

# Evaluation croisée de la composition phytoplanctonique des eaux côtières métropolitaines par les indices ICPP et ICBC

## Rapport final

Action 2 du projet  
« Indicateur de composition phytoplanctonique »

Anne GOFFART, Université de Liège

Avril 2019

- **AUTEUR**

Anne **GOFFART**, Université de Liège, [A.Goffart@uliege.be](mailto:A.Goffart@uliege.be)

- **CONTRIBUTEUR**

Luis **LAMPERT**, IFREMER de Brest, [Luis.Lampert@ifremer.fr](mailto:Luis.Lampert@ifremer.fr)

- **CORRESPONDANT**

Agence française pour la biodiversité : Maïa **AKOPIAN**, [Maia.Akopian@afbiodiversite.fr](mailto:Maia.Akopian@afbiodiversite.fr)

**Droits d'usage** : [par ex. accès libre ou accès réservé à XXX]

**Niveau géographique** : national

**Couverture géographique** : Méditerranée, Atlantique, Manche

**Niveau de lecture** : Professionnels et experts

## Evaluation croisée de la composition phytoplanctonique des eaux côtières métropolitaines par les indices ICPP et ICBC

- **RESUME**

En Méditerranée et en Manche-Atlantique, les travaux sur l'utilisation de la signature pigmentaire du phytoplancton ont abouti à la mise au point des indices de composition ICPP Médit et ICBC, développés respectivement par Anne Goffart et Luis Lampert. Dans le cadre de cette étude, les méthodologies développées en Méditerranée et en Manche-Atlantique ont été croisées. Elles ont été appliquées aux nouveaux jeux de données (nutriments et pigments) acquis en 2016 et 2017 dans les eaux côtières des trois façades métropolitaines. Les résultats obtenus montrent qu'il n'y a pas un indice de composition « universel » applicable partout, mais que les spécificités régionales doivent être prises en compte pour l'évaluation de la qualité de la composition phytoplanctonique.

La méthodologie développée en Méditerranée a été transposée aux eaux côtières atlantiques en intégrant les caractéristiques des communautés phytoplanctoniques qui y sont présentes. L'indice ICPP Atlantique est un indice multimétrique qui intègre les cinq groupes phytoplanctoniques qui répondent le mieux aux pressions (diatomées, dinoflagellés, cryptophycées, prasinophycées, chlorophycées). Une très bonne corrélation ( $R^2 = 0.98$ ) est obtenue entre les EQRs issus de l'application de l'ICPP Atlantique et de l'ICBC. En Atlantique, l'évaluation croisée aboutit à un classement cohérent des sites échantillonnés, mais seul l'ICPP Atlantique répond aux proxys de pression.

En Méditerranée, l'ICPP Médit et l'ICBC, exprimé en EQR, répondent aux pressions exercées par les nutriments. Les résultats de l'évaluation de la qualité de la composition phytoplanctonique par les deux indices sont fortement corrélés ( $R^2 = 0.93$ ). Cependant, dans 2 cas sur 15, l'application de l'ICPP Médit ou de l'ICBC induit des différences importantes dans le classement final des points, qui, sur base des grilles de qualité actuelles, sortent ou non du bon état écologique. Sur base de notre expertise en Méditerranée, le classement résultant de l'application de l'ICPP Médit nous paraît mieux caractériser la réalité du terrain.

En Manche, où les masses d'eau sont régulièrement soumises à des blooms de *Phaeocystis*, un seul pigment (l'alloxanthine) répond positivement aux proxys de pressions. Il en résulte que la méthodologie développée en Méditerranée n'est pas applicable.

En Méditerranée comme en Atlantique, et au-delà de la caractérisation de la qualité de la composition phytoplanctonique, l'ICPP fournit des informations sur la saisonnalité des perturbations. En cela, il peut apporter des informations complémentaires utiles aux gestionnaires de l'environnement côtier.

- **MOTS CLES (THEMATIQUE ET GEOGRAPHIQUE)**

Phytoplancton, pigments, nutriments, pressions, indice de composition phytoplanctonique, DCE, ICPP, ICBC, Méditerranée, Atlantique, Manche.

## Evaluation croisée de la composition phytoplanctonique des eaux côtières métropolitaines par les indices ICPP et ICBC

### SYNTHESE POUR L'ACTION OPERATIONNELLE

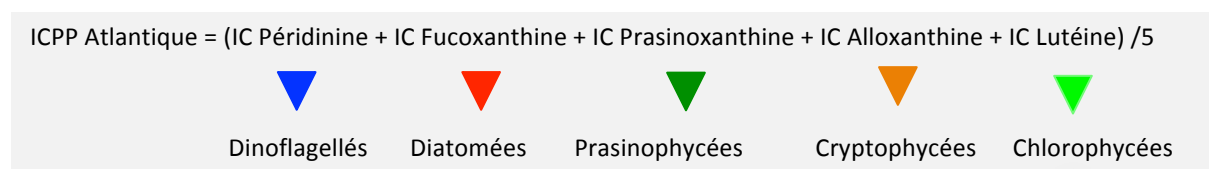
En Méditerranée, les travaux sur l'utilisation de la signature pigmentaire du phytoplancton ont abouti à la mise au point du nouvel indice de composition ICPP Médit, basé sur l'analyse des relations pressions / pigments (Goffart 2019). En Manche-Atlantique, Lampert & Hernandez-Fariñas (2018) ont développé l'ICBC.

Dans le cadre de cette étude, les méthodologies développées en Méditerranée et en Manche-Atlantique ont été croisées et appliquées aux nouveaux jeux de données (nutriments et pigments) acquis en 2016 et 2017 dans les eaux côtières des trois façades métropolitaines. Les résultats obtenus montrent qu'il n'y a pas un indice de composition « universel » applicable partout, mais que les spécificités régionales doivent être prises en compte pour l'évaluation de la qualité de la composition phytoplanctonique.

**En Atlantique**, l'indice de composition ICPP a été adapté aux caractéristiques des communautés phytoplanctoniques de la façade. Les proxys de pression disponibles (concentrations en nutriments azotés et en phosphates) ont été utilisés pour établir les relations pressions / impacts sur la biomasse phytoplanctonique totale (Tchl *a*) et sur les concentrations en pigments durant la période productive (mars à octobre), utilisée pour l'ICBC (Lampert & Hernandez-Fariñas 2018). La biomasse phytoplanctonique totale (Tchl *a*) et la Tchl *b* répondent positivement à tous les proxys de pression. Tous les caroténoïdes mesurés, à l'exception de la butanoyloxyfucoxanthine, de l'hexanoyloxyfucoxanthine et de la zéaxanthine, répondent positivement à une ou plusieurs formes d'azote dissous et aux phosphates.

Les cinq pigments qui répondent le mieux aux proxys de pression ( $\rho \geq 0.30$ ,  $p$  value < 0.0001) sont intégrés l'indice de composition ICPP Atlantique. Il s'agit de la péridinine, la fucoxanthine, la prasinoxanthine, l'alloxanthine et la lutéine. En Atlantique, ces pigments sont considérés comme les marqueurs principaux des dinoflagellés photosynthétiques, des diatomées, des prasinophycées, des cryptophycées et des chlorophycées. En conséquence, l'indice de composition ICPP Atlantique est constitué de cinq sous-indices (Figure SO.1). Chaque sous-indice est associé à un pigment diagnostique qui répond aux pressions et dont la concentration est proportionnelle à la biomasse du groupe dont il est le traceur.

Figure SO.1. Représentation schématique de l'indice de composition ICPP Atlantique.



Dans le jeu de données Atlantique, le point « Concarneau grand large », qui présente la concentration moyenne en Tchl *a* la plus basse sur la période d'étude, a été choisi comme station de référence pour la façade atlantique. La méthode de construction des courbes de référence, décrite dans Goffart 2019, a été appliquée aux données de ce point. Pour chaque pigment diagnostique retenu, une courbe de référence est construite. Cette courbe décrit l'évolution saisonnière de la limite très bon état / bon état du pigment considéré. Elle comprend 8 valeurs (1 valeur par mois de mars à octobre) obtenues en calculant le P<sub>90</sub> mensuel des concentrations et en y ajoutant une marge

de sécurité de 50%. Le cas échéant, un seuil minimum de 5 ng L<sup>-1</sup> est imposé. Idéalement, les courbes sont construites à partir de données bi-mensuelles acquises sur une période glissante de 6 ans, soit la durée d'un plan de gestion. Dans le cas du jeu de données Atlantique, deux années de mesures bi-mensuelles étaient disponibles.

