	100	96	0	3,28	Moyen		
BAN6	88,33	85,67	0	3,14	Moyen		

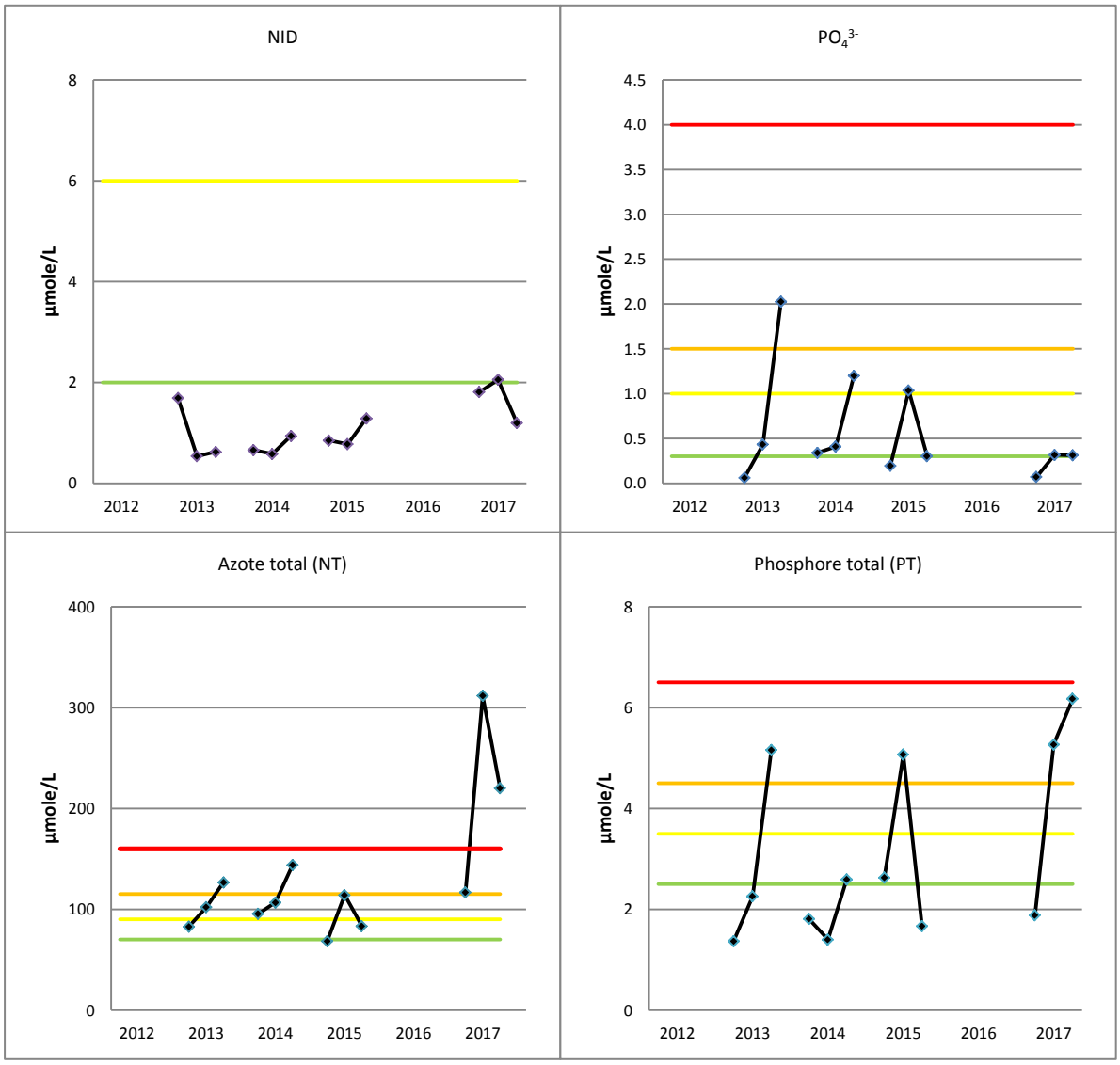


Figure C.2. Concentrations en NID, PO_4^{3-}, NT et PT (en µmole/L) des étés (juin à août) 2012 à 2017 au Bagnas (station BAN6).

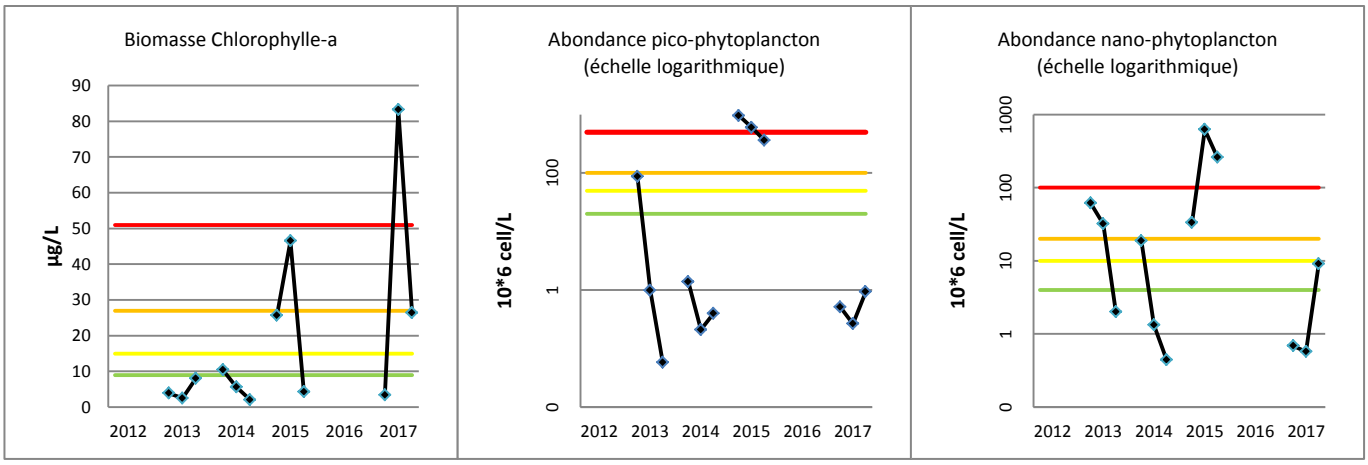


Figure C.3. Concentration de chlorophylle-*a* (µg/L), abondances de pico-phytoplancton et de nano-phytoplancton (million de cellules/L) des étés (juin à août) 2012 à 2017 au Bagnas (station BAN6).

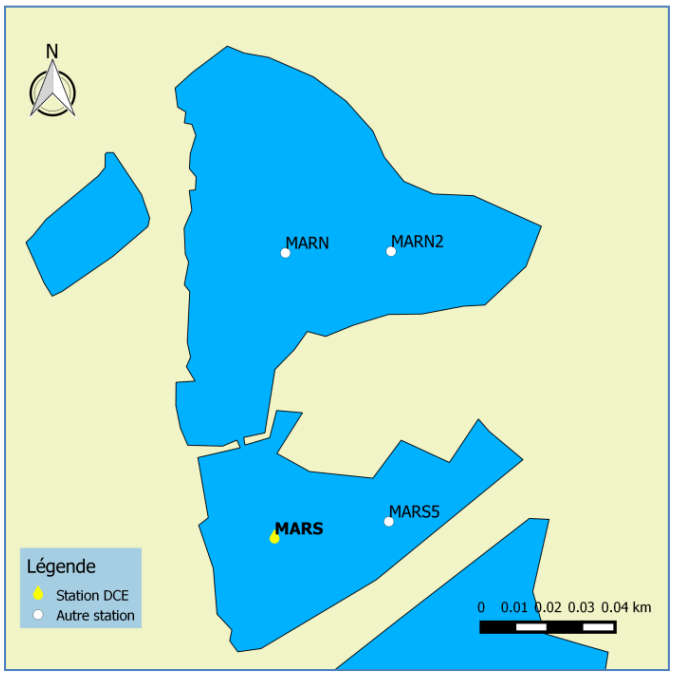


Figure D.1. Station de suivi pour la Marette Nord et Sud.

L'état de la colonne d'eau et du phytoplancton pour l'étang de la Marette est diagnostiqué pour la DCE au niveau de la station MARS située au sud (Figure D1). Trois stations supplémentaires sont étudiées depuis 2013 dans le cadre du projet en cours d'adaptation des outils de diagnostic aux lagunes oligo et mésohalines *(étude Onema/Ifremer /Tour du Valat/UM2).* L'état de la colonne d'eau sur la période 2012-2017 est « mauvais » pour la physico-chimie et « médiocre » pour le phytoplancton au regard des grilles DCE pour les lagunes eu et polyhalines (Tableaux D1 et D2). Avec les grilles pour les lagunes oligo- et mésohalines, l'état de la colonne d'eau serait qualifié de « médiocre » et celui du phytoplancton de « moyen » (Tableau D2). Pour la physico-chimie, le critère le plus déclassant dans la colonne d'eau est l'azote total (NT). La disponibilité en phosphore dissous (PO_4^{3-}) dans la colonne d'eau reste limitée (état « bon »). L'azote dissous (NID) et le phosphore total (PT) sont présents en quantités importantes dans l'étang.

L'état de la masse d'eau pour les macrophytes est « médiocre » et variable entre stations (« bon » à « mauvais ») (Tableau D3). Les herbiers de la Marette semblent se dégrader avec une diminution plus ou moins marquée des macrophytes caractéristiques. Cette évolution est à mettre en lien avec l'augmentation de l'azote total et peut-être de la salinité qui favorisent les macro-algues.

La production primaire dans cette lagune semble limitée l'été par le phosphore qui se trouve rapidement consommé dans la colonne d'eau. Entre 2012 et 2017, les concentrations de NID et PO_4^{3-} montrent une tendance à la diminution ; les autres indicateurs de l'état de la colonne d'eau et du phytoplancton ne montrent aucune tendance claire. En 2017 les concentrations d'azote total étaient beaucoup plus fortes que les années précédentes. L'état de la colonne d'eau et du phytoplancton reste critique vis-à-vis de l'eutrophisation (Tableaux D.1 à D.6) dans les parties nord et sud. Les précipitations faibles en 2017 ont pu conduire à un faible renouvellement des eaux favorisant l'augmentation du niveau trophique.

Sur la période 2012-2017, la masse d'eau « Marette » ne répond pas aux exigences de la DCE pour les caractéristiques physico-chimiques, pour le phytoplancton et pour les macrophytes.

Tableau D.1. Colonne d'eau état physico-chimique DCE 2017* pour la masse d'eau Marette soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille provisoire (non validée) « Lagunes oligo et mésohalines » (N=15) (seuls les seuils pour NT et PT ont été modifiés).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**P90 et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**P90 et état**	**[IC]**
NID	12,77	[12,67 - 12,88]	*NID*	*12,77*	*[12,67 - 12,88]*
PO_4^{3-}	0,328	[0,322 - 0,334]	*PO_4^{3-}*	*0,328*	*[0,322 - 0,334]*
NT	137,58	[136,58 – 138,57]	NT	137,58	[136,58 – 138,57]
PT	4,12	[4,08 – 4,16]	PT	4,12	[4,08 – 4,16]
Etat physico-chimique			**Etat physico-chimique**		

Tableau D.2. Phytoplancton : état DCE 2017* pour la masse d'eau Marette soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille provisoire (non validée) « Lagunes oligo et mésohalines » (N=15).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**EQR et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**EQR et état**	**[IC]**
Biomasse	0,288	[0,284 - 0,292]	Biomasse	0,519	[0,511 - 0,527]
Abondance	0,065	[0,064 - 0,066]	*Abondance*	*0,065*	*[0,064 - 0,066]*
Phytoplancton	0,177	[0,175 - 0,179]	**Phytoplancton**	0,292	[0,288 - 0,296]

Tableau D3. Macrophytes : état de la masse d'eau Marette en 2017 ; les valeurs en rouge pour les MES minérales indiquent les stations où la pondération s'applique.