Les calculs de l'indice de composition ICPP Atlantique sont réalisés selon les procédures mises au point en Méditerranée (Goffart 2019) :

1. Pour chaque pigment retenu pour l'indice de composition ICPP Atlantique, le sous-indice correspondant est calculé comme suit :
  - Comparer les concentrations en pigments mesurées dans les sites à évaluer aux valeurs de référence en respectant la temporalité (*i.e.* comparer les mesures et la valeur de référence du même mois);
  - Calculer la fréquence (%) des écarts à la référence et l'importance des dépassements (%) pendant la période d'observation;
  - Calculer les IC scores en appliquant la formule établie pour la Méditerranée :  

$$\text{IC score} = (\text{fréquence des dépassements} \times \text{dépassement moyen relatif}) / 1000;$$
  - Transformer les IC scores  $\leq 20$  en EQR en appliquant la formule :  

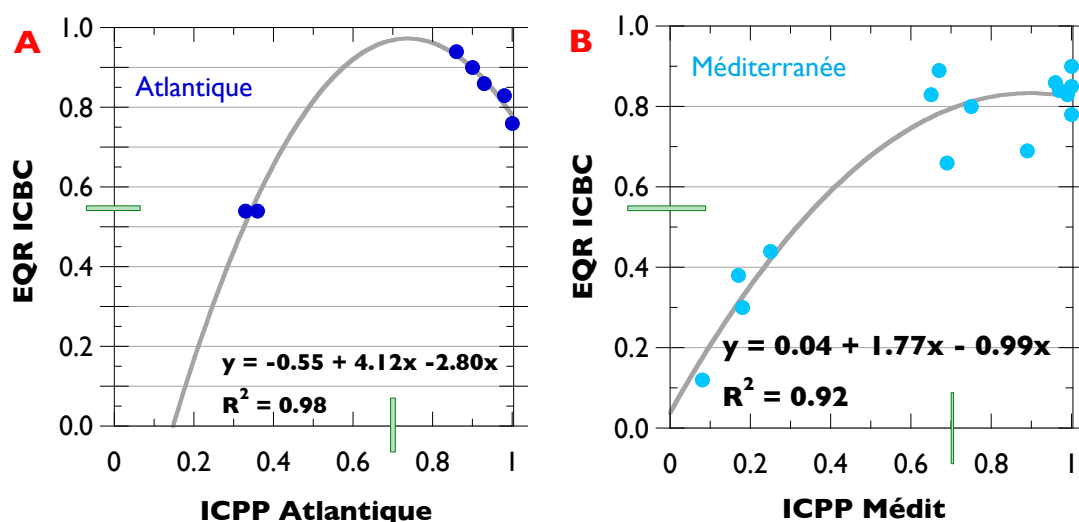
$$\text{EQR} = 1 - (0.050 \times \text{IC score});$$
 un IC score  $> 20$  correspond à un EQR de 0.
2. Répéter les étapes du point 1 pour les 5 pigments retenus.
3. Calculer l'indice de composition final : l'EQR final est la moyenne arithmétique des EQRs des 5 sous-indices. L'indice de composition ICPP Atlantique varie de 0 (composition phytoplanctonique très dégradée) à 1 (composition phytoplanctonique en très bon état).
4. Confronter les valeurs de l'ICPP Atlantique à la grille de qualité définie pour la Méditerranée et transposée à l'Atlantique (Figure SO.2).

Figure SO.2. Grilles de qualité pour les indices et sous-indices ICPP Médit et ICPP Atlantique.

	Très bon		Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais	
ICPP Médit et	1	0.90	0.70	0.50	0.20	0	
ICPP Atlantique							

En Atlantique, une très bonne corrélation ( $R^2 = 0.98$ ) est obtenue entre les EQRs obtenus par l'ICPP Atlantique et l'ICBC (Figure SO.3), et l'évaluation croisée aboutit à un classement cohérent des sites échantillonnés.

Figure SO.3. Relations entre les EQRs de composition obtenus par l'ICPP et l'ICBC en Atlantique (A) et en Méditerranée (B). Les traits verts représentent les limites inférieures du bon état.



Des corrélations élevées, comprises entre -0.82 et -0.99, sont obtenues entre l'indice ICPP Atlantique et ses sous-indices et les nutriments moyennés sur les périodes d'études (Tableau SO.1), ce qui montre par la bonne sensibilité de notre indice aux pressions. Par contre, lorsque les données atlantiques sont considérées seules, l'ICBC ne répond pas aux proxys de pression. Il répond par contre très bien quand les jeux de données Manche et Atlantique sont regroupés et que le gradient de pression est prononcé (Lampert & Hernandez-Fariñas 2018).

**Tableau SO.1. Matrice de corrélation de Spearman (rho) entre les proxys de pression en Atlantique et l'ICBC (exprimé en EQR), l'indice de composition phytoplanctonique ICPP Atlantique et ses sous-indices. - : non significatif;  $\alpha = 0.05$ .**

Atlantique	NO3+NO2 $\mu\text{M}$	PO4 $\mu\text{M}$	NH4 $\mu\text{M}$	DIN $\mu\text{M}$
ICBC	-	-	-	-
ICPP Atlantique	-	-0.96	-	-
IC Allo	-	-0.99	-	-
IC Péri	-0.86	-0.89		-0.86
IC Fuco	-	-0.96	-	-
IC Prasino	-	-0.89	-	-
IC Lutéine	-0.82	-0.86	-	-0.82

**En Manche**, où les masses d'eau sont régulièrement soumises à des blooms de *Phaeocystis*, seule l'alloxanthine répond aux proxys de pression. Le développement d'un indice de composition monométrique basé sur un seul pigment (ou un seul groupe) n'est pas approprié. De plus, l'utilisation par Lampert & Hernandez-Fariñas (2018) d'une référence atlantique pour la Manche suggère que la question de la référence en Manche est toujours ouverte.

**En Méditerranée**, l'ICPP Médit et l'ICBC, exprimé en EQR, répondent aux pressions exercées par les nutriments moyennés sur les périodes d'étude (Tableau SO.2). Les résultats de l'évaluation de la qualité de la composition phytoplanctonique par les deux indices sont fortement corrélés ( $R^2 = 0.92$ , Figure SO.3). Cependant, dans 2 cas sur 15, l'application de l'ICPP Médit ou de l'ICBC induit des différences importantes dans le classement final des points, qui, sur base des grilles de qualité actuelles, sortent ou non du bon état écologique. Sur base de notre expertise en Méditerranée, le classement résultant de l'application de l'ICPP Médit nous paraît mieux caractériser la réalité du terrain.

**Tableau SO.2. Matrice de corrélation de Spearman (rho) entre les proxys de pression en Méditerranée et l'ICBC (exprimé en EQR), l'indice de composition phytoplanctonique ICPP et ses sous-indices - : non significatif;  $\alpha = 0.05$ .**

Méditerranée	NO3 $\mu\text{M}$	NO2 $\mu\text{M}$	NH4 $\mu\text{M}$	DIN $\mu\text{M}$
ICBC	-	-	-	-0.60
ICPP Médit	-	-	-0.74	-0.52
IC Allo	-	-0.52	-	-
IC Péri	-	-0.61	-0.69	-
IC Fuco	-	-	-0.80	-
IC Prasino	-	-	-0.52	-

En résumé, en Méditerranée comme en Atlantique, le nouvel indice de composition phytoplanctonique ICPP permet d'évaluer avec succès la qualité de la composition phytoplanctonique. Il répond bien aux proxys de pression et présente l'avantage d'apporter des

informations complémentaires sur la saisonnalité des perturbations. En cela, il peut apporter des informations utiles aux gestionnaires de l'environnement côtier. En Manche par contre, l'indice ICPP ne s'applique pas.

D'autre part, il nous paraît important de poursuivre l'acquisition de données pigmentaires acquises à une fréquence bimensuelle sur les 6 ans d'un plan de gestion pour conforter le classement des points et estimer la variabilité interannuelle.

Goffart, A., 2019. Consolidation de l'indice composition IC Médit pour les eaux côtières de Méditerranée. Rapport final de l'action 1 du projet « Indicateur de composition phytoplanctonique », Convention de subvention ONEMA - Université de Liège, 38 pp.

Lampert, L., Hernandez-Fariñas, T., 2018. Détermination d'un indice de composition phytoplanctonique pigmentaire pour les eaux de la Manche et de l'Atlantique (DCE). Rapport final ONEMA - IFREMER n°24, Brest, France, 66 pp.

• **SOMMAIRE**

Résumé .....	3
Mots clés.....	3
Synthèse pour l'action opérationnelle .....	4
1. Introduction .....	9
2. Contexte et objectifs .....	9
3. Présentation succincte de la stratégie d'échantillonnage Atlantique et Manche .....	10
4. Indice de composition ICPP Atlantique .....	10
4.1. Relations pressions / impacts et sélection des pigments à intégrer à l'indice de composition ICPP Atlantique .....	10
4.2. Référence Atlantique : choix de la station et évolution saisonnière des pigments.....	12
4.3. Construction des courbes de référence pour la façade atlantique .....	14
4.4 Calcul de l'indice de composition ICPP Atlantique.....	14
4.5. Evaluation des sites atlantiques par l'ICPP et l'ICBC : comparaison des EQRs de composition et réponses aux pressions .....	16
5. Indice de composition ICPP Manche .....	18
5.1 Relations pressions / impacts et sélection des pigments à intégrer à l'indice de composition ICPP Manche .....	18
5.2 Premières conclusions sur l'indice de composition phytoplanctonique ICPP Manche .....	18
6. Comparaison des EQRs de composition ICPP et ICBC étendue à la Méditerranée .....	19
7. Conclusions .....	21
8. Bibliographie .....	22
9. Table des illustrations.....	22
10. Glossaire.....	24



## 1. INTRODUCTION

La DCE exige que l'évaluation de l'état écologique des masses d'eau littorales passe par des indicateurs biologiques, dont certains ciblent spécifiquement le phytoplancton, avec trois paramètres : la biomasse, l'abondance et la composition. Un premier travail soutenu par l'ONEMA et réalisé par l'Université de Liège a montré que les pigments diagnostiques mesurés par HPLC constituent de bons outils pour détecter les changements de composition phytoplanctonique en réponse aux pressions rencontrées dans les eaux côtières corses (Goffart & Andral 2014). Les recherches ont abouti au développement d'un nouvel indice de composition phytoplanctonique (IC Médit 2014), basé sur la signature pigmentaire des communautés phytoplanctoniques et adapté aux spécificités des eaux côtières corses.

Le projet « Indicateur de composition phytoplanctonique » vise à conforter le travail sur des sites ayant des pressions diverses et pour diverses catégories de masses d'eau, afin d'en faire un véritable indicateur DCE. Le projet comprend trois actions :

1. Le premier point vise à consolider le travail de définition de l'indice composition IC Médit 2014 sur des sites méditerranéens récemment échantillonnés et caractérisés par des pressions diverses. Cette action, qui se base sur une approche chénotaxonomique, a abouti à la définition de l'indice ICPP Médit (Goffart 2019a).
2. Le deuxième point a objectif d'adapter et d'appliquer les indices de composition développés en Méditerranée (ICPP Médit) et en Manche-Atlantique (ICBC) aux trois façades métropolitaines dans le but de comparer les résultats obtenus en terme de classification des sites évalués par les deux méthodes. Cette action, réalisée en collaboration avec Luis Lampert (IFREMER de Brest), fait l'objet de ***ce rapport***.
3. Le travail comporte également une action pour la validation d'une méthode de détermination de la composition phytoplanctonique des eaux côtières depuis l'espace (Goffart 2019b). Cette action est réalisée en collaboration avec Sylvain Coudray (IFREMER de La Seyne-sur-Mer).

## 2. CONTEXTE ET OBJECTIFS

En Méditerranée et en Manche-Atlantique, des travaux ont été menés parallèlement pour construire des indices de composition. Les pigments sont utilisés comme traceurs des groupes phytoplanctoniques.

En Méditerranée, le nouvel indice de composition ***ICPP Médit*** intègre les quatre pigments (alloxanthine, fucoxanthine, péridinine, prasinoxanthine) qui répondent positivement aux proxys de pression. Ces pigments identifient respectivement les cryptophycées, les diatomées, les dinoflagellés photosynthétiques et les prasinophycées. Pour chaque pigment retenu, une courbe de référence décrit l'évolution saisonnière de la limite très bon état / bon état. Pour un mois donné, les mesures réalisées dans les sites à évaluer sont comparées aux valeurs de référence de ce même mois. La fréquence et l'importance des écarts à la courbe de référence sont mesurés. Ils sont ensuite transformés successivement en score et en EQR. L'EQR final est la moyenne des EQR obtenus pour chacun des pigments. L'état écologique de la composition phytoplanctonique est obtenu après confrontation de l'EQR final à la grille de qualité. Les développements qui ont conduit à l'élaboration du nouvel indice de composition ***ICPP Médit*** sont décrits dans Goffart 2019a.

En Manche-Atlantique, Lampert & Hernandez-Fariñas (2018) ont appliqué l'indice de composition ***ICBC***, basé sur l'indice de similarité de Bray-Curtis, aux jeux de données pigmentaires disponibles. Ce

travail a permis de caractériser le degré d'éloignement de la composition pigmentaire d'un point de suivi par rapport à un point de référence. Les valeurs de l'ICBC, calculées pour la période productive (mars à octobre), sont transformées en EQR (EQR ICBC = 1-ICBC).

Les objectifs de cette action sont :

- d'adapter et d'appliquer la méthodologie développée en Méditerranée au jeu de données Manche-Atlantique acquis dans le cadre des travaux de Lampert & Hernandez-Fariñas (2018) pour calculer des indices de composition ICPP Atlantique et ICPP Manche;
- de comparer les résultats issus de l'application des méthodologies Méditerranée et Atlantique en terme de classification des points de suivi Atlantique et Manche;
- d'étendre cette comparaison aux points de Méditerranée.

### 3. PRESENTATION SUCCINCTE DE LA STRATEGIE D'ÉCHANTILLONNAGE ATLANTIQUE ET MANCHE

Sur la façade atlantique, 7 stations ont été échantillonnées en subsurface au cours de la période 2016-2017. Dans les eaux côtières de la Manche, ce sont 8 stations qui ont été suivies (Lampert & Hernandez-Fariñas 2018). Les prélèvements, réalisés en principe à une fréquence bi-mensuelle, intègrent les pigments et les nutriments dissous.

### 4. INDICE DE COMPOSITION ICPP ATLANTIQUE

#### 4.1. Relations pressions / impacts et sélection des pigments à intégrer à l'indice de composition ICPP Atlantique

Les proxys de pression disponibles (concentrations en nutriments azotés et en phosphates) ont été utilisés pour établir les relations pressions / impacts sur la biomasse phytoplanctonique totale (Tchl *a*) et sur les concentrations en pigments (Tableau 1). Les relations portent sur la **période productive** (mars à octobre), retenue par Lampert & Hernandez-Fariñas (2018) pour l'ICBC. Les silicates ne sont pas considérés comme une pression mais ils limitent la croissance des diatomées et des silicoflagellés. Ils ont été intégrés au Tableau 1 pour information.

La biomasse phytoplanctonique totale (Tchl *a*) et la Tchl *b* répondent positivement à tous les proxys de pression. Les corrélations positives les meilleures ( $\rho \geq 0.35$ ,  $p < 0.0001$ ) sont observées entre la Tchl *a* et les nitrates+nitrites, la Tchl *a* et les phosphates et la Tchl *b* et les phosphates.

Tous les caroténoïdes mesurés, à l'exception de la butanoyloxyfucoxanthine, de l'hexanoyloxyfucoxanthine et de la zéaxanthine, répondent positivement à une ou plusieurs formes d'azote dissous et aux phosphates. Nous retiendrons les corrélations positives caractérisées par un coefficient  **$\rho \geq 0.30$  et une  $p$  value  $< 0.0001$** . L'alloxanthine présente les corrélations positives les plus fortes ( $p < 0.0001$ ,  $\rho \geq 0.44$ ) avec tous les nutriments. La fucoxanthine et la prasinoxanthine présentent de bonnes positives ( $\rho \geq 0.30$ ,  $p < 0.0001$ ) avec les nitrates+nitrites et les phosphates. La péridinine répond positivement à l'accroissement des phosphates ( $\rho \geq 0.30$ ,  $p < 0.0001$ ). La lutéine est corrélée positivement ( $\rho \geq 0.30$ ,  $p < 0.0001$ ) avec toutes les formes d'azote dissous.

Les **cinq pigments** retenus pour construire l'indice de composition ICPP Atlantique sont donc la péridinine, la fucoxanthine, la prasinoxanthine, l'alloxanthine et la lutéine. En Atlantique, ces pigments sont considérés comme les marqueurs principaux des dinoflagellés photosynthétiques, des diatomées, des prasinophycées, des cryptophycées et des chlorophycées (Tableau 2). En conséquence, l'indice de composition ICPP Atlantique est constitué de **cinq sous-indices** (Figure 1). Chaque sous-indice est associé à un pigment diagnostique qui répond aux pressions et dont la concentration est proportionnelle à la biomasse du groupe dont il est le traceur.

**Tableau 1. Coefficients de corrélation de Spearman (rho) entre les pigments et les nutriments pour les stations de la façade atlantique échantillonnées entre mars et octobre 2016 et mars et octobre 2017. Données de Lampert & Hernandez-Fariñas (2018). Pour chaque pigment, les meilleures corrélations sont soulignées.**


	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> n = 174	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> n = 174	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> n = 174	DIN n = 174	Si(OH) <sub>4</sub> n = 174
Tchl a	0.42	0.15	<u>0.43</u>	0.15	0.32
Peri	0.27	0.25	<u>0.35</u>	<u>0.25</u>	0.34
Buta	-	-	-0.20	-	-
Fuco	0.30	-	<u>0.33</u>	-	-
Neo	0.21	-	0.21	-	0.37
Prasino	0.30	-	<u>0.35</u>	-	0.47
Viola	0.22	-	0.32	-	0.41
I9'HF	-	-	-	-	-
Allo	<u>0.56</u>	0.44	<u>0.56</u>	-	0.61
Zea	-	-	-	-	-
Lutéine	<u>0.37</u>	0.33	0.17	0.33	0.31
Tchl b	0.25	0.20	<u>0.37</u>	0.20	0.47
	P<0.0001	P<0.001	P<0.05	- NS	


**Tableau 2. Signification taxonomique des pigments diagnostiques en Atlantique, d'après Rodriguez et al. (2006) et Lampert (2015).**


Pigments diagnostiques	Groupes phytoplanctoniques
Péridinine	Dinoflagellés photosynthétiques
Fucoxanthine	Diatomées
Prasinoxanthine	Prasinophycées
Alloxanthine	Cryptophycées
Lutéine	Chlorophycées


**Figure 1. Représentation schématique de l'indice ICPP Atlantique.**


$$\text{ICPP Atlantique} = (\text{IC Péridinine} + \text{IC Fucoxanthine} + \text{IC Prasinoxanthine} + \text{IC Alloxanthine} + \text{IC Lutéine}) / 5$$

  
 Dinoflagellés

  
 Diatomées

  
 Prasinophycées

  
 Cryptophycées

  
 Chlorophycées

Il convient néanmoins de garder à l'esprit que des traces de certains pigments (*e.g.* fucoxanthine) peuvent être observées dans d'autres groupes et que, parfois, la signature pigmentaire permet de distinguer des sous-groupes. C'est le cas de la prasinoxanthine, qui n'est observée que chez les prasinophycées de type Prasino-3A et Prasino-3B (*cfr.* Tableau 2 dans Goffart 2019a). Comme en Méditerranée, et à des fins de cohérence avec une grande partie de la littérature, nous désignerons les prasinophycées de type Prasino-3A et Prasino-3B par le terme générique de prasinophycées. La Tchl *b*, autre pigment présent chez les prasinophycées et les chlorophycées (*cfr.* Tableau 2 dans Goffart 2019a), n'est pas retenue pour l'indice de composition puisque ces deux groupes sont déjà intégrés à l'indice via deux marqueurs plus spécifiques, la prasinoxanthine et la lutéine.