Station	RV G1 + G2 + G3 (%)	RV *S.pectinata* (%)	RV G4+G5 (%)	MES minérale (mg/l)	Notation	Classe Lagune	Classe masse d'eau DCE
MARN	11,11	11,11	8,44	6,68	Médiocre	Moyen	Moyen
MARN2	20,22	20,22	9,56	18,82	Bon		
MARS	2,89	1,78	2	10,84	Mauvais		
MARS5	5,11	5,11	3,78	13,87	Bon		

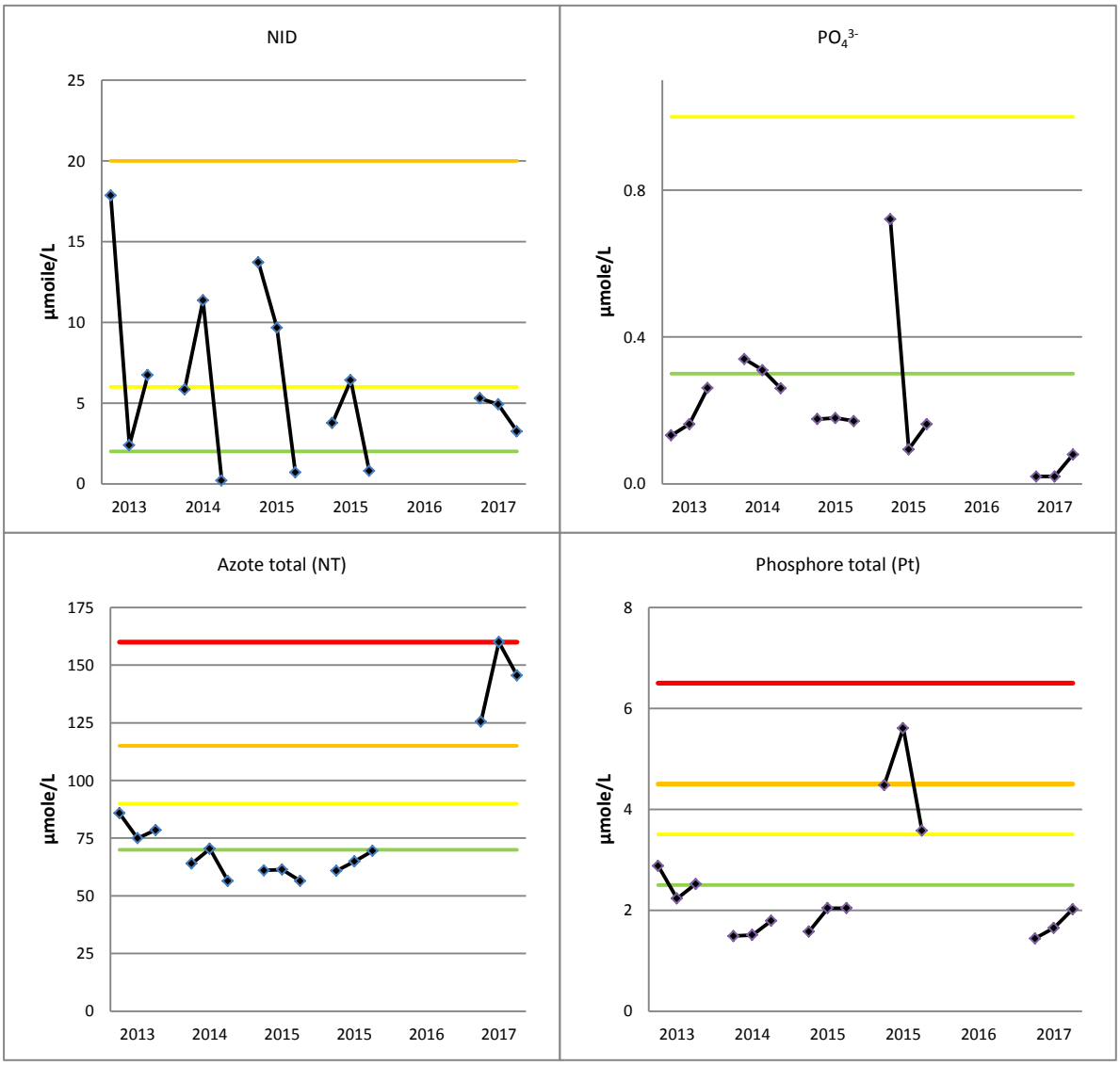


Figure D.2. Concentrations en NID, PO_4^{3-}, NT et PT (en µmole/L) des étés (juin à août) 2012 à 2017 sur la Marette (station MARS).

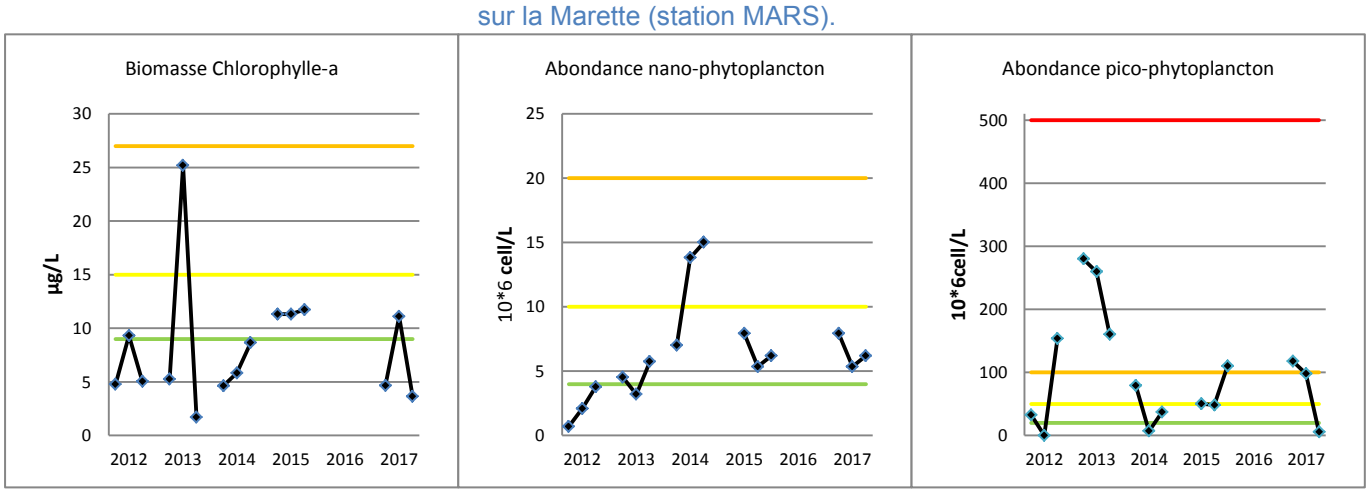


Figure D.3. Concentration de chlorophylle-*a* (µg/L), abondances de pico-phytoplancton et de nano-phytoplancton (million de cellules/L) des étés (juin à août) 2012 à 2017 à la Marette (station MARS).

Physico -chimie 2017

Phyto- plancton 2017

Macro phytes 2017

Charnier / Crey / Scamandre FRDT13h

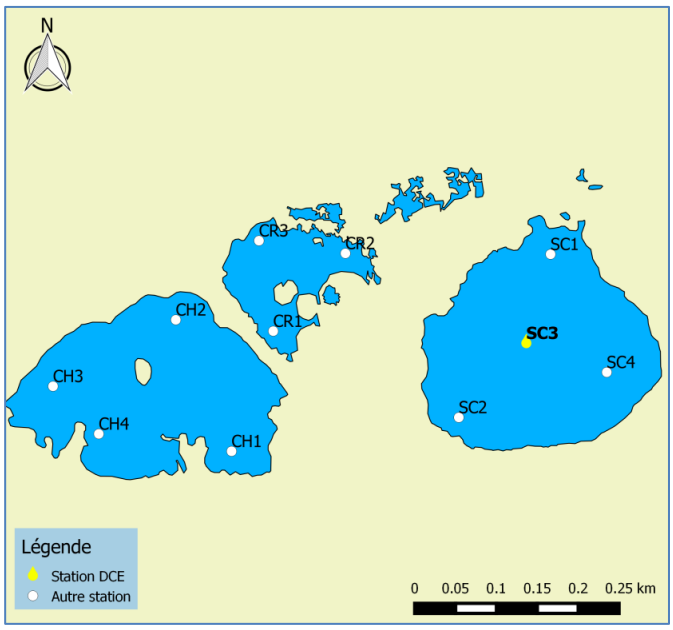


Figure E.1. Localisation des stations de mesures pour la masse d'eau Charnier/Crey/Scamandre

L'état de la colonne d'eau et du phytoplancton pour la masse d'eau Charnier/Crey/Scamandre est diagnostiqué pour la DCE au niveau d'une station située au centre de l'étang de Scamandre (SC3, Figure E1). Dix stations supplémentaires réparties sur les 3 étangs sont étudiées depuis 2013 dans le cadre du projet en cours d'adaptation des outils de diagnostic aux lagunes oligo et mésohalines *(étude Onema/Ifremer /Tour du Valat/UM2).*

L'état de la colonne d'eau comme celui du phytoplancton est « mauvais » au regard des grilles DCE pour les lagunes eu- et polyhalines sur la période 2012-2017 (Tableaux E1 et E2) ; il aurait été également qualifié de « mauvais » pour la physico-chimie et pour le phytoplancton avec les grilles pour les lagunes oligo et mésohalines (Tableau E2). Le critère le plus déclassant dans la colonne d'eau est l'azote total (NT). Le phosphore total (PT) est également très élevé dans les étangs de Charnier et Crey.

L'état de la masse d'eau pour les macrophytes est « médiocre » (Tableau E3), avec un bilan contrasté pour le Charnier et le Crey (passage d'un état bon à mauvais selon les stations) mais majoritairement mauvais (7 stations sur 11 au total). Ce mauvais état s'explique par une turbidité minérale forte mais aussi par les niveaux importants d'azote total et de phytoplancton (Tableau E2). Ces trois lagunes connaissent soit une stagnation, soit une diminution en macrophytes caractéristiques depuis 2013, notamment pour le Crey dont les macrophytes ont fortement diminué.

Les valeurs de physico-chimie restent élevées pour la plupart des critères (sauf l'orthophosphate (PO_4^{3-})) malgré la forte concentration en phytoplancton. Avec seulement 3 années de résultats aucune tendance n'est discernable (Figure E.2 et E.3) mais les valeurs de NT et PT étaient sensiblement plus élevées en 2017 qu'en 2013 et 2015. De même, l'abondance du picophytoplancton montre une forte augmentation au cours de la période considérée. L'analyse plus détaillée par étang est précisée en annexe ; elle conclut pour le Charnier à un état « mauvais » pour la colonne d'eau et le phytoplancton, pour le Crey comme pour le Scamandre à un état « médiocre » pour la colonne d'eau et « mauvais » pour le phytoplancton.

Sur la période 2012-2017, la masse d'eau « Scamandre/Crey/Charnier » ne répond pas aux exigences de la DCE pour les caractéristiques physico-chimiques, pour le phytoplancton et pour les macrophytes.

Tableau E.1. Colonne d'eau état physico-chimique DCE 2017* pour la masse d'eau Petite Camargue Scamandre-Charnier-Crey soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille provisoire (non validée) « Lagunes oligo et mésohalines » (N=9) (seuls les seuils pour NT et PT ont été modifiés).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**P90 et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**P90 et état**	**[IC]**
NID	7,38	[7,06 – 7,70]	*NID*	*7,38*	*[7,06 – 7,70]*
PO_4^{3-}	0,34	[0,33 – 0,35]	*PO_4^{3-}*	*0,34*	*[0,33 – 0,35]*
NT	229,81	[228,46 – 231,16]	NT	229,81	[22,46 – 231,16]
PT	4,05	[4,02 – 4,08]	PT	4,05	[4,02 – 4,08]
Etat physico-chimique			**Etat physico-chimique**		

Tableau E.2. Phytoplancton : état DCE 2017* pour la masse d'eau Petite Camargue Scamandre-Charnier-Crey soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille provisoire (non validée) « Lagunes oligo et mésohalines » (N=9).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**EQR et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**EQR et état**	**[IC]**
Biomasse	0,044	[0,043 – 0,045]	Biomasse	0,079	[0,078 – 0,080]
Abondance	0,335	[0,334 – 0,336]	*Abondance*	*0,335*	*[0,334 – 0,336]*
Phytoplancton	0,027	[0,026 – 0,028]	**Phytoplancton**	0,045	[0,043 – 0,047]

Tableau E3. Macrophytes : état de la masse d'eau Charnier-Scamandre-Crey en 2017 ; les valeurs en rouge pour les MES minérales indiquent les stations où la pondération s'applique.

Lagunes	Station	RV G1 + G2 + G3 (%)	RV S.pectinata (%)	RV G4+G5 (%)	MES minérale (mg/l)	Notation	Classe Lagune	Classe masse d'eau DCE
Crey	CR1	1,78	1,78	0	18,44	Mauvais	Moyen	Médiocre
	CR2	72,44	68,22	0	5,12	Moyen		
	CR3	49,11	30,67	0	13,02	Bon		
Charnier	CH1	2	1,78	0	30,42	Mauvais	Médiocre	
	CH2	27,11	27,11	0	38,99	Moyen		
	CH3	5,33	5,33	0	34,51	Bon		
	CH4	2,22	2,22	0	22,16	Mauvais		
Scamandre	SC1	4	0	0	28,54	Mauvais	Mauvais	
	SC2	0,89	0,22	0	28,09	Mauvais		
	SC3	1,78	0	0	26,89	Mauvais		
	SC4	2,67	0	0	27,26	Mauvais		

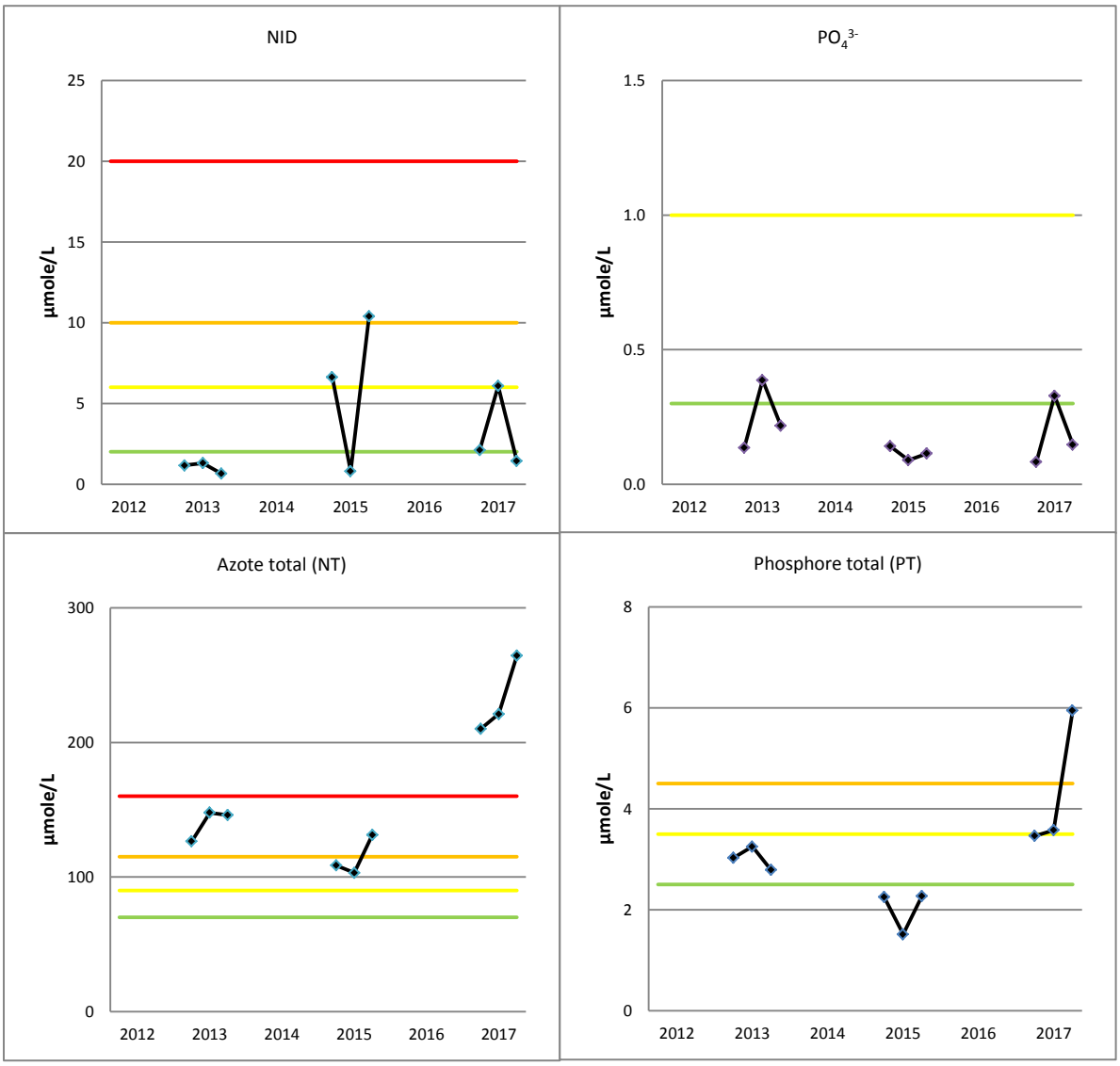


Figure E.3. Concentration de chlorophylle-*a* (µg/L), abondances de pico-phytoplancton et de nano-phytoplancton (million de cellules/L) des étés (juin à août) 2012 à 2017 pour la masse d'eau Petite Camargue Scamandre-Charnier-Crey (station SC3).