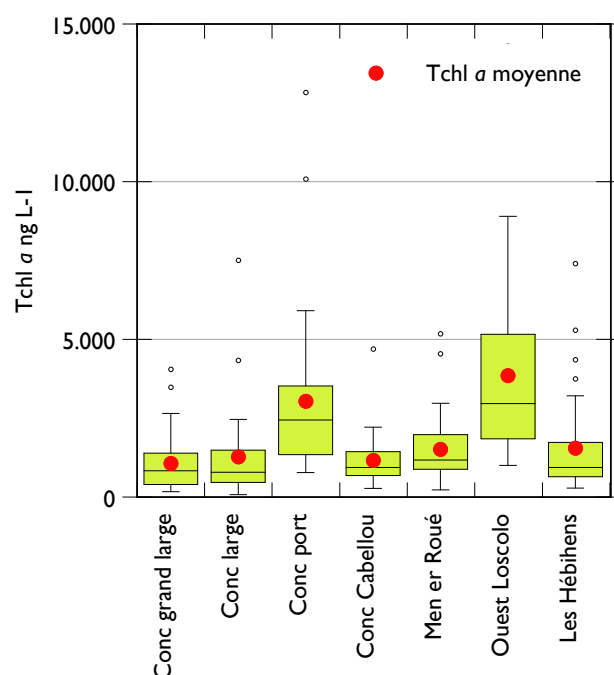
#### 4.2. Référence Atlantique : choix de la station et évolution saisonnière des pigments

Dans le jeu de données Atlantique, la concentration moyenne en Tchl  $\alpha$  la plus basse est observée au point Concarneau grand large (Tableau 3, Figure 2). A ce jour et sur base des données disponibles, c'est ce point qui sera retenu comme station de **référence** pour la façade atlantique.

Tableau 3. Tchl  $\alpha$  moyenne et écart-types ( $\text{ng L}^{-1}$ ) pour les stations de la façade atlantique échantillonnées entre mars et octobre 2016 et mars et octobre 2017. Données de Lampert & Hernandez-Fariñas (2018).

Station	Tchl $\alpha$ moyenne et écart type, $\text{ng L}^{-1}$
Concarneau grand large	1 074 $\pm$ 978
Concarneau large	1 275 $\pm$ 1 446
Concarneau port	3 048 $\pm$ 2 592
Concarneau Cabellou	1 164 $\pm$ 825
Men er Roué	1 524 $\pm$ 1 121
Ouest Loscolo	3 859 $\pm$ 2 815
Les Hébihens	1 558 $\pm$ 1 606

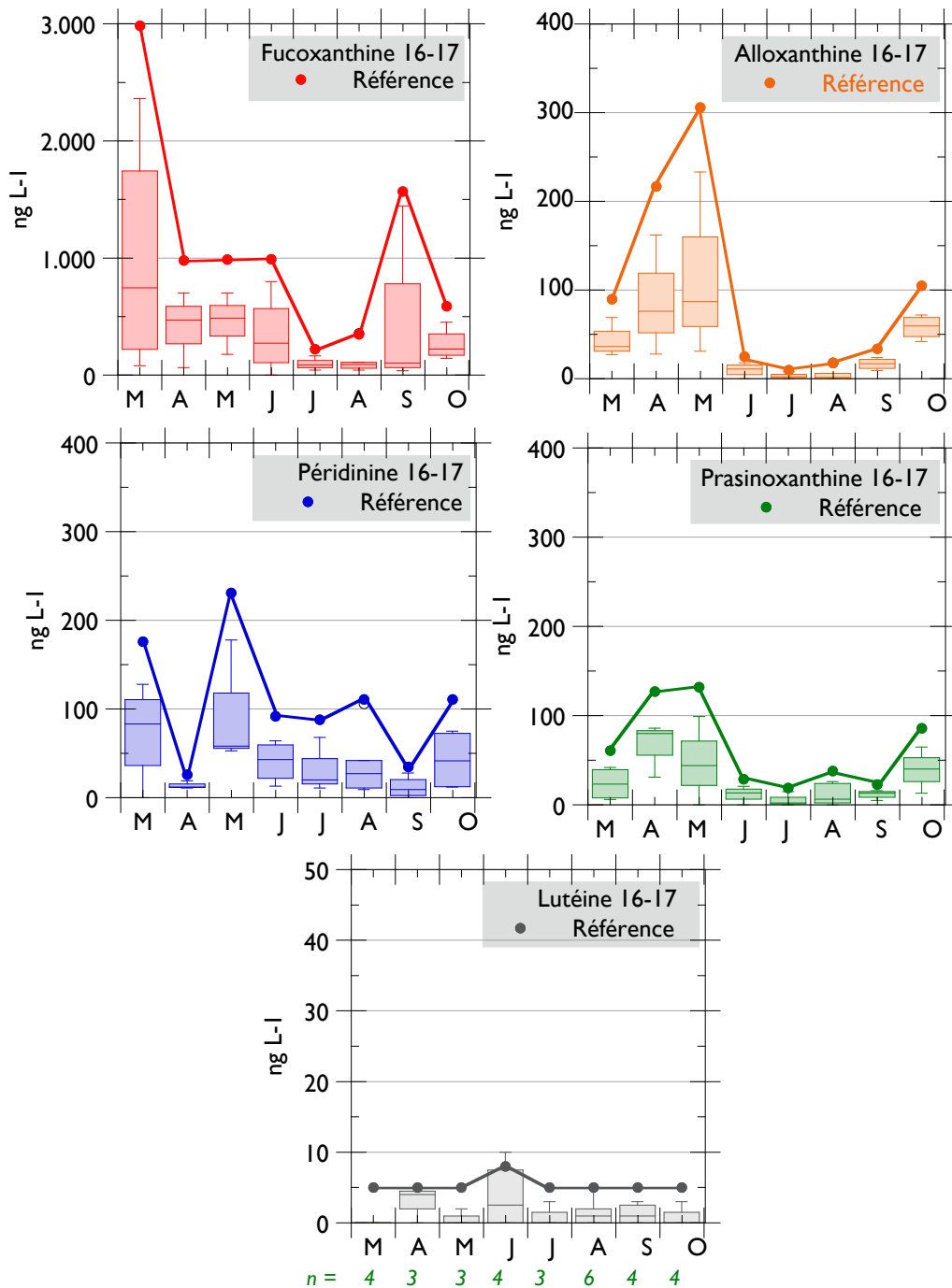
Figure 2. Boîtes à moustaches de la Tchl  $\alpha$  ( $\text{ng L}^{-1}$ ) pour les stations de la façade atlantique échantillonnées entre mars et octobre 2016 et mars et octobre 2017. Données de Lampert & Hernandez-Fariñas (2018).



Avant de réaliser les calculs aboutissant à la construction des courbes de référence du point Concarneau grand large, il est utile d'examiner l'**évolution saisonnière naturelle** des pigments retenus pour l'indice de composition ICPP Atlantique et de connaître leur distribution sur la période productive (mars à octobre, Figure 3). La fucoxanthine est le plus abondant des pigments retenus. Elle présente des concentrations maximales en mars. Les concentrations en alloxanthine, péridinine et prasinoxanthine augmentent progressivement au cours du printemps et culminent en mai. Les concentrations en lutéine sont faibles ( $\leq 10 \text{ ng L}^{-1}$ ) et varient peu entre mars et octobre. Les concentrations en fucoxanthine, alloxanthine, péridinine et prasinoxanthine diminuent fortement en période estivale puis augmentent à nouveau à l'automne, sans atteindre les niveaux de

concentrations observés au printemps. Ce schéma général de succession des différents pigments est typique des régions tempérées non perturbées (e.g. Barlow et al. 2002). Globalement, les communautés phytoplanctoniques présentent une saisonnalité marquée, avec un bloom printanier important et un bloom automnal plus modeste. Elles sont largement dominées par les diatomées, identifiées ici par leur pigment traceur. Les diatomées se développent rapidement dans les phases ascendantes des floraisons printanières et automnales, en accord avec les théories classiques (Margalef 1978; Smayda 1980).

**Figure 3. Evolution saisonnière (mars à octobre) des pigments retenus pour l'indice de composition ICPP Atlantique : boîtes à moustaches d'après les données 2016-2017 de Lampert & Hernandez-Fariñas (2018) et courbes de référence calculées sur base des données disponibles. Le nombre de données mensuelles (n) est indiqué sous l'axe des x du graphe de la lutéine.**



### 4.3. Construction des courbes de référence pour la façade atlantique

La méthode de construction des ***courbes de référence***, décrite dans Goffart 2019a, a été appliquée aux données du point Concarneau grand large. Pour chaque pigment diagnostique retenu, une courbe de référence est construite. Cette courbe décrit l'évolution saisonnière de la limite très bon état / bon état du pigment considéré. Elle comprend 8 valeurs (1 valeur par mois de mars à octobre) obtenues en calculant le P<sub>90</sub> mensuel des concentrations et en y ajoutant une marge de sécurité de 50%. Le cas échéant, un seuil minimum de 5 ng L<sup>-1</sup> est imposé. Idéalement, les courbes sont construites à partir de données bi-mensuelles acquises sur une période glissante de 6 ans, soit la durée d'un plan de gestion. Dans le cas du jeu de données Atlantique, deux années de mesures bi-mensuelles étaient disponibles.