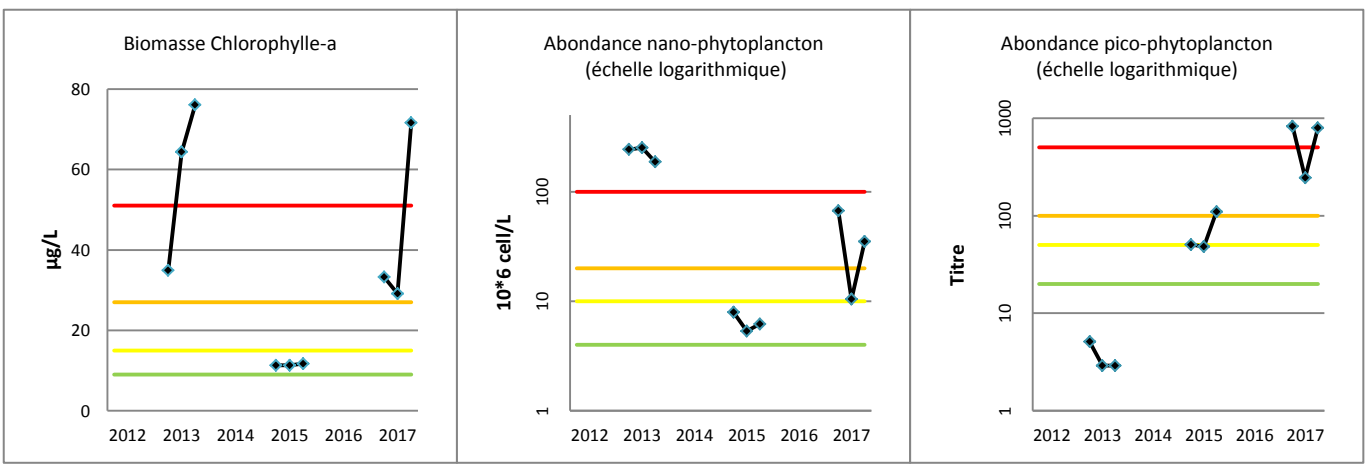


Figure E.2. Concentrations en NID, PO_4^{3-}, NT et PT (en µmole/L) des étés (juin à août) 2012 à 2017 pour la masse d'eau Petite Camargue Scamandre-Charnier-Crey (station SC3).

Physico -chimie 2017

Phyto- plancton 2017

Macro phytes 2017

La Palissade FRDT14c

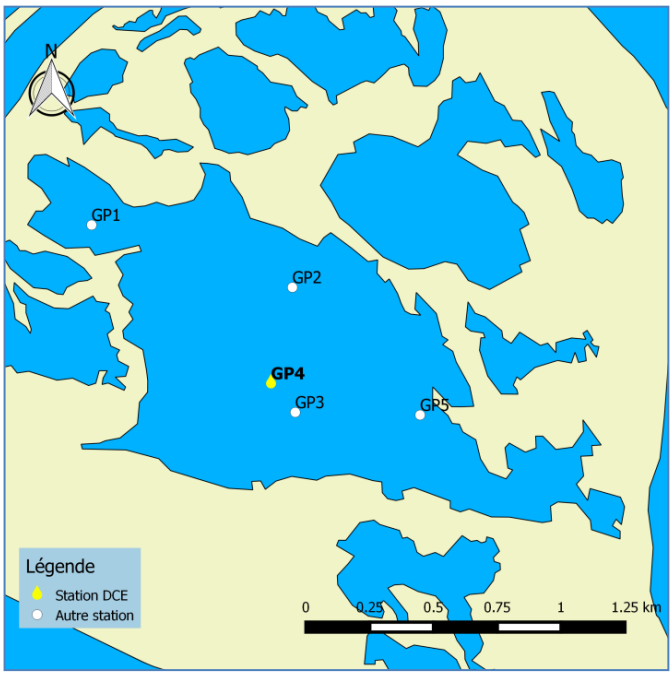


Figure F.1. Localisation des stations de mesures pour la Palissade

L'état de la colonne d'eau et du phytoplancton pour l'étang de la Grand Palun à La Palissade est diagnostiqué pour la DCE au niveau d'une station située au centre (GP4, Figure F.1). Quatre stations supplémentaires sont étudiées depuis 2013 dans le cadre du projet en cours d'adaptation des outils de diagnostic aux lagunes oligo et mésohalines *(étude Onema/Ifremer /Tour du Valat/UM2).*

L'état de la colonne d'eau est « mauvais » et celui du phytoplancton « médiocre » au regard des grilles DCE pour les lagunes eu- et polyhalines sur la période 2012-2017 (Tableaux F.1 et F.2). L'état de la colonne d'eau ne serait pas différent en utilisant la grille pour les lagunes oligo et mésohalines mais il serait « moyen » pour le phytoplancton. Le critère le plus déclassant dans la colonne d'eau est l'azote inorganique (NID). La disponibilité en phosphates dans la colonne d'eau reste faible (état « très bon »).

L'état de la masse d'eau pour les macrophytes est « moyen » avec 2 stations sur 5 en état « mauvais » et 2 stations en état « bon ». L'étang de la Grand Palun connait une dégradation de ses herbiers de macrophytes avec la diminution, contrastée mais généralisée, des macrophytes caractéristiques et une augmentation des macro-algues. Ceci est à mettre en lien avec l'augmentation des concentrations de nutriments.

Sur la période 2012-2017, la biomasse de chlorophylle-*a* et la densité du picophytoplancton montrent une tendance à la diminution (Figure F.3). Les autres variables de la colonne d'eau ne montrent pas de tendance claire.

L'étang de la Grand-Palun est soumis à une forte influence du Rhône ce qui explique probablement les concentrations élevées en azote inorganique. La turbidité souvent forte de cet étang (faible profondeur et vent fréquent), en limitant la lumière disponible pour les macrophytes, contribue probablement à des concentrations relativement élevées de phytoplancton. Cette lagune semble limitée l'été par le phosphore qui se trouve rapidement consommé dans la colonne d'eau.

Sur la période 2012-2017, la masse d'eau « La Palissade » ne répond pas aux exigences de la DCE pour les caractéristiques physico-chimiques, pour le phytoplancton et pour les macrophytes.

Tableau F.1. Colonne d'eau état physico-chimique DCE 2017* pour la Palissade soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille provisoire (non validée) « Lagunes oligo et mésohalines » (N=9) (seuls les seuils pour NT et PT ont été modifiés).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**P90 et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**P90 et état**	**[IC]**
NID	22,84	[22,72 – 22,96]	*NID*	*22,84*	*[22,72 – 22,96]*
PO_4^{3-}	0,219	[0,216 – 0,222]	*PO_4^{3-}*	*0,219*	*[0,216 – 0,222]*
NT	82,23	[81,53 – 82,94]	NT	82,23	[81,53 – 82,94]
PT	2,72	[2,70 – 2,74]	PT	2,72	[2,70 – 2,74]
Etat physico-chimique			**Etat physico-chimique**		

Tableau F.2. Phytoplancton : état DCE 2017* pour la Palissade soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille provisoire (non validée) « Lagunes oligo et mésohalines » (N=9).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**EQR et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**EQR et état**	**[IC]**
Biomasse	0,212	[0,211 – 0,214]	Biomasse	0,382	[0,380 – 0,385]
Abondance	0,153	[0,150 – 0,156]	*Abondance*	*0,153*	*[0,150 – 0,156]*
Phytoplancton	0,187	[0,186 – 0,188]	**Phytoplancton**	0,272	[0,270 – 0,274]

Tableau F3. Macrophytes : état de la masse d'eau Grand Palun à La Palissade en 2017 ; les valeurs en rouge pour les MES minérales indiquent les stations où la pondération s'applique.

Station	RV G1 + G2 + G3 (%)	RV *S.pectinata* (%)	RV G4+G5 (%)	MES minérale (mg/l)	Notation	Classe Lagune	Classe masse d'eau DCE
GP1	13,11	2,89	0,67	12,36	Bon	Moyen	Moyen
GP2	1,33	1,33	4,44	22,51	Mauvais		
GP3	10	10	19,11	11,98	Bon		
GP4	5,11	5,11	32,67	11,49	Moyen		
GP5	4,89	1,56	10,44	16,11	Mauvais		

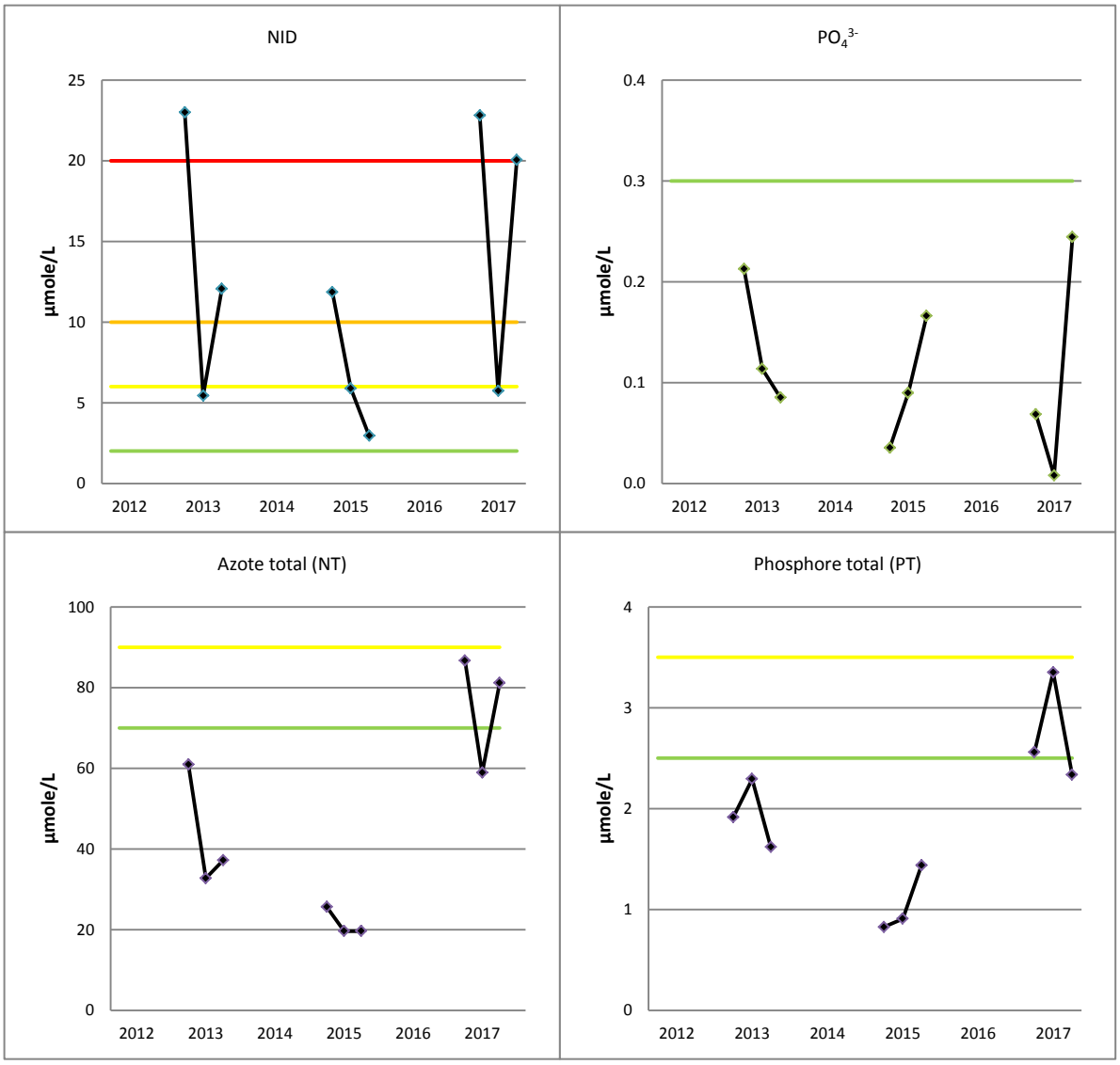


Figure F.2. Concentrations en NID, PO_4^{3-}, NT et PT (en µmole/L) des étés (juin à août) 2012 à 2017 à la Palissade (station GP4).