### 4.4 Calcul de l'indice de composition ICPP Atlantique

Les calculs sont réalisés selon les procédures mises au point en Méditerranée (Goffart 2019a). Les étapes successives permettant l'évaluation de la qualité de la composition phytoplanctonique sont rappelées ci-dessous.

1. ***Pour chaque pigment*** retenu pour l'indice de composition ICPP Atlantique, un sous-indice est calculé. La Figure 4 et le Tableau 4 illustrent deux calculs d'EQR alloxanthine.

- Comparer les concentrations en pigments mesurées dans les sites à évaluer aux valeurs de référence en respectant la temporalité (*i.e.* comparer les mesures et la valeur de référence du même mois);
- Calculer la fréquence (%) des écarts à la référence et l'importance des dépassements (%) pendant la période d'observation;
- Calculer les IC scores en appliquant la formule établie pour la Méditerranée :  

$$\text{IC score} = (\text{fréquence des dépassements} \times \text{dépassement moyen relatif}) / 1000;$$
- Transformer les IC scores  $\leq 20$  en EQR en appliquant la formule :  

$$\text{EQR} = 1 - (0.050 \times \text{IC score}); \text{ un IC score} > 20 \text{ correspond à un EQR de } 0.$$

2. ***Répéter*** les étapes du point 1 pour les différents pigments retenus.

3. ***Calculer l'indice de composition final***: L'EQR final est la moyenne arithmétique des EQRs des sous-indices. L'indice de composition ICPP varie de 0 (composition phytoplanctonique très dégradée) à 1 (composition phytoplanctonique en très bon état).

$$\text{ICPP Atlantique} = (\text{IC Fucoxanthine} + \text{IC Alloxanthine} + \text{IC Péridinine} + \text{IC Prasinoxanthine} + \text{IC Lutéine}) / 5.$$

4. ***Confronter les valeurs de l'ICPP Atlantique à la grille de qualité*** définie pour la Méditerranée et transposée à l'Atlantique (Figure 5).

Les résultats montrent que dans certains cas, pour un même site, les différents sous-indices présentent des résultats contrastés. Pour le point Ouest Loscolo par exemple, l'alloxanthine, la péridinine et la fucoxanthine classent le point en mauvais état, alors que la prasinoxanthine et la lutéine le classent en bon état (Tableau 5). Ceci montre les différents groupes phytoplanctoniques, identifiés par leur signature pigmentaire, répondent différemment aux pressions et aux contraintes environnementales.

De plus, au sein d'un groupe, l'analyse de l'évolution temporelle des mesures permet d'identifier la saisonnalité des perturbations. Dans l'exemple de la Figure 4, les concentrations en alloxanthine mesurées dans le port de Concarneau sont situées sous la courbe de référence de mars à mai, puis

elles passent au-dessus de la courbe en juin, en début de saison estivale. Les écarts les plus importants sont observés en juillet et en août, ce qui est probablement à mettre en relation avec une fréquentation accrue du port et une augmentation de l'activité portuaire.

Figure 4. Positionnement des concentrations en alloxanthine des points Concarneau large et Concarneau port par rapport à la courbe de référence (Concarneau grand large), d'après les données 2016-2017 de Lampert & Hernandez-Fariñas (2018).

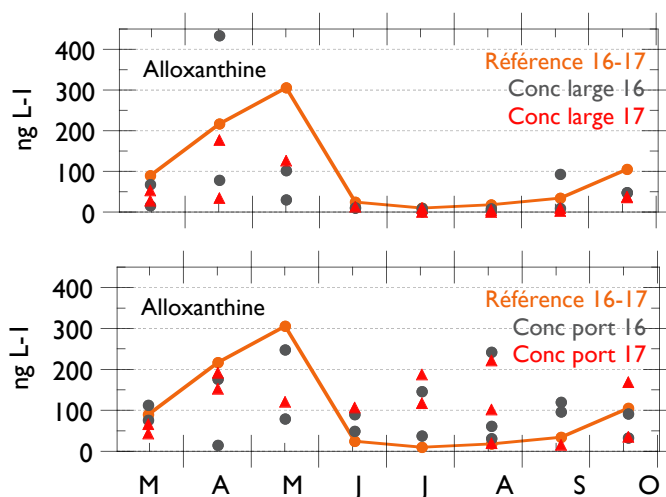


Tableau 4. Calcul du sous-indice alloxanthine pour les points Concarneau large et Concarneau port (périodes productives 2016 et 2017), d'après les données de Lampert & Hernandez-Fariñas (2018).

Site	Nombre de données	Nombre de dépassements	Fréquence des dépassements %	Dépassement moyen %	IC score alloxanthine	EQR alloxanthine
Concarneau large	32	2	6	101	0.61	0.97
Concarneau port	32	17 (dont 6 en août)	53	522	27.67	0.00

Figure 5. Grilles de qualité pour les indices et sous-indices ICPP Médit et ICPP Atlantique et pour l'ICBC exprimé en EQR.

	Très bon		Bon		Moyen		Médiocre		Mauvais	
ICPP Médit et ICPP Atlantique	1	0.90		0.70		0.50		0.20		0
EQR ICBC <sup>1</sup>	1	0.85		0.55		0.30		0.10		0

<sup>1</sup> EQR ICBC = 1-ICBC (Lampert & Hernandez-Fariñas 2018).

Tableau 5. Valeurs de l'ICPP Atlantique et de ses sous-indices.

Site	IC Péri	IC Fuco	IC Allo	IC Prasino	IC Lutéine	ICPP Atlantique
Concarneau grand large	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	<b>1.00</b>
Concarneau large	0.96	0.99	0.97	0.99	1.00	<b>0.98</b>
Concarneau Cabellu	0.92	0.95	0.89	0.99	0.91	<b>0.93</b>
Les Hébihens	0.98	0.93	0.78	0.86	0.97	<b>0.90</b>
Men er Roué	0.88	0.91	0.77	0.84	0.92	<b>0.86</b>
Ouest Loscolo	0.00	0.13	0.00	0.80	0.89	<b>0.36</b>
Concarneau port	0.55	0.00	0.00	0.88	0.21	<b>0.33</b>

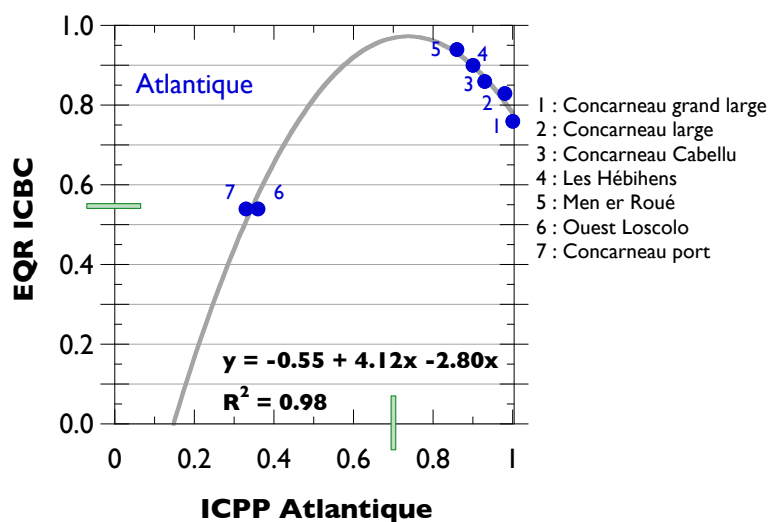
#### 4.5. Evaluation des sites atlantiques par l'ICPP et l'ICBC : comparaison des EQRs de composition et réponses aux pressions

La Figure 6 présente la relation entre les EQRs de composition obtenus par l'ICPP Atlantique et l'ICBC sur le jeu de données atlantiques. Le coefficient de corrélation  $R^2$  de **0.98** traduit une très bonne correspondance entre les résultats obtenus par les deux indices. En particulier, il est remarquable d'observer que les deux indices classent les mêmes points sous la limite inférieure du bon état. Nous n'avons cependant que deux points caractérisés par des EQRs < 0.6, et il serait utile d'acquérir des données supplémentaires dans d'autres sites moyennement ou très dégradés. L'acquisition de données sur les 6 ans d'un plan de gestion (au lieu de deux actuellement) permettrait de conforter le classement des points et d'estimer la variabilité interannuelle.

Il apparaît aussi que :

- le choix d'une référence composée (moyenne des données des points Men Er Roué et Les Hébihens) posé par Lampert & Hernandez-Fariñas (2018) a pour conséquence qu'aucun des points évalué par l'ICBC ne présente un EQR égal à 1,
- l'ICBC exprimé en EQR est plus contraignant que l'ICPP Atlantique aux hautes valeurs d'EQR, et moins contraignant pour les EQRs plus faibles (Tableau 6). Il en résulte que, pour les données disponibles, la plage de variation de l'ICBC est moins large que celle de l'indice ICPP Atlantique.

Figure 6. Relation entre les EQRs de composition obtenus par l'ICPP Atlantique et l'ICBC sur le jeu de données atlantiques. Les traits verts représentent les limites inférieures du bon état.





**Tableau 6. Classement des points Atlantique évalués par l'ICPP Atlantique et l'ICBC.**

Station	ICPP Atlantique	EQR ICBC
Concarneau grand large	1.00	0.76
Concarneau large	0.98	0.83
Concarneau Cabellu	0.93	0.86
Les Hébihens	0.90	0.90
Men er Roué	0.86	0.94
Ouest Loscolo	0.36	0.54
Concarneau port	0.33	0.54

Des corrélations élevées, comprises entre -0.82 et -0.99, sont obtenues entre l'indice ICPP Atlantique et ses sous-indices et les nutriments, ce qui montre par la bonne *sensibilité de notre indice aux pressions*. Par contre, en Atlantique, l'ICBC ne répond pas aux proxys de pression (Tableaux 7 et 8). Il répond par contre très bien quand les jeux de données Manche et Atlantique sont regroupés et que le gradient de pression est prononcé (Lampert & Hernandez-Fariñas 2018).

**Tableau 7. Matrice des indices et sous-indices de composition et des sels nutritifs pour l'Atlantique. Sels nutritifs moyennés sur la période d'étude (mars-octobre 2016 et mars-octobre 2017; données de Lampert & Hernandez-Fariñas 2018).**

Point	NO3+NO2 $\mu\text{M}$	PO4 $\mu\text{M}$	NH4 $\mu\text{M}$	DIN $\mu\text{M}$	EQR ICBC	ICPP Atlantique	IC Allo	IC Péri	IC Fuco	IC Prasino	IC Lutéine
Concarneau grand large	2.79	0.08	0.28	3.07	0.76	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Concarneau large	2.19	0.08	0.20	2.39	0.83	0.98	0.97	0.96	0.99	0.99	1.00
Concarneau port	32.31	0.31	1.92	34.23	0.54	0.33	0.00	0.55	0.00	0.88	0.21
Men er Roué	6.20	0.14	0.33	6.53	0.94	0.86	0.77	0.88	0.91	0.84	0.92
Ouest Loscolo	13.48	0.40	0.86	14.34	0.54	0.36	0.00	0.00	0.13	0.80	0.89
Concarneau Cabellou	4.27	0.09	0.27	4.54	0.86	0.93	0.89	0.92	0.95	0.99	0.91
Les Hébihens	1.84	0.14	0.13	1.97	0.90	0.90	0.78	0.98	0.93	0.86	0.97

**Tableau 8. Matrice de corrélation de Spearman ( $\rho$ ) entre les paramètres du Tableau 7. Les valeurs en rouge sont significatives.**

Variabes	NO3+NO2 $\mu\text{M}$	PO4 $\mu\text{M}$	NH4 $\mu\text{M}$	DIN $\mu\text{M}$	EQR ICBC	ICPP Atlantique	IC Allo	IC Péri	IC Fuco	IC Prasino	IC Lutéine
NO3+NO2 $\mu\text{M}$	1.00										
PO4 $\mu\text{M}$	0.71	1.00									
NH4 $\mu\text{M}$	0.96	0.64	1.00								
DIN $\mu\text{M}$	1.00	0.71	0.96	1.00							
EQR ICBC	-0.52	-0.27	-0.59	-0.52	1.00						
ICPP Atlantique	-0.75	-0.96	-0.68	-0.75	0.27	1.00					
IC Allo	-0.74	-0.99	-0.67	-0.74	0.27	0.99	1.00				
IC Péri	-0.86	-0.89	-0.75	-0.86	0.38	0.86	0.88	1.00			
IC Fuco	-0.75	-0.96	-0.68	-0.75	0.27	1.00	0.99	0.86	1.00		
IC Prasino	-0.43	-0.89	-0.36	-0.43	-0.09	0.79	0.85	0.71	0.79	1.00	
IC Lutéine	-0.82	-0.86	-0.68	-0.82	0.38	0.89	0.88	0.89	0.89	0.61	1.00

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification  $\alpha=0.05$

## 5. INDICE DE COMPOSITION ICPP MANCHE

### 5.1 Relations pressions / impacts et sélection des pigments à intégrer à l'indice de composition ICPP Manche

Dans les eaux côtières de la Manche, seule l'alloxanthine présente de bonnes corrélations positives ( $\rho \geq 0.30$ ,  $p < 0.0001$ ) avec les nitrates+nitrites et avec l'azote inorganique dissous (Tableau 9). A l'opposé, la 19'HF et la zéaxanthine sont corrélés négativement aux nutriments. La Tchl  $\alpha$  et les autres pigments ne sont pas corrélés significativement aux sels nutritifs, ou présentent des corrélations très faibles.

Ces résultats contrastent avec les observations réalisées en Méditerranée et en Atlantique où la biomasse totale et la plupart des pigments sont corrélés positivement aux sels nutritifs. Ils suggèrent que d'autres facteurs que les nutriments contrôlent la dynamique des communautés phytoplanctoniques de la Manche. Celles-ci sont régulièrement dominées par des *Phaeocystis* qui ont fait l'objet de nombreux travaux, notamment dans le cadre du GIG NEA (North East Atlantic Geographical Intercalibration Groupe) et d'OSPAR. Malgré tout, la réponse de *Phaeocystis* aux facteurs abiotiques et biotiques est complexe et reste mal connue (Schoemann et al. 2005; Prins & Baretta-Bekker 2010).

Tableau 9. Coefficients de corrélation de Spearman ( $\rho$ ) entre les pigments et les nutriments pour les stations de la Manche échantillonnées entre mars et octobre 2016 et mars et octobre 2017. Données de Lampert & Hernandez-Fariñas (2018).

	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> n = 224	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> n = 224	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> n = 224	DIN n = 224	Si(OH) <sub>4</sub> n = 223
Tchl $\alpha$	0.21	-	-	0.19	-
Peri	-	-	-	-	0.33
Buta	0.21	0.15	0.19	0.22	0.14
Fuco	-	-0.14	-	-	-0.18
Neo	-	-	-	-	0.32
Prasino	-0.20	-0.18	-	-0.21	0.19
Viola	0.17	-	-	0.14	0.41
19'HF	-0.36	-0.26	-0.18	-0.35	-
Allo	0.33	-	0.14	0.34	0.54
Zea	-0.34	-	-0.23	-0.34	-
Lutéine	-	-	-	-	-
Tchl b	-	-	-	-	0.33
	P<0.0001	P<0.001	P<0.05	- NS	

### 5.2 Premières conclusions sur l'indice de composition phytoplanctonique ICPP Manche

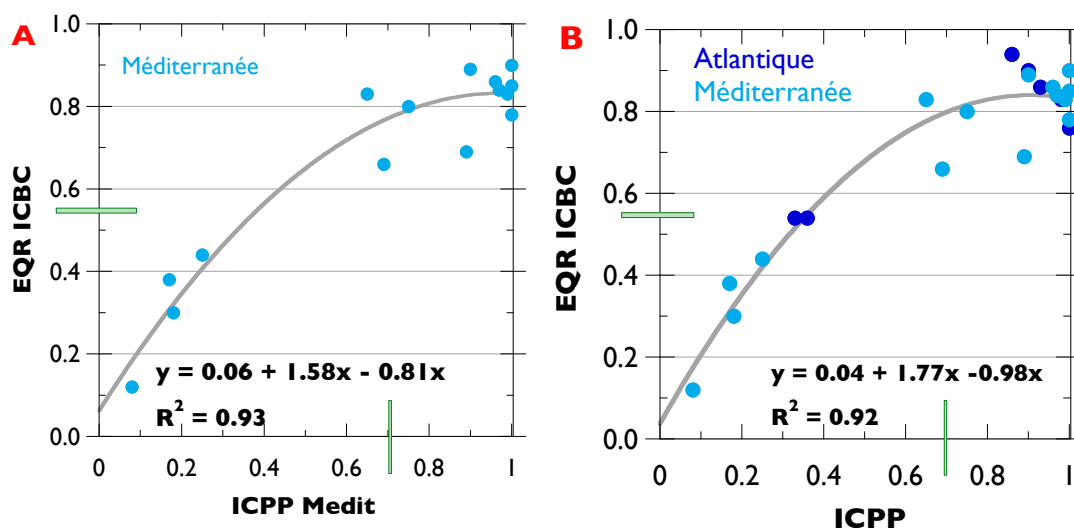
A ce jour, le développement d'un indice de composition monométrique Manche basé sur un seul pigment (ou un seul groupe) n'est ***pas approprié***. De plus, l'utilisation par Lampert & Hernandez-Fariñas (2018) d'une référence atlantique pour la Manche suggère que la question de la référence en Manche est toujours ouverte.

## 6. COMPARAISON DES EQRs DE COMPOSITION ICPP ET ICBC ETENDUE A LA MEDITERRANEE

Les paragraphes précédents ont montré que la méthodologie développée en Méditerranée a été appliquée avec succès aux données des eaux côtières atlantiques. Réciproquement, l'ICBC a été testé sur le jeu de données Méditerranée. Les calculs ont été réalisés par Luis Lampert.