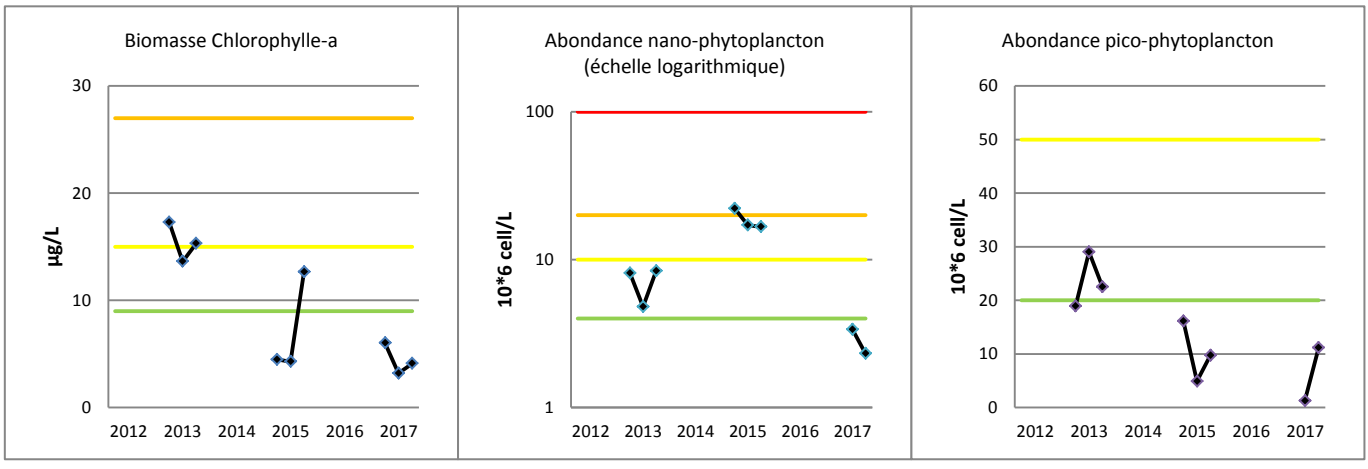


Figure F.3. Concentration de chlorophylle-*a* (µg/L), abondances de pico-phytoplancton et de nano-phytoplancton (million de cellules/L) des étés (juain à août) 2012 à 2017 à la Palissade (station GP4).

Bolmon

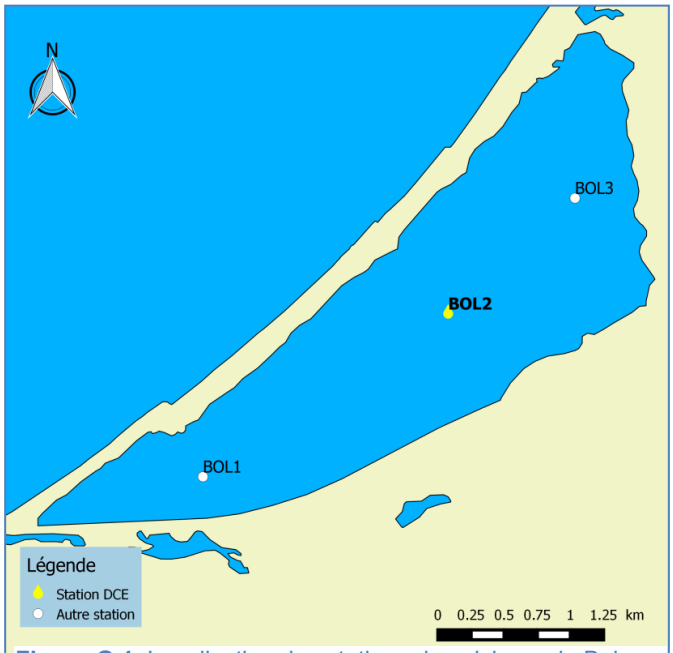


Figure G.1. Localisation des stations de suivi pour le Bolmon

L'état de la colonne d'eau et du phytoplancton pour l'étang de Bolmon est diagnostiqué pour la DCE au niveau d'une station située au centre (BOL2, Figure G.1). Quatre stations supplémentaires sont étudiées depuis 2013 dans le cadre du projet en cours d'adaptation des outils de diagnostic aux lagunes oligo et mésohalines *(étude Onema/Ifremer /Tour du Valat/UM2).*

L'état de la colonne d'eau est « mauvais » comme celui du phytoplancton au regard des grilles DCE pour les lagunes eu- et polyhalines sur la période 2012-2017 (Tableaux F.1 et F.2). L'état de la colonne d'eau et du phytoplancton ne serait pas différent en utilisant la grille pour les lagunes oligo et mésohalines. Le critère le plus déclassant dans la colonne d'eau est l'azote inorganique (NID).

Les critères les plus déclassants dans la colonne d'eau sont l'azote total et le phosphore total.

L'état de la masse d'eau pour les macrophytes est « mauvais » sur toutes les stations avec des abondances nulles (2 stations) ou très faibles (1 station).

Les trois années de résultats montrent une tendance à l'augmentation pour l'azote dissous (NID) et l'azote total (NT). Inversement la biomasse de phytoplancton est en diminution mais toujours avec des densités très fortes de picophytoplancton).

Aucune évolution significative n'est enregistrée pour les macrophytes du Bolmon dans un contexte ancien d'eutrophisation très avancée.

Malgré les efforts engagés dans l'épuration des eaux du bassin versant, l'augmentation de l'azote total et le maintien du phytoplancton à de fortes valeurs en 2017, ne laisse pas présager une reconquête des macrophytes dans un futur proche.

Sur la période 2012-2017, la masse d'eau « Bolmon » ne répond pas aux exigences de la DCE pour les caractéristiques physico-chimiques, pour le phytoplancton et pour les macrophytes.

Bolmon

Tableau G.1. Colonne d'eau état physico-chimique DCE 2017* pour le Bolmon soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille « Lagunes oligo et mésohalines » (N=9) (seuls les seuils pour NT et PT ont été modifiés).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**P90 et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**P90 et état**	**[IC]**
NID	15,14	[14,55 – 15,73]	*NID*	*15,14*	*[14,55 – 15,73]*
PO_4^{3-}	0,614	[0,602 – 0,625]	*PO_4^{3-}*	*0,614*	*[0,602 – 0,625]*
NT	234,26	[232,87 – 235,64]	NT	234,26	[232,87 – 235,64]
PT	11,60	[11,55 – 11,64]	PT	11,60	[11,55 – 11,64]
Etat physico-chimique			**Etat physico-chimique**		

Tableau G.2. Phytoplancton : état DCE 2017* pour le Bolmon soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille « Lagunes oligo et mésohalines » (N=9)

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**EQR et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**EQR et état**	**[IC]**
Biomasse	0,016	[0,015 – 0,017]	Biomasse	0,029	[0,028 – 0,030]
Abondance	0,002	[0,001 – 0,003]	*Abondance*	*0,002*	*[0,001 – 0,003]*
Phytoplancton	0,009	[0,008 – 0,011]	**Phytoplancton**	0,015	[0,014 – 0,016]

Tableau G3. Macrophytes : état de la masse d'eau Bolmon en 2017 ; les valeurs en rouge pour les MES minérales indiquent les stations où la pondération s'applique.

Station	RV G1 + G2 + G3 (%)	RV *S.pectinata* (%)	RV G4+G5 (%)	MES minérale (mg/l)	Notation	Classe Lagune	Classe masse d'eau DCE
BOL1	0,89	0,89	0	11,17	Mauvais	Mauvais	Mauvais
BOL2	0	0	0	16,9	Mauvais		
BOL3	0	0	0	12,01	Mauvais		

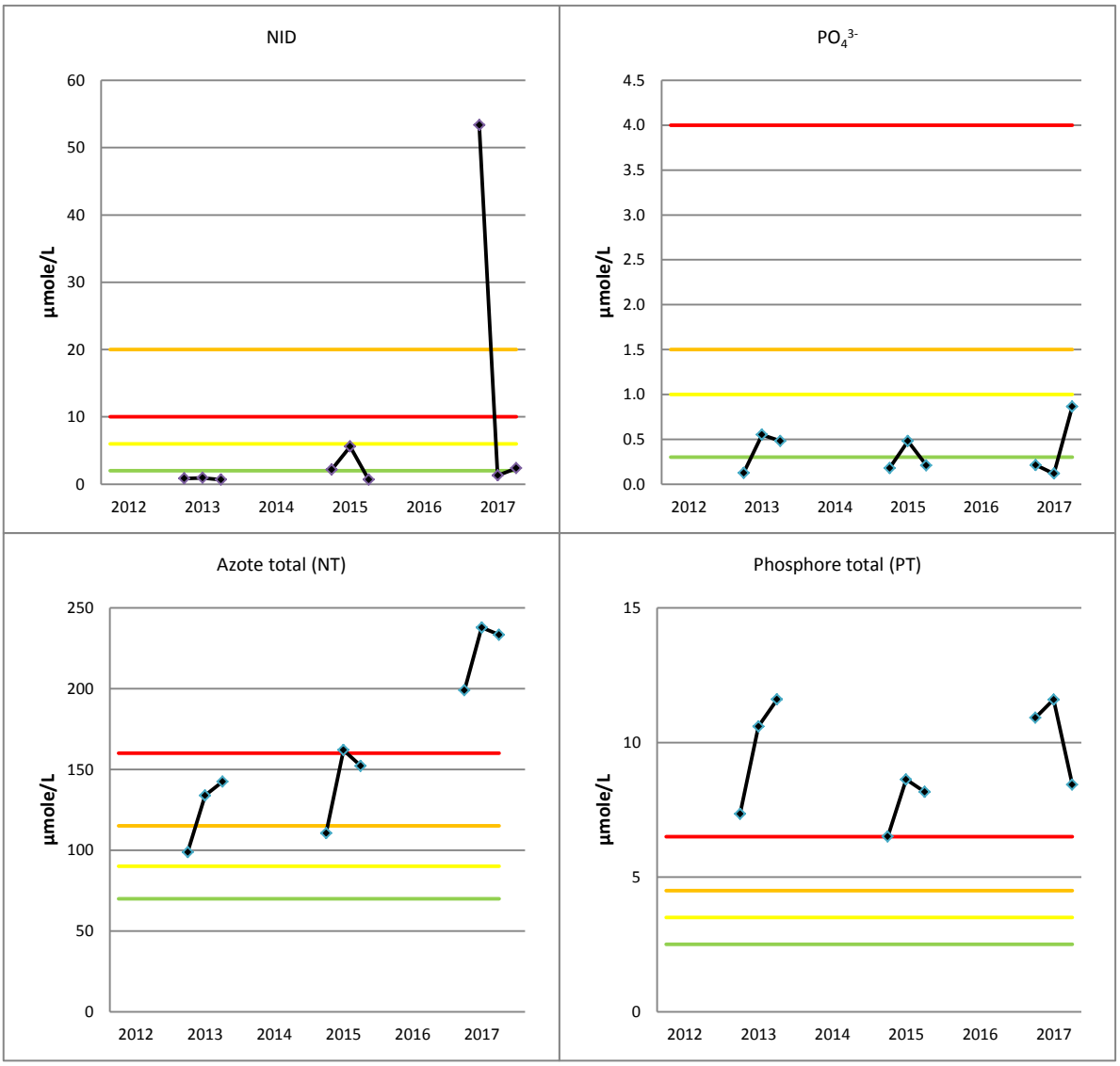


Figure G.2. Concentrations en NID, PO_4^{3-}, NT et PT (en µmole/L) des étés (juin à août) 2012 à 2017 au Bolmon (station BOL2).

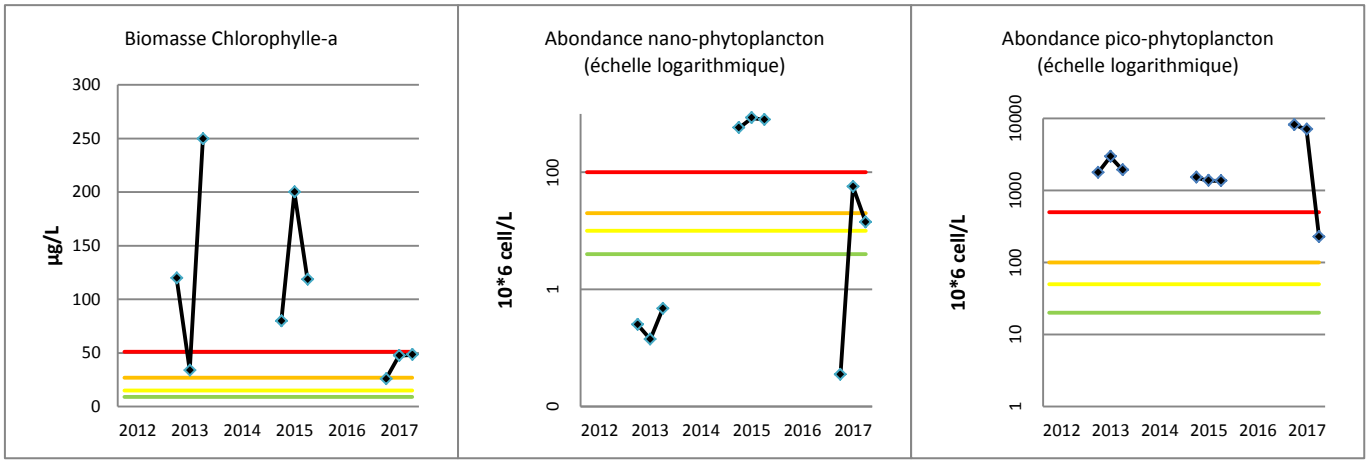


Figure G.3. Concentration de chlorophylle-*a* (µg/L), abondances de pico-phytoplancton et de nano-phytoplancton (million de cellules/L) des étés (juin à août) 2012 à 2017 au Bolmon (station BOL2).