En Méditerranée, les coefficients de corrélation entre les indices ICPP Médit et ICBC sont fortement corrélés ( $R^2 = 0.93$ , Figure 7 A). Comme en Atlantique, le choix d'une référence composée (moyenne des données des points Sud Bastia et Calvi) posé par Lampert & Hernandez-Fariñas (2018) a pour conséquence qu'aucun des points évalués par l'ICBC ne présente un EQR égal à 1. Toutefois, l'ICBC ne nous paraît pas assez contraignant pour les sites auxquels l'ICPP Médit attribue un EQR <0.7 : deux points (Toulon grande rade et Tamarone) sont classés en état moyen par l'ICPP Médit, ce qui est en bon accord avec notre connaissance du terrain. Ils sont par contre classés en bon ou très bon état par l'ICBC (Tableau 10). Dans 2 cas sur 15, l'application de l'ICPP Médit ou de l'ICBC induit des différences importantes dans le classement final des points, qui, sur base des grilles de qualité actuelles, sortent ou non du bon état écologique.

Figure 7. (A) Relation entre les EQRs de composition obtenus par l'ICBC et l'ICPP Médit sur le jeu de données Méditerranée; (B) Relation entre les EQRs de composition obtenus par l'ICBC et l'ICPP sur les jeux de données Méditerranée (ICPP Médit) et Atlantique (ICPP Atlantique). Les traits verts représentent les limites inférieures du bon état.



Des coefficients de corrélation rho élevés, compris entre -0.52 et -0.74, sont obtenus entre l'indice ICPP Médit et les proxys de *pression* (Tableaux 11 et 12). En Méditerranée, l'indice de composition ICBC est négativement corrélé à l'azote inorganique dissous (DIN,  $r = -0.60$ ), alors qu'il ne répondait pas aux proxys de pressions en Atlantique.

La comparaison globale des EQRs obtenus en Méditerranée et en Atlantique après application de l'ICPP adapté aux spécificités régionales et de l'ICBC est présentée à la Figure 7 B. Le coefficient de corrélation  $R^2$  est de 0.92, ce qui traduit une très bonne correspondance entre les résultats obtenus par les deux indices pourtant très différents dans leur postulat de départ, dans le choix de la référence et dans leur mise en œuvre (tableau 13).

Tableau 10. Classement des points Méditerranée évalués par l'ICPP Méditerranée et l'ICBC.

Station	ICPP Médit	EQR ICBC
Bastia Sud	1.00	0.85
Calvi	1.00	0.90
Cargèse	1.00	0.78
St Florent Out	0.99	0.83
Sant'Amanza Out	0.97	0.84
Ile du soleil	0.96	0.86
Sant'Amanza In	0.90	0.66
Ajaccio	0.89	0.69
Macin capitainerie - Ma 1	0.75	0.80
Toulon grd rade (Cépet)	0.69	0.89
Tamarone	0.65	0.83
Lazaret	0.25	0.44
Macin mise à l'eau - Ma 3	0.18	0.30
Macin port pêche - Ma 2	0.17	0.38
St Florent In	0.08	0.12

Tableau 11. Matrice des EQRs de composition et des sels nutritifs pour la Méditerranée. Sels nutritifs moyennés sur les périodes d'étude (détails sur les périodes d'étude dans Goffart 2019a).

Site	N03 $\mu\text{M}$	N02 $\mu\text{M}$	NH4 $\mu\text{M}$	DIN $\mu\text{M}$	IC ICBC	ICPP Médit	IC Allo	IC Péri	IC Fuco	IC Prasino
Sud Bastia	0.39	0.03	0.14	0.56	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Calvi	0.36	0.05	0.09	0.49	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cargèse	0.50	0.07	0.10	0.67	0.78	1.00	0.99	1.00	1.00	0.99
Saint Florent OUT	0.53	0.07	0.14	0.74	0.83	0.99	0.97	0.98	1.00	1.00
Sant'Amanza OUT	0.76	0.05	0.33	1.14	0.84	0.97	1.00	1.00	0.91	0.98
Ile du soleil	0.14	0.04	0.17	0.35	0.86	0.96	0.89	0.98	0.98	0.98
Sant'Amanza IN	0.66	0.08	0.58	1.32	0.89	0.90	0.93	0.81	0.88	1.00
Ajaccio	4.13	0.08	0.09	4.30	0.69	0.89	0.79	0.81	0.95	1.00
Macinaggio capitainerie (Ma 1)	0.22	0.05	0.48	0.75	0.80	0.75	1.00	0.99	0.00	1.00
Toulon grande rade (Cépet)	0.32	0.06	0.11	0.49	0.66	0.69	0.74	0.70	0.45	0.85
Tamarone	0.10	0.07	0.31	0.48	0.83	0.65	0.99	0.24	0.37	1.00
Lazaret	0.55	0.12	0.56	1.23	0.44	0.25	0.00	0.00	0.00	0.99
Macinaggio mise à l'eau (Ma 3)	1.11	0.06	0.65	1.81	0.30	0.18	0.00	0.00	0.00	0.72
Macinaggio port pêche (Ma 2)	0.73	0.06	0.72	1.51	0.38	0.17	0.00	0.00	0.00	0.68
Saint Florent IN	8.70	0.30	1.72	10.72	0.12	0.08	0.30	0.00	0.00	0.30

 Tableau 12. Matrice de corrélation de Spearman ( $\rho$ ) entre les paramètres du tableau 11. Les valeurs en rouge sont significatives.

Variabes	N03 $\mu\text{M}$	N02 $\mu\text{M}$	NH4 $\mu\text{M}$	DIN $\mu\text{M}$	EQR ICBC	ICPP Médit	IC Allo	IC Péri	IC Fuco	IC Prasino
<b>N03 <math>\mu\text{M}</math></b>	<b>1.00</b>	0.45	0.40	<b>0.92</b>	-0.51	-0.35	-0.48	-0.39	-0.26	-0.42
<b>N02 <math>\mu\text{M}</math></b>	0.45	<b>1.00</b>	0.29	<b>0.54</b>	-0.47	-0.50	<b>-0.52</b>	<b>-0.61</b>	-0.35	-0.03
<b>NH4 <math>\mu\text{M}</math></b>	0.40	0.29	<b>1.00</b>	<b>0.55</b>	-0.47	<b>-0.74</b>	-0.48	<b>-0.69</b>	<b>-0.80</b>	<b>-0.52</b>
<b>DIN <math>\mu\text{M}</math></b>	<b>0.92</b>	<b>0.54</b>	<b>0.55</b>	<b>1.00</b>	<b>-0.60</b>	<b>-0.52</b>	-0.51	-0.50	-0.50	-0.32
<b>EQR ICBC</b>	-0.51	-0.47	-0.47	<b>-0.60</b>	<b>1.00</b>	<b>0.80</b>	<b>0.75</b>	<b>0.72</b>	<b>0.69</b>	<b>0.66</b>
<b>ICPP Médit</b>	-0.35	-0.50	<b>-0.74</b>	<b>-0.52</b>	<b>0.80</b>	<b>1.00</b>	<b>0.76</b>	<b>0.93</b>	<b>0.93</b>	<b>0.59</b>
<b>IC Allo</b>	-0.48	<b>-0.52</b>	-0.48	-0.51	<b>0.75</b>	<b>0.76</b>	<b>1.00</b>	<b>0.86</b>	<b>0.58</b>	<b>0.62</b>
<b>IC Péri</b>	-0.39	<b>-0.61</b>	<b>-0.69</b>	-0.50	<b>0.72</b>	<b>0.93</b>	<b>0.86</b>	<b>1.00</b>	<b>0.81</b>	0.51
<b>IC Fuco</b>	-0.26	-0.35	<b>-0.80</b>	-0.50	<b>0.69</b>	<b>0.93</b>	<b>0.58</b>	<b>0.81</b>	<b>1.00</b>	0.49
<b>IC Prasino</b>	-0.42	-0.03	<b>-0.52</b>	-0.32	<b>0.66</b>	<b>0.59</b>	<b>0.62</b>	0.51	0.49	<b>1.00</b>

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification  $\alpha=0.05$

**Tableau 13. Principales différences entre l'indice de composition ICPP développé par Anne Goffart et l'ICBC appliqué par Lampert & Hernandez-Fariñas (2018).**

	Régions	ICPP	ICBC
<b>Réponse des groupes phytoplanctoniques aux pressions</b>	Méditerranée	Oui (prérequis) : diatomées, dinoflagellés, cryptophycées, prasinophycées	Non
	Atlantique	Oui (prérequis) : diatomées, dinoflagellés, cryptophycées, prasinophycées, chlorophycées	Non
	Manche	Non, donc pas d'indice ICPP Manche	Non
<b>Réponse de l'indice aux pressions</b>	Méditerranée	Oui	Oui
	Atlantique	Oui	Atlantique seul : non
	Manche	-	Atlantique + Manche : oui
<b>Référence</b>	Méditerranée	Références DCE : Calvi, Sud Bastia, Ile du Soleil	Référence mixte : moyenne des points Calvi et Sud Bastia
	Atlantique	Point présentant les Tchl <i>a</i> moyennes les plus basses (Concarneau grand large)	Référence mixte : moyenne des points Men Er Roué et Les Hébihens
	Manche	-	Pas de référence spécifique à la Manche, utilisation de la référence mixte Atlantique
<b>Informations sur la saisonnalité des perturbations de la composition</b>	Méditerranée	Oui	Non
	Atlantique	Oui	Non
	Manche	-	Non

## 7. CONCLUSIONS

L'application aux trois façades métropolitaines des indices de composition pigmentaire développés initialement en Méditerranée et en Manche-Atlantique a montré qu'il n'y a pas un indice de composition « all in one » applicable partout, mais que les spécificités régionales doivent être prises en compte pour l'évaluation de la qualité de la composition phytoplanctonique.