Bibliographie

Andral B., Orsoni V. 2007. Directive Cadre Eau - Mise en œuvre du Contrôle de surveillance - Résultats de la campagne 2006 - District Corse. 89p+ annexes.

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. 110p+ annexes.

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

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

Anthony K.R.N., Ridd P.V., Orpin A.R., Larcombe P., Lough J., 2004. Temporal variation of light availability in coastal benthic habitats: Effects of clouds, turbidity, and tides. Limnology and Oceanography 49:2201–2211.

Charpentier A., Grillas P., Lescuyer F., Coulet E. & Auby I., 2005. Spatio-temporal dynamics of a Zostera noltii community over a period a fluctuating salinity in a shallow coastal lagoon, southern France. Estuarine, Coastal & Shelf Sciences 64: 307-315.

Derolez V., Oheix J., Ouisse V., Munaron D., Fiandrino A., Messiaen G., Hubert-Renaud C., Lamoureux A., Malet N., Fortuné M., Berard L., Mortreux S., Guillou J.L. 2015. Suivi estival des lagunes méditerranéennes françaises. Bilan des résultats 2014. IFREMER. 86p., https://archimer.ifremer.fr/doc/00273/38461/.

Derolez V., Gimard A., Munaron D., Ouisse V., Messiaen G., Fortune M., Poirrier S., Mortreux S., Guillou J.-L., Brun M., Provost C., Hatey E., Bec B., Malet N., Fiandrino A. 2017.

Devlin M.J., Barry J., Mills D.K., Gowen R.J., Foden J., Sivyer D., Tett P., 2008. Relationships between suspended particulate material, light attenuation and Secchi depth in UK marine waters. Estuarine, Coastal and Shelf Science 79 : 429–439.

Dutartre, A. & Bertrin, V., 2009. Méthodologie d'étude des macrophytes en plans d'eau. Mise en oeuvre de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau. Cemagref, Unité de Recherche Réseaux, Epuration et Qualité des Eaux. Version 3.2, 28 p.

Elliott M., Quintino V., 2007. The Estuarine Quality Paradox, Environmental Homeostasis and the difficulty of detecting anthropogenic stress in naturally stressed areas. Mar. Pollut. Bull. 54 : 640-645.

Grillas P. & David T., 2010. Etude pilote pour une évaluation de l'état des macrophytes des lagunes méditerranéennes oligo et mésohalines. Partenariat Onema/Ifremer. 62 p.

Grillas P. & Derolez V., 2012. Propositions d'indicateurs pour l'évaluation de l'élément de qualité macrophytes pour les lagunes oligohalines dans le cadre de la DCE. Partenariat Onema/Ifremer. 22 p.

Grillas P., Derolez V., Bec B., Ximenès M.C. & Giraud A., 2016. Adaptation des grilles DCE de qualité nutriments et phytoplancton (abondance et biomasse) pour les lagunes oligo et mésoalines - Rapport d'étape. http://archimer.ifremer.fr/doc/00357/46818/.

Grillas P., Sanchez A., Derolez V., Bec B., Ximenès M.C. & Giraud A., 2017. Adaptation des grilles DCE de qualité nutriments, du phytoplancton (abondance et biomasse) et des macrophytes pour les lagunes oligo et mésohalines. 62p.

James, W.F., Barko, J.W., Butler, M.G., 2004. Shear stress and sediment resuspension in relation to submersed macrophyte biomass. Hydrobiologia 515:181–191. doi:10.1023/B:HYDR.0000027329.67391.c6.

Kirk J.T.O., 1994. Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems. [place unknown]: Cambridge University Press.

Le Fur I., De Wit R., Plus M., Oheix J., Simier M., Ouisse V., 2017. Submerged benthic macrophytes in Mediterranean lagoons: distribution patterns in relation to water chemistry and depth. Hydrobiologia 808 : 175-200.

Muslim I., Jones G., 2003. The seasonal variation of dissolved nutrients, chlorophyll a and suspended sediments at Nelly Bay, Magnetic Island. Estuarine, Coastal and Shelf Science 57:445–455.

OBSLAG 2016 - volet eutrophisation. Etat DCE des lagunes méditerranéennes (eau et phytoplancton, période 2011-2016). Développement d'indicateurs de tendance et de variabilité [Internet]. https://archimer.ifremer.fr/doc/00386/49744/

Provost C., Gevrey M., Argillier C., 2012. La macrofaune benthique indicatrice de l'état des lagunes oligohalines méditerranéennes ? Partenariat Onema/Irstea. 37 p.

Sanchez A. et Grillas P., 2014. Mise au point d'un indicateur DCE compatible pour les lagunes oligo et mésohalines. Rapport final. 80p.

Sand-Jensen, K. & J. Borum, 1991. Interactions among phytoplankton, periphyton, and macrophytes in temperate freshwaters and estuaries. Aquatic Botany 41: 137–175.

Sargian P., Andral B., Derolez V., 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.

Thill A., Moustier S., Garnier J.M., Estournel C., Naudin J.J., Bottero J.Y., 2001. Evolution of particle size and concentration in the Rhône river mixing zone: influence of sal flocculation. Continental Shelf Research 21: 2127-2140.

Van Duin E.H.S., Blom G., Los F.J., Maffione R., Zimmerman R., Cerco C.F., Dortch M., Best E.P.H., 2001. Modeling underwater light climate in relation to sedimentation, resuspension, water quality and autotrophic growth. Hydrobiologia 444: 25–42.

Liste des figures

Figure 1. Schéma d'évaluation de l'état des masses d'eau au titre de la Directive Cadre sur l'Eau (Derolez *et al*., 2015) 4
Figure 2. Localisation des lagunes oligo-mésohalines de la façade méditerranéenne (Grillas et al. 2017) 6
Figure 3 : Relation entre l'abondance en macrophytes caractéristiques des lagunes oligo- et mésohalines et la MES minérale (mg/l). 19
Figure 4 : Relation entre l'abondance en macrophytes caractéristiques des lagunes oligo- et mésohalines et la MES organique (mg/l). 20
Figure 5 : Résultats des tests de Student, (0 : absence de macrophytes indicateurs d'eutrophisation, n = 48 stations ; 1 : présence de macrophytes indicateurs d'eutrophisation, n = 56 stations). 21
Figure 6 : Effet des MES minérales (mg/l) et de la profondeur (cm) sur l'abondance des macrophytes caractéristiques des lagunes oligo- et mésohalines (GLM). Pour chaque graphe, le modèle a calculé, pour une concentration théorique des MES (précisée au-dessus du graphe correspondant). 22
Figure 7 : Effet de l'azote total (µmol/l) sur l'abondance des macrophytes indicateurs d'eutrophisation dans les lagunes oligo- et mésohalines (GLM) 24
Figure 8 : Effet de la salinité et de la profondeur (cm) sur l'abondance des macrophytes indicateurs d'eutrophisation dans les lagunes oligo- et mésohalines (GLM). Pour chaque graphe, le modèle a calculé, pour une profondeur théorique (indiquée au-dessus du graphe correspondant), la relation entre l'abondance des macrophytes et la salinité 25
Figure 9 : Représentation en boites à moustaches de la relation entre les MES minérales (mg/l) et l'abondance en macrophytes caractéristiques des lagunes oligo- et mésohalines (MES minérales regroupés en 15 classes de concentration) 26
Figure 10 : Moyenne des MES minérales par station et par lagune 26

Liste des tableaux

Tableau 1 : Lagunes et stations échantillonnés en 2017 7
Tableau 2 : Grilles de diagnostic de l'état physico-chimique des masses d'eau ; a) grille DCE pour les masses d'eau lagunaires ; b) grille proposée pour les lagunes oligo- et mésohalines..... 10
Tableau 3 : Grilles de diagnostic de l'état du phytoplancton ; (a) grilles DCE pour les masses d'eau lagunaires ; (b) grilles proposées pour les lagunes oligo- et mésohalines. 11
Tableau 4 : Nombre de points et date des inventaires macrophytes par lagunes (2017)..... 12
Tableau 5. Méthode d'évaluation de l'abondance relative des espèces récoltées au râteau 13
Tableau 6 : Groupes d'espèces selon leur valeur indicatrice. 14
Tableau 7. Indicateur macrophytes (Grillas *et al.* 2018) Résidus TUR : Turbidité non trophique; RV (G1+G2+G3) = = recouvrement des espèces des groupes 1 à 3 ; RV (G4+G5) = recouvrement des espèces des groupes 4 à 5, indicatrices d'eutrophisation..... 16
Tableau 8. Précipitations pendant la période d'étude ; a) précipitations mensuelles pendant le cycle hydrologique Septembre 2016 – Août 2017 et b) précipitations annuelles pendant le plan de gestion (cycles 2008 - 2009 à 2016 – 2017). 17
Tableau 9. Table de corrélation entre les variables liées à la turbidité de l'eau et l'abondance des macrophytes. Les corrélations significatives (* = p>0.05 ; ** = p> 0.005 ; *** = p>0.001) sont notées en rouge, les valeurs supérieures à r=0.5 sont notés en gras et les valeurs manquantes ont été ignorées..... 18
Tableau 10. Moyennes et écart type des concentrations de MES minérales et organiques et de l'abondance des macrophytes indicatrices d'eutrophisation et corrélations de ces variables entre-elles. Aucune corrélations n'est ici significative (p>0.05) et les valeurs manquantes ont été ignorées..... 21
Tableau 11. Résultat de la modélisation de l'abondance des macrophytes caractéristiques des lagunes oligo- et mésohalines (GLM : R^2 = 0,56 ; déviance résiduelle = 19.95 sur 100 degrés de liberté). 22
Tableau 12. Résultat de la modélisation de l'abondance des macrophytes indicateurs d'eutrophisation dans les lagunes oligo- et mésohalines (GLM : R^2 = 0,63 ; déviance résiduelle = 16.03 sur 100 degrés de liberté). 23
Tableau 13. Nouvelle métrique proposé, intégrant les MES minérales. RV (G1+G2+G3) = recouvrement des espèces des groupes 1 à 3 ; RV (G4+G5) = recouvrement des espèces des groupes 4 à 5, indicatrices d'eutrophisation..... 27
Tableau 14. Détail de l'état des lagunes par station pour les macrophytes en 2017 (les valeurs en gras correspondent aux valeurs permettant la notation des lagunes et masses d'eau). RV (G1+G2+G3) = recouvrement des espèces des groupes 1 à 3 ; RV (G4+G5) = recouvrement des espèces des groupes 4 à 5. NA : non applicable. 28
Tableau 15. Comparaison de l'évolution du recouvrement en macrophytes (RV (G1+G2+G3) = recouvrement des espèces des groupes 1 à 3 ; RV (G4+G5) = recouvrement des espèces des groupes 4 à 5) et des variables profondeur (cm), salinité, MES (mg/l ; matières en suspension totales), Chl a (µg/l) et Azote total (µmol/l) entre 2013 et 2017. Les valeurs sont les écarts bruts entre les valeurs de 2017 et de 2013, accompagné du pourcentage de variation correspondant. Les stations sont classées par ordre décroissant de la variation du recouvrement total des macrophytes des groupes 1, 2 et 3 (colonne Variation RV G1+2+3). 31

Campagne de surveillance 2017 des lagunes méditerranéennes oligo-et mésohalines françaises dans le cadre de la DCE

ANNEXES

Annexe 1. Résultats des évaluations des lagunes en utilisant toutes les stations de mesure (point DCE et points supplémentaires)

Campignol

Tableau 1a . Colonne d'eau : état physico-chimique DCE pour la période 2012-2017pour Campignol soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille « Lagunes oligo et mésohalines » (N=15).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**P90 et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**P90 et état**	**[IC]**
NID	43,17	[33,98 ; 53,58]	*NID*	*43,17*	*[33,98 ; 53,58]*
PO_4^{3-}	1,24	[1,13 ; 1,29]	*PO_4^{3-}*	*1,24*	*[1,13 ; 1,29]*
NT	82,47	[68,39 ; 100,16]	NT	82,47	*[68,39 ; 100,16]*
PT	4,09	[3,45 ; 4,41]	PT	4,09	*[3,45 ; 4,41]*
Etat physico-chimique			**Etat physico-chimique**		

Tableau 1b. Phytoplancton : état DCE 2015 pour Campignol soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille « Lagunes oligo et mésohalines » (N=15).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**EQR et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**EQR et état**	**[IC]**
Biomasse	0,25	[0,21 ; 0,29]	Biomasse	0,45	[0,09 ; 0,84]
Abondance	0,34	[0,21 ; 0,39]	*Abondance*	*0,34*	*[0,21 ; 0,39]*
Phytoplancton	0,30	[0,13 ; 0,41]	**Phytoplancton**	0,40	[[0,15 ; 0,60]