En Méditerranée, les résultats de l'évaluation de la qualité de la composition phytoplanctonique par les indices ICPP Médit et ICBC sont fortement corrélés ( $R^2 = 0.93$ ). De plus, les relations pression / impact mises en évidence entre les nutriments et les EQRs de composition confirment que les deux indices répondent aux pressions exercées par les nutriments. Cependant, dans 2 cas sur 15, l'utilisation d'un des deux indices induit des différences importantes dans le classement final des points, qui sortent ou non du bon état écologique. Au vu de notre expertise en Méditerranée, le classement résultant de l'application de l'ICPP Médit nous paraît mieux refléter la réalité du terrain.

En Atlantique, une très bonne corrélation ( $R^2 = 0.98$ ) est obtenue entre les EQRs obtenus par l'ICPP Atlantique et l'ICBC, et l'évaluation croisée aboutit à un classement cohérent des sites échantillonnés. Cependant, l'ICBC ne répond pas aux proxys de pression.

En Méditerranée comme en Atlantique, l'indice ICPP présente l'avantage d'apporter des informations sur la saisonnalité des perturbations. En cela, il peut apporter des informations complémentaires utiles aux gestionnaires de l'environnement côtier.

En Manche, où les masses d'eau sont régulièrement soumises à des blooms de *Phaeocystis*, la méthodologie développée en Méditerranée ne s'applique pas puisque seul un pigment (l'alloxanthine) répond aux proxys de pression.

## 8. BIBLIOGRAPHIE

- Barlow, R.G., Aiken, J., Holligan, P.M., Cummings, D.G., Maritorea, S., Hookere, S., 2002. Phytoplankton pigment and absorption characteristics along meridional transects in the Atlantic Ocean. *Deep-Sea Research I* 47, 637–660.
- Goffart, A., 2019a. Consolidation de l'indice composition IC Médit pour les eaux côtières de Méditerranée. Rapport final de l'action 1 du projet « Indicateur de composition phytoplanctonique ». Convention de subvention ONEMA - Université de Liège, 38 pp.
- Goffart, A., 2019b. Elaboration d'une méthode de surveillance de la composition phytoplanctonique à grande échelle. Rapport final de l'action 3 du projet « Indicateur de composition phytoplanctonique ». Convention de subvention ONEMA - Université de Liège, 22 pp.
- Goffart, A., Andral, B., 2014. Validation de l'indice composition IC Médit dans des masses d'eau côtières méditerranéennes caractérisées par un gradient croissant d'eutrophisation. Rapport final de convention, action « Indice de composition ». ONEMA ET IFREMER, France, 33 pp.
- Lampert, L., 2015. Test d'un Indice de composition pigmentaire pour les secteurs Atlantique et Manche (DCE). Scientifique et technique 2015-02. IFREMER, Brest, 56 pp.
- Lampert, L., Hernandez-Fariñas, T., 2018. Détermination d'un indice de composition phytoplanctonique pigmentaire pour les eaux de la Manche et de l'Atlantique (DCE). Rapport final ONEMA - IFREMER n°24, Brest, France, 66 pp.
- Margalef, R., 1978. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanologica Acta* 1, 493-509.
- Prins, T.C., Baretta-Bekker, J.G., 2010. WFD phytoplankton metric *Phaeocystis*. Application in the Netherlands. Deltares 1203385-000-ZKS-0011.
- Rodriguez, F., Garrido, J.L., Crespo, B.G., Arbones, B., Figueiras, F.G., 2006. Size-fractionated phytoplankton pigment groups in the NW Iberian upwelling system: impact of the Iberian Poleward Current. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 323, 59–73.
- Schoemann, V., Becquevort, S., Stefels, J., Rousseau, V., Lancelot, C., 2005. *Phaeocystis* blooms in the global ocean and their controlling mechanisms: a review. *Journal of Sea Research* 53, 43-66.
- Smayda, T.J., 1980. Phytoplankton species succession In « The Physiological Ecology of Phytoplankton », ed. by I. Morris, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 493-570.

## 9. TABLE DES ILLUSTRATIONS

Tableau 1. Coefficients de corrélation de Spearman ( $\rho$ ) entre les pigments et les nutriments pour les stations de la façade atlantique échantillonnées entre mars et octobre 2016 et mars et octobre 2017. Données de Lampert & Hernandez-Fariñas (2018). Pour chaque pigment, les meilleures corrélations sont soulignées. ....	11
--	----

Tableau 2. Signification taxonomique des pigments diagnostiques en Atlantique, d'après Rodriguez et al. (2006) et Lampert (2015).	11
Tableau 3. Tchl $a$ moyenne et écart-types ( $\text{ng L}^{-1}$ ) pour les stations de la façade atlantique échantillonnées entre mars et octobre 2016 et mars et octobre 2017. Données de Lampert & Hernandez-Fariñas (2018).	12
Tableau 4. Calcul du sous-indice alloxanthine pour les points Concarneau large et Concarneau port (périodes productives 2016 et 2017), d'après les données de Lampert & Hernandez-Fariñas (2018).	
Tableau 5. Valeurs de l'ICPP Atlantique et de ses sous-indices	16
Tableau 6. Classement des points Atlantique évalués par l'ICPP Atlantique et l'ICBC.	17
Tableau 7. Matrice des indices et sous-indices de composition et des sels nutritifs pour l'Atlantique. Sels nutritifs moyennés sur la période d'étude (mars-octobre 2016 et mars-octobre 2017; données de Lampert & Hernandez-Fariñas 2018).	17
Tableau 8. Matrice de corrélation de Spearman ( $\rho$ ) entre les paramètres du Tableau 7. Les valeurs en rouge sont significatives.	17
Tableau 9. Coefficients de corrélation de Spearman ( $\rho$ ) entre les pigments et les nutriments pour les stations de la Manche échantillonnées entre mars et octobre 2016 et mars et octobre 2017. Données de Lampert & Hernandez-Fariñas (2018).	18
Tableau 10. Classement des points Méditerranée évalués par l'ICPP Méditerranée et l'ICBC.	20
Tableau 11. Matrice des EQRs de composition et des sels nutritifs pour la Méditerranée. Sels nutritifs moyennés sur les périodes d'étude (détails sur les périodes d'étude dans Goffart 2019a).	20
Tableau 12. Matrice de corrélation de Spearman ( $\rho$ ) entre les paramètres du tableau 11. Les valeurs en rouge sont significatives.	20
Tableau 13. Principales différences entre l'indice de composition ICPP développé par Anne Goffart et l'ICBC appliqué par Luis Lampert.	21
Figure 1. Représentation schématique de l'indice ICPP Atlantique.	11
Figure 2. Boîtes à moustaches de la Tchl $a$ ( $\text{ng L}^{-1}$ ) pour les stations de la façade atlantique échantillonnées entre mars et octobre 2016 et mars et octobre 2017. Données de Lampert & Hernandez-Fariñas (2018).	12
Figure 3. Evolution saisonnière (mars à octobre) des pigments retenus pour l'indice de composition ICPP Atlantique : boîtes à moustaches d'après les données 2016-2017 de Lampert & Hernandez-Fariñas (2018) et concentrations de référence calculées sur base des données disponibles. Le nombre de données mensuelles ( $n$ ) est indiqué sous l'axe des $x$ du graphe de la lutéine.	13

Figure 4. Courbe de référence de l'alloxanthine et positionnement des données des points Concarneau large et Concarneau port par rapport à la courbe de référence, d'après les données 2016-2017 de Lampert & Hernandez-Fariñas (2018).....	15
Figure 5. Grilles de qualité pour les indices et sous-indices ICPP Médit et ICPP Atlantique et pour l'EQR ICBC. ....	15
Figure 6. Relation entre les EQRs de composition obtenus par l'ICPP Atlantique et l'ICBC sur le jeu de données atlantiques. Les traits verts représentent les limites inférieures du bon état.....	16
Figure 7. (A) Relation entre les EQRs de composition obtenus par l'ICBC et l'ICPP Médit sur le jeu de données Méditerranée; (B) Relation entre les EQRs de composition obtenus par l'ICBC et l'ICPP sur les jeux de données Méditerranée (ICPP Médit) et Atlantique (ICPP Atlantique). Les traits verts représentent les limites inférieures du bon état. ....	19

## 10. GLOSSAIRE

ICBC : indice de composition phytoplanctonique développé par Lampert & Hernandez-Fariñas (2018).

ICPP Atlantique : Indice de **C**omposition phytoplanctonique basé sur l'analyse des relations **P**ressions / **P**igments et adapté aux eaux côtières atlantiques.

IC Médit 2014 : indice de composition phytoplanctonique développé sur base des données des eaux côtières corses. Indice non finalisé élaboré par Goffart & Andral (2014).

ICPP Médit : Indice de **C**omposition phytoplanctonique basé sur l'analyse des relations **P**ressions / **P**igments et adapté aux eaux côtières méditerranéennes. Indice faisant l'objet de ce travail.



Avec le soutien financier de

**AGENCE FRANÇAISE  
POUR LA BIODIVERSITÉ**  
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT

[www.agence-francaise-biodiversite.fr](http://www.agence-francaise-biodiversite.fr)



[www.uliege.be](http://www.uliege.be)