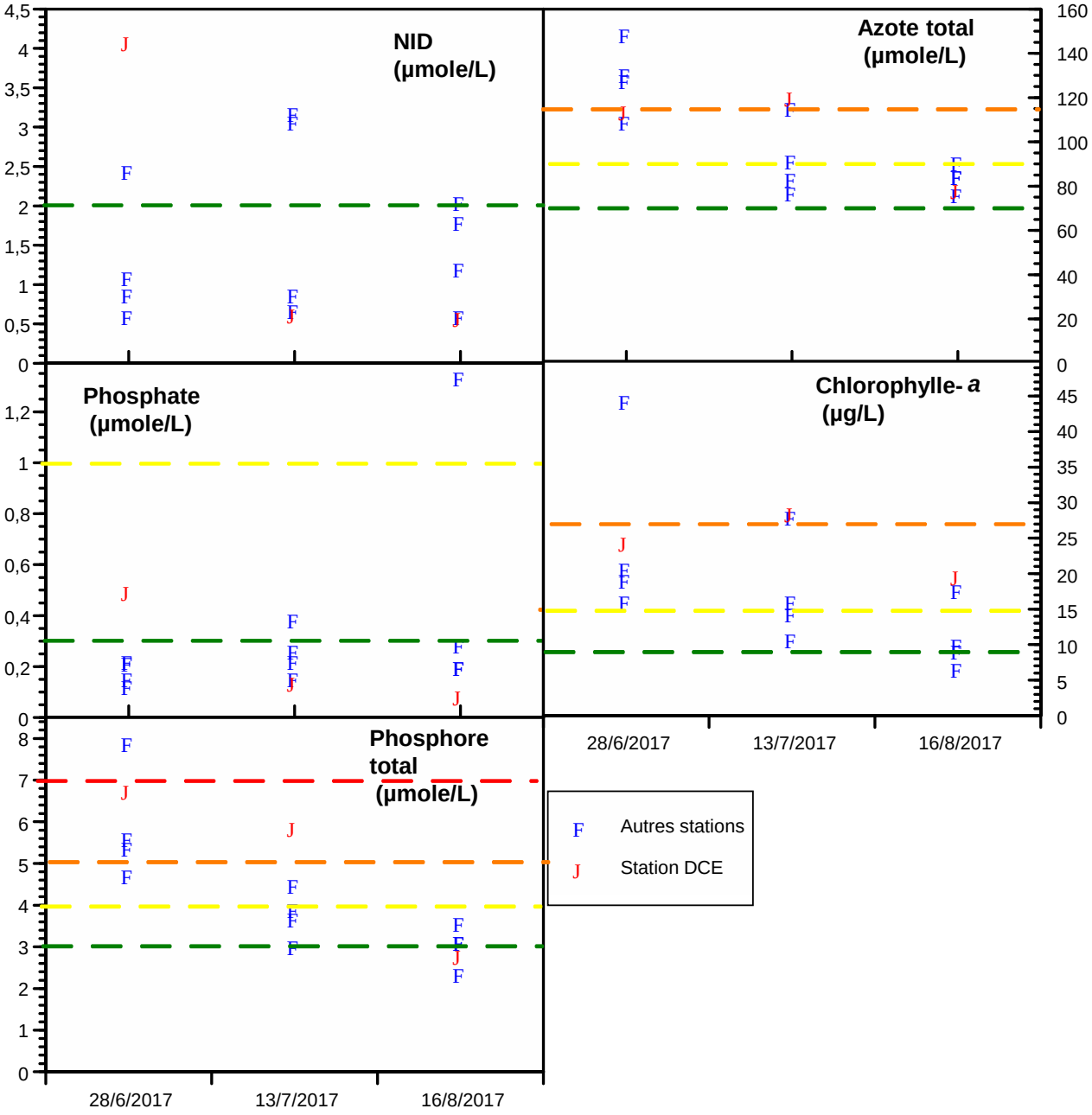


Figure 11. Données brutes relevées au cours de l'année 2017 pour l'ensemble des stations de Campignol.

Vendres

Tableau 2a. Colonne d'eau : état physico-chimique DCE pour la période 2012-2017pour Vendres soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille « Lagunes oligo et mésohalines » (N=13).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**P90 et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**P90 et état**	**[IC]**
NID	2,69	[1,34 ; 3,25]	*NID*	*2,69*	*[1,34 ; 3,25]*
PO_4^{3-}	1,50	[0,20 ; 1,68]	*PO_4^{3-}*	*1,50*	*[0,20 ; 1,68]*
NT	334,68	[256,57 ; 342,83]	NT	334,68	[256,57 ; 342,83]
PT	14,70	[11,48 ; 14,81]	PT	14,70	[11,48 ; 14,81]
Etat physico-chimique			**Etat physico-chimique**		

Tableau 2b. Phytoplancton : état DCE pour la période 2012-2017pour Vendres soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille « Lagunes oligo et mésohalines » (N=13).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**EQR et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**EQR et état**	**[IC]**
Biomasse	0,06		Biomasse	0,10	
Abondance	0,002		*Abondance*	*0,002*	
Phytoplancton	0,03		**Phytoplancton**	0,05	

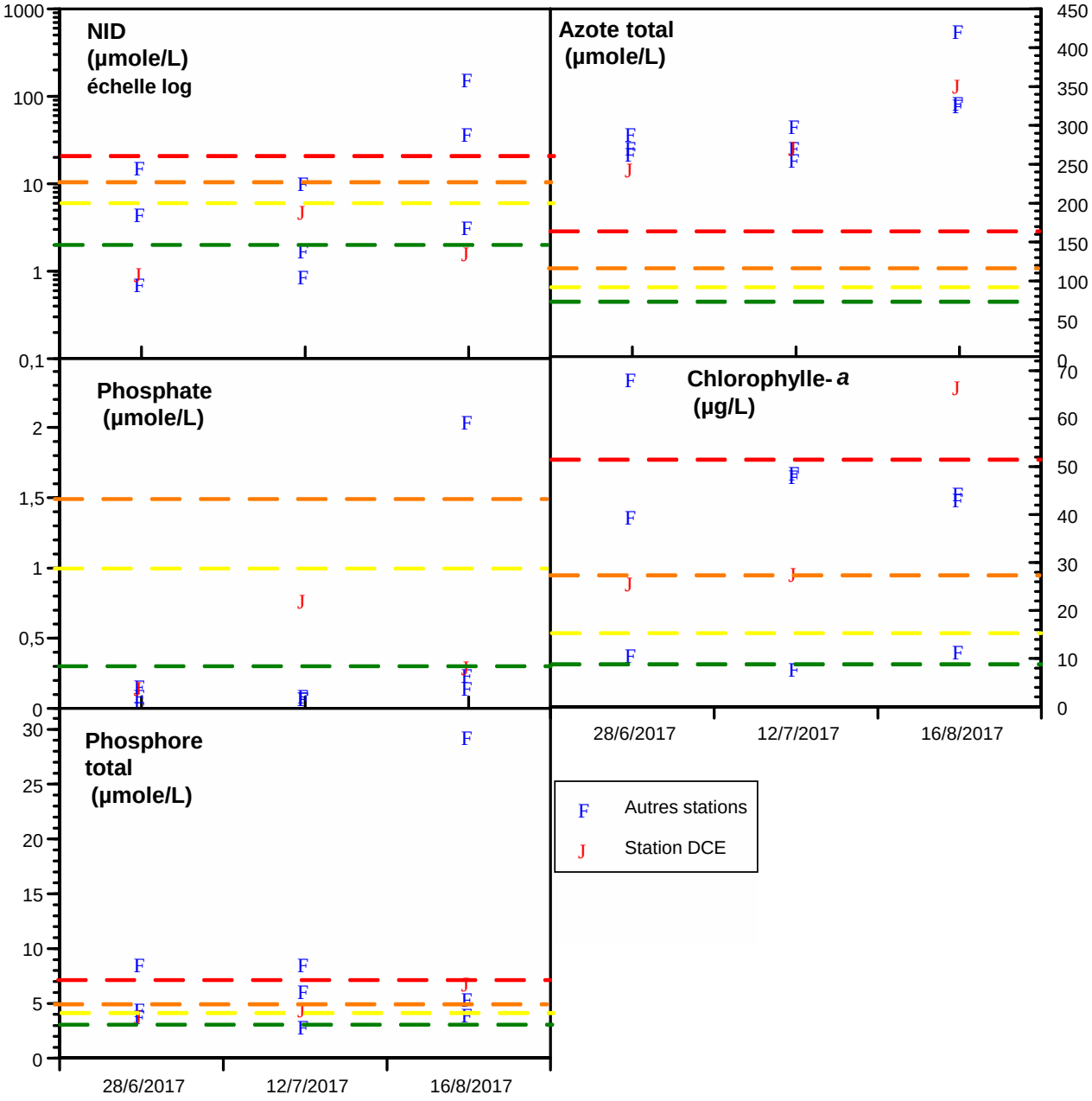


Figure 12. Données brutes relevées au cours de l'année 2017 pour l'ensemble des stations de Vendres.

Bagnas

Tableau 3a. Colonne d'eau : état physico-chimique DCE pour la période 2012-2017pour le Bagnas soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille « Lagunes oligo et mésohalines » (N=9).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**P90 et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**P90 et état**	**[IC]**
NID	1,79	[0,91 ; 1,86]	*NID*	*1,79*	*[0,91 ; 1,86]*
PO_4^{3-}	1,16	[0,41 ; 1,20]	*PO_4^{3-}*	*1,16*	*[0,41 ; 1,20]*
NT	132,49	[106,25 ; 143,90]	NT	132,49	[106,25 ; 143,90]
PT	3,77	[3,04 ; 3,83]	PT	3,77	[3,04 ; 3,83]
Etat physico-chimique			**Etat physico-chimique**		

Tableau 3b. Phytoplancton : état DCE pour la période 2012-2017pour le Bagnas soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille « Lagunes oligo et mésohalines » (N=9).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**EQR et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**EQR et état**	**[IC]**
Biomasse	0,12	[0,12 ; 0,21]	Biomasse	0,22	[0,22 ; 0,38]
Abondance	0,01	[0,01 ; 0,05]	*Abondance*	*0,01*	*[0,01 ; 0,05]*
Phytoplancton	0,07	[0,07 ; 0,13]	**Phytoplancton**	0,12	[0,12 ; 0,21]

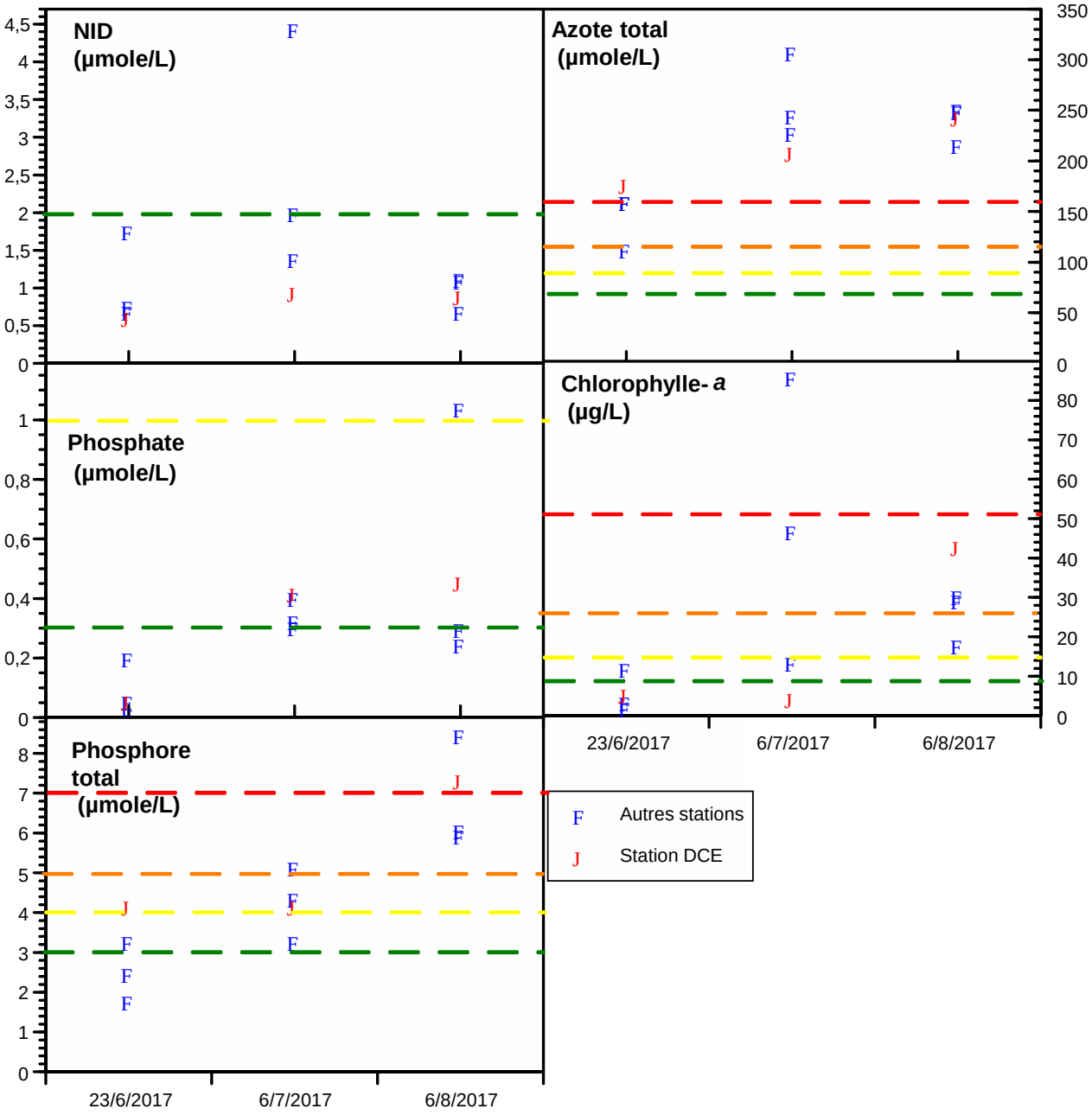


Figure 13. Données brutes relevées au cours de l'année 2017 pour l'ensemble des stations de Bagnas.

Marette

Marette sud

Tableau 4a. Colonne d'eau état physico-chimique DCE pour la période 2012-2017pour la Marette Sud soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille « Lagunes oligo et mésohalines » (N=15).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**P90 et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**P90 et état**	**[IC]**
NID	11,90	[11,39 ; 17,46]	*NID*	*11,90*	*[11,39 ; 17,46]*
PO_4^{3-}	0,28	[0,17 ; 0,34]	*PO_4^{3-}*	*0,28*	*[0,17 ; 0,34]*
NT	79,58	[72,58 ; 87,60]	NT	79,58	[72,58 ; 87,60]
PT	2,28	[1,96 ; 3,03]	PT	2,28	[1,96 ; 3,03]
Etat physico-chimique			**Etat physico-chimique**		

Tableau 4b. Phytoplancton : état DCE pour la période 2012-2017pour la Marette Sud soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille « Lagunes oligo et mésohalines » (N=15).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**EQR et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**EQR et état**	**[IC]**
Biomasse	0,20	[0,16 ; 0,40]	Biomasse	0,36	[0,29 ; 0,73]
Abondance	0,06	[0,03 ; 0,10]	*Abondance*	*0,06*	*[0,03 ; 0,10]*
Phytoplancton	0,13	[12 ; 0,24]	**Phytoplancton**	0,21	[0,18 ; 0,40]

Marette nord

Tableau 4e. Colonne d'eau état physico-chimique DCE pour la période 2012-2017pour la Marette Nord soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille « Lagunes oligo et mésohalines » (N=15).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**P90 et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**P90 et état**	**[IC]**
NID	12,48	[9,90 ; 18,72]	*NID*	*12,48*	*[9,90 ; 18,72]*
PO_4^{3-}	0,19	[0,13 ; 0,30]	*PO_4^{3-}*	*0,19*	*[0,13 ; 0,30]*
NT	84,77	[72 ; 89,12]	NT	84,77	[72 ; 89,12]
PT	2,02	[1,80 ; 2,31]	PT	2,02	[1,80 ; 2,31]
Etat physico-chimique			**Etat physico-chimique**		

Tableau 4f. Phytoplancton : état DCE pour la période 2012-2017pour la Marette Nord soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille « Lagunes oligo et mésohalines » (N=15).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**EQR et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**EQR et état**	**[IC]**
Biomasse	0,42	[0,38 ; 0,54]	Biomasse	0,75	[0,69 ; 1,01]
Abondance	0,06	[0,05 ; 0,09]	*Abondance*	*0,06*	*[0,05 ; 0,09]*
Phytoplancton	0,24	[0,22 ; 0,31]	**Phytoplancton**	0,41	[0,37; 0,52]

Marette (global)

Tableau 4c. Colonne d'eau état physico-chimique DCE pour la période 2012-2017pour la masse d'eau Marette soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille « Lagunes oligo et mésohalines » (N=30).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**P90 et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**P90 et état**	**[IC]**
NID	11,41	[10,26 ; 13,36]	*NID*	*11,41*	*[10,26 ; 13,36]*
PO_4^{3-}	0,23	[0,15 ; 0,31]	*PO_4^{3-}*	*0,23*	*[0,15 ; 0,31]*
NT	80,94	[73,44 ; 87,75]	NT	80,94	[73,44 ; 87,75]
PT	2,27	[1,94 ; 2,24]	PT	2,27	[1,94 ; 2,24]
Etat physico-chimique			**Etat physico-chimique**		

Tableau 4d. Phytoplancton : état DCE pour la période 2012-2017pour la masse d'eau Marette soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille « Lagunes oligo et mésohalines » (N=30).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**EQR et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**EQR et état**	**[IC]**
Biomasse	0,25	[0,16 ; 0,40]	Biomasse	0,44	[0,29 ; 0,73]
Abondance	0,06	[0,05 ; 0,06]	*Abondance*	*0,06*	*[0,05 ; 0,06]*
Phytoplancton	0,15	[0,10 ; 0,23]	**Phytoplancton**	0,25	[0,15 ; 0,31]

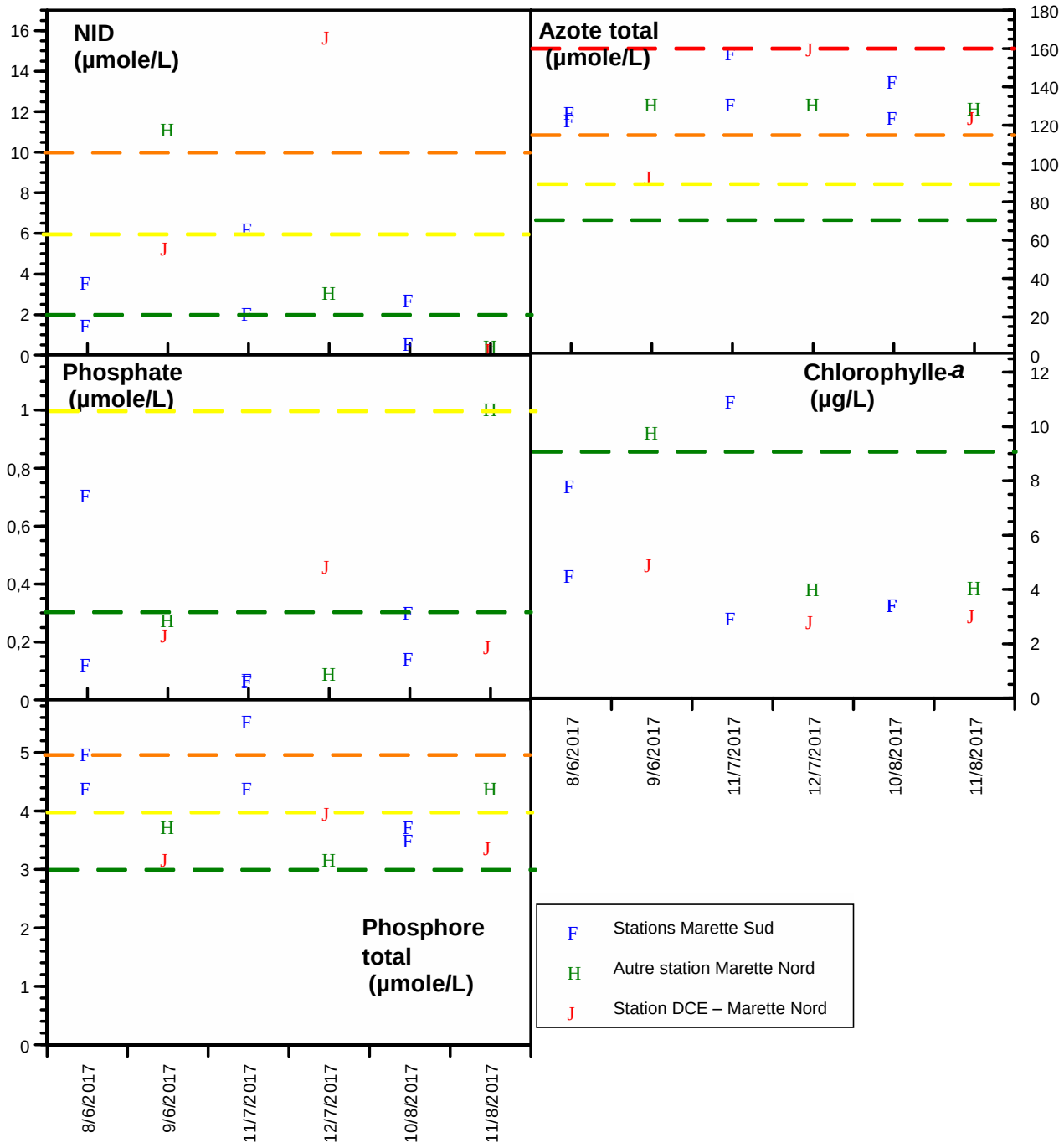


Figure 14. Données brutes relevées au cours de l'année 2017 pour l'ensemble des stations de la Marette.

Charnier – Crey - Scamandre

Charnier

Tableau 5a. Colonne d'eau état physico-chimique DCE pour la période 2012-2017pour le Charnier soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille « Lagunes oligo et mésohalines » (N=5).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**P90 et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**P90 et état**	**[IC]**
NID	10,08	[1,4 ; 11,17]	*NID*	*10,08*	*[1,4 ; 11,17]*
PO_4^{3-}	1,07	[0,37 ; 1,27]	*PO_4^{3-}*	*1,07*	*[0,37 ; 1,27]*
NT	171,01	[134,76 ; 181,49]	NT	171,01	[134,76 ; 181,49]
PT	5,18	[3,09 ; 5,89]	PT	5,18	[3,09 ; 5,89]
Etat physico-chimique			**Etat physico-chimique**		

Tableau 5b. Phytoplancton : état DCE pour la période 2012-2017pour le Charnier soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille « Lagunes oligo et mésohalines » (N=5).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**EQR et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**EQR et état**	**[IC]**
Biomasse	0,04	[0,04 ; 0,05]	Biomasse	0,08	[0,07 ; 0,08]
Abondance	0,01	[0,01 ; 0,04]	*Abondance*	*0,01*	*[0,01 ; 0,04]*
Phytoplancton	0,03	[0,02 ; 0,03]	**Phytoplancton**	0,04	[0,04 ; 0,06]

Crey

Tableau 5c. Colonne d'eau état physico-chimique DCE pour la période 2012-2017pour le Crey soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille « Lagunes oligo et mésohalines » (N=6)

Grille « Lagunes »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**P90 et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**P90 et état**	**[IC]**
NID	2,36	[1,33 ; 3,4]	*NID*	*2,36*	*[1,33 ; 3,4]*
PO_4^{3-}	0,31	[0,18 ; 0,32]	*PO_4^{3-}*	*0,31*	*[0,18 ; 0,32]*
NT	154,41	[137,09 ; 160,34]	NT	154,41	[137,09 ; 160,34]
PT	3,14	[2,65 ; 3,23]	PT	3,14	[2,65 ; 3,23]
Etat physico-chimique			**Etat physico-chimique**		

Tableau 5d. Phytoplancton : état DCE pour la période 2012-2017pour le Crey soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille « Lagunes oligo et mésohalines » (N=6).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**EQR et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**EQR et état**	**[IC]**
Biomasse	0,03	[0,02 ; 0,03]	Biomasse	0,05	[0,05 ; 0,06]
Abondance	0,01	[0,01 ; 0,02]	*Abondance*	*0,01*	*[0,01 ; 0,02]*
Phytoplancton	0,02	[0,02 ; 0,03]	**Phytoplancton**	0,03	[0,03 ; 0,04]

Scamandre

Tableau 5e. Colonne d'eau état physico-chimique DCE pour la période 2012-2017pour le Scamandre soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille « Lagunes oligo et mésohalines » (N=6).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**P90 et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**P90 et état**	**[IC]**
NID	7,44	[3,27 ; 9,37]	*NID*	*7,44*	*[3,27 ; 9,37]*
PO_4^{3-}	0,25	[0,16 ; 0,3]	*PO_4^{3-}*	*0,25*	*[0,16 ; 0,3]*
NT	144,84	[128,23 ; 146,16]	NT	144,84	[128,23 ; 146,16]
PT	3,26	[2,69 ; 3,4]	PT	3,26	[2,69 ; 3,4]
Etat physico-chimique			**Etat physico-chimique**		

Tableau 5f. Phytoplancton : état DCE pour la période 2012-2017pour le Scamandre soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille « Lagunes oligo et mésohalines » (N=6).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**EQR et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**EQR et état**	**[IC]**
Biomasse	0,05	[0,05 ; 0,06]	Biomasse	0,08	[0,08 ; 0,1]
Abondance	0,01	[0,009 ; 0,01]	*Abondance*	*0,01*	*[0,009 ; 0,01]*
Phytoplancton	0,03	[0,02 ; 0,03]	**Phytoplancton**	0,05	[0,04 ; 0,05]

Charnier – Crey – Scamandre (global)

Tableau 5g. Colonne d'eau état physico-chimique DCE pour la période 2012-2017pour la masse d'eau Petite Camargue Charnier – Crey - Scamandre soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille « Lagunes oligo et mésohalines » (N=17).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**P90 et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**P90 et état**	**[IC]**
NID	6,52	[2,20 ; 11,17]	*NID*	*6,52*	*[2,20 ; 11,17]*
PO_4^{3-}	0,56	[0,30 ; 1,27]	*PO_4^{3-}*	*0,56*	*[0,30 ; 1,27]*
NT	148,49	[143,52 ; 181,49]	NT	148,49	[143,52 ; 181,49]
PT	3,78	[3,12 ; 5,89]	PT	3,78	[3,12 ; 5,89]
Etat physico-chimique			**Etat physico-chimique**		

Tableau 5h. Phytoplancton : état DCE pour la période 2012-2017pour la masse d'eau Petite Camargue Charnier – Crey - Scamandre soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille « Lagunes oligo et mésohalines » (N=17).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**EQR et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**EQR et état**	**[IC]**
Biomasse	0,04	[0,02 ; 0,04]	Biomasse	0,07	[0,04 ; 0,07]
Abondance	0,01	[0,006 ; 0,01]	*Abondance*	*0,01*	*[0,006 ; 0,01]*
Phytoplancton	0,03	[0,02 ; 0,03]	**Phytoplancton**	0,04	[0,03 ; 0,04]

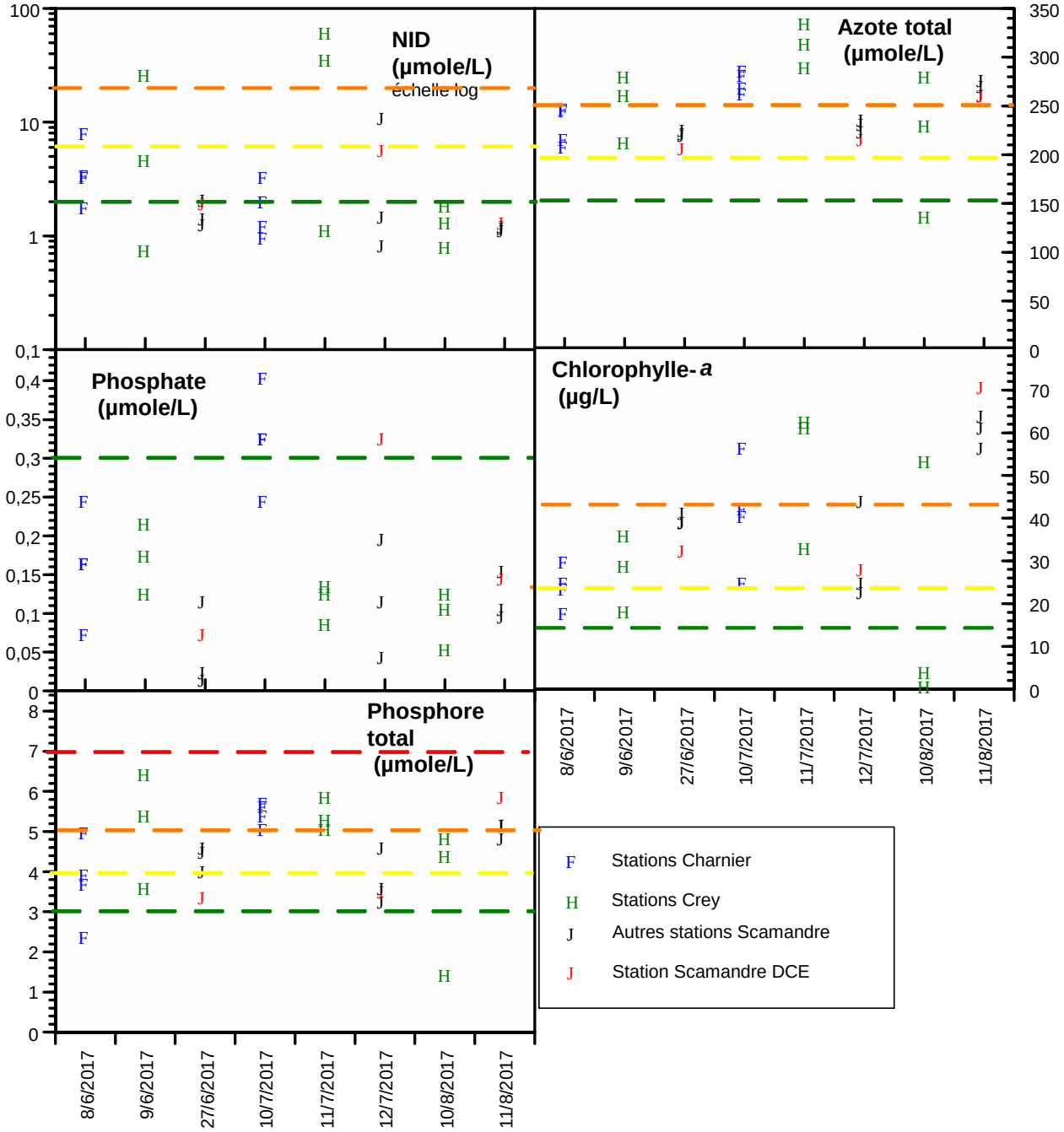


Figure 15. Données brutes relevées au cours de l'année 2017 pour l'ensemble des stations de l'ensemble Charnier-Crey-Scamandre.

La Palissade (La Grand Palun)

Tableau 6a. Colonne d'eau état physico-chimique DCE pour la période 2012-2017pour la Palissade soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille « Lagunes oligo et mésohalines » (N=9).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**P90 et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**P90 et état**	**[IC]**
NID	13,52	[10,40 ; 19,36]	*NID*	*13,52*	*[10,40 ; 19,36]*
PO_4^{3-}	0,16	[0,12 ; 0,17]	*PO_4^{3-}*	*0,16*	*[0,12 ; 0,17]*
NT	43,53	[33,18 ; 53,39]	NT	43,53	[33,18 ; 53,39]
PT	2,38	[1,86 ; 2,42]	PT	2,38	[1,86 ; 2,42]
Etat physico-chimique			**Etat physico-chimique**		

Tableau 6b. Phytoplancton : état DCE pour la période 2012-2017pour la Palissade soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille « Lagunes oligo et mésohalines » (N=9)

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**EQR et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**EQR et état**	**[IC]**
Biomasse	0,24	[0,21 ; 0,28]	Biomasse	0,43	[0,38 ; 0,51]
Abondance	0,11	[0,09 ; 0,17]	*Abondance*	*0,11*	*[0,09 ; 0,17]*
Phytoplancton	0,17	[0,15 ; 0,21]	**Phytoplancton**	0,27	[0,23 ; 0,32]

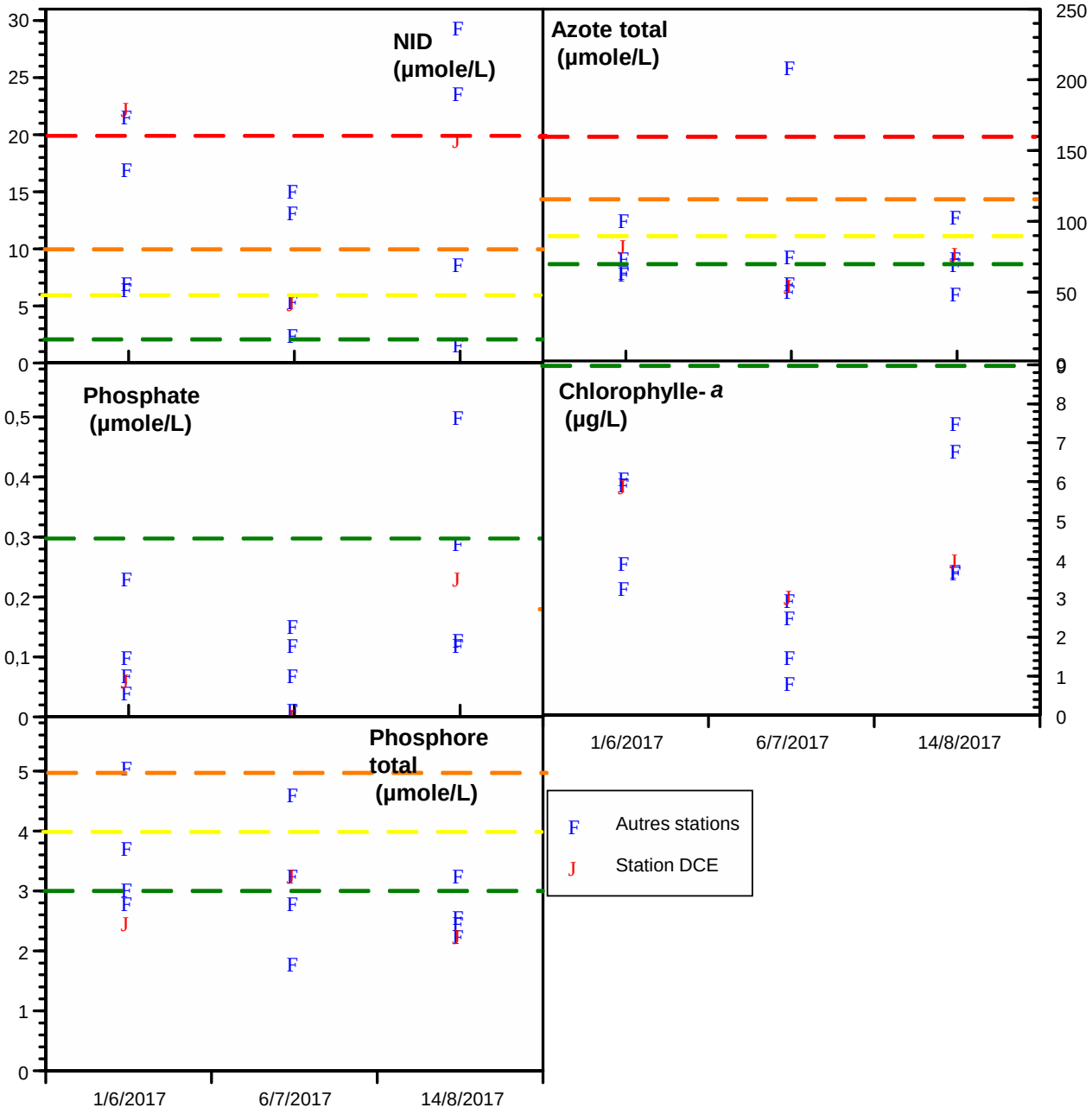


Figure 16.Données brutes relevées au cours de l'année 2017 pour l'ensemble des stations de la Grand Palun.

Bolmon

Tableau 7a. Colonne d'eau état physico-chimique DCE pour la période 2012-2017pour le Bolmon soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille « Lagunes oligo et mésohalines » (N=9).

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**P90 et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**P90 et état**	**[IC]**
NID	4,97	[1,25 ; 8,84]	*NID*	*4,97*	*[1,25 ; 8,84]*
PO_4^{3-}	1,44	[0,42 ; 5,43]	*PO_4^{3-}*	*1,44*	*[0,42 ; 5,43]*
NT	158,15	[143,81 ; 162,39]	NT	158,15	[143,81 ; 162,39]
PT	14,09	[10,80 ; 15,02]	PT	14,09	[10,80 ; 15,02]
Etat physico-chimique			**Etat physico-chimique**		

Tableau 7b. Phytoplancton : état DCE pour la période 2012-2017pour le Bolmon soumis à la grille « Lagunes poly et euhalines » et à la grille « Lagunes oligo et mésohalines » (N=9)

Grille « Lagunes poly et euhalines »			Grille « Lagunes oligo et mésohalines »		
Paramètre	**EQR et état**	**[IC]**	**Paramètre**	**EQR et état**	**[IC]**
Biomasse	0,02	[0,01 ; 0,03]	Biomasse	0,03	[0,02 ; 0,05]
Abondance	0,003	[0,003 ; 0,005]	*Abondance*	*0,003*	*[0,003 ; 0,005]*
Phytoplancton	0,01	[0,01 ; 0,02]	**Phytoplancton**	0,02	[0,01 ; 0,03]

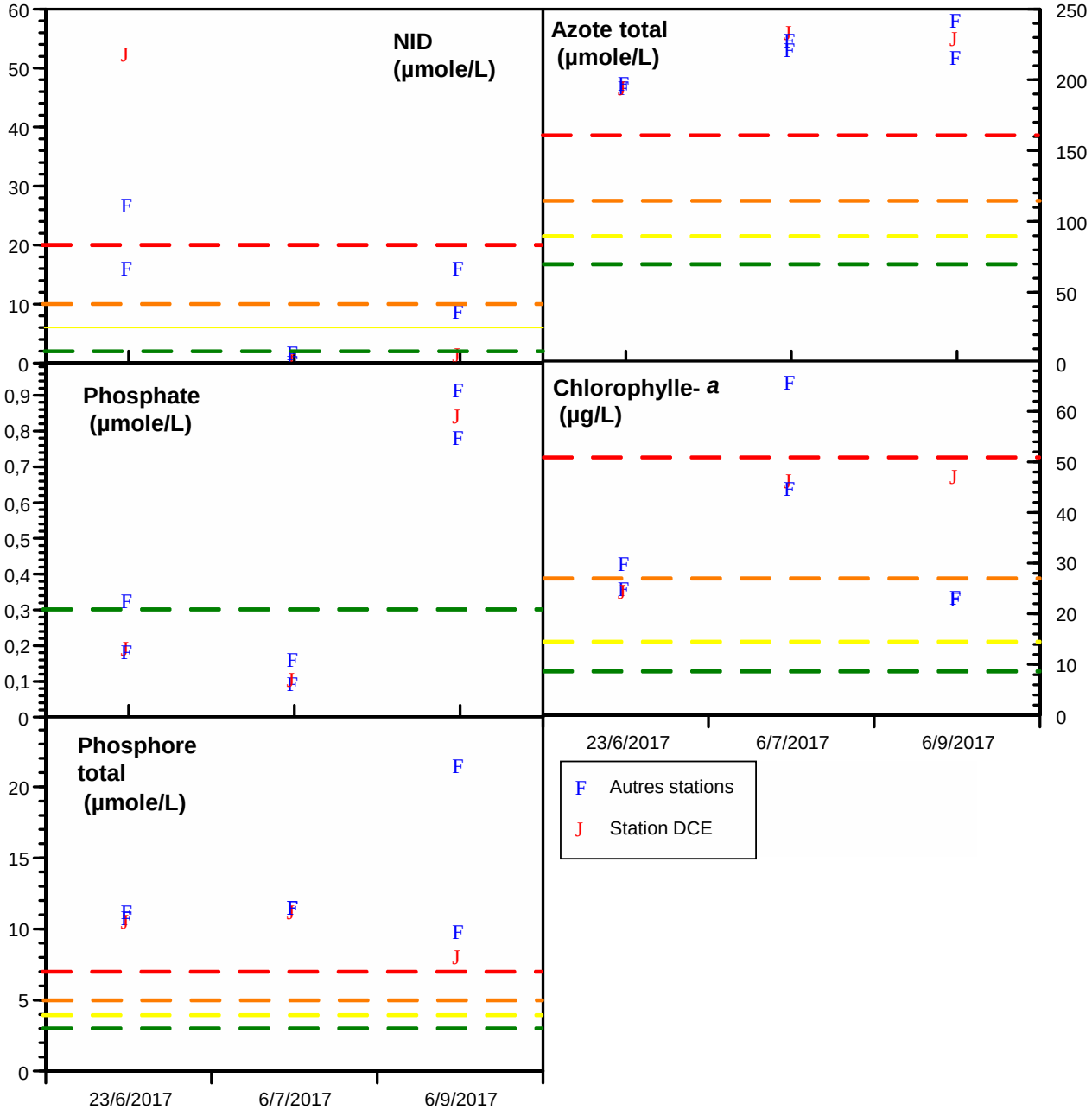


Figure 17. Données brutes relevées au cours de l'année 2017 pour l'ensemble des stations du Bolmon.