

Luis Lampert

Juin 2017 RST ODE/DYNECO/PELAGOS 2017-02

Calcul d'un indice de composition phytoplanctonique pigmentaire pour les eaux guyanaises (DCE)



Ile du Grand Connétable – Guyane française

Fiche documentaire

Numéro d'identification du rapport : RST.DYNECO n° 2017-02 Diffusion : libre <input checked="" type="checkbox"/> restreinte: <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/> Validé par : Adresse électronique : - chemin UNIX : - adresse WWW :	date de publication juin 2017 nombre de pages : 41 bibliographie : oui illustration(s) : oui langue du rapport : français	
Titre et sous-titre du rapport : Calcul d'un indice de composition phytoplanctonique pigmentaire pour les eaux guyanaises (DCE)		
Contrat n° _____ Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/> Rapport définitif <input type="checkbox"/> N° _____		
Auteur(s) principal(aux) : LAMPERT Luis	Organisme / Direction / Service, laboratoire IFREMER IFREMER/ODE/DYNECO-PELAGOS	
Collaborateur(s) :		
Cadre de la recherche : Programme : _____ Convention : _____ Projet : _____ Autres (préciser) : _____ Campagne océanographique : _____		
Résumé : Il est proposé dans cette étude, un indice de composition phytoplanctonique (DCE) basé sur les analyses pigmentaires (HPLC) des flores échantillonnées entre 2013 et 2015 dans la masse d'eau côtière de la Guyane française.		
Abstract : This study suggests an WFD composition index built with phytoplankton pigments (HPLC) gathered during 2013-2015 samplings in coastal water body of French Guiana.		
Mots-clés : Guyane française, DCE, phytoplancton, indice de composition, ICBC		
Rédacteur Nom : Lampert Luis Date : 11 février 2017 Visa	Vérificateur Anne-Laure Le Velly Françoise Andrieux Anne Daniel	Approbateur

SOMMAIRE

1.- INTRODUCTION	1
2.- MATERIEL ET METHODES	2
2.1 Calcul des indices de similarité.....	2
2.2 Zone d'études	3
2.3 Analyses	4
2.4 Définition de la « référence ».....	5
2.5 Simulations.....	6
3.- RESULTATS	8
3.1 Nutriments dissous.....	8
3.2 Abondances phytoplanctoniques	9
3.3 Concentrations pigmentaires.....	12
3.4 Indice de composition ICBC.....	18
3.4.1 Choix de la métrique	18
3.4.2 Choix des points de surveillance et de la « référence »	19
3.4.3 Calcul des indices de composition ICBC.....	22
3.4.4 Simulations	23
3.4.5 ICBC pigmentaire Vs. ICBC abondances	26
3.4.6 Grilles de niveau pigmentaire	27
3.5 Indice de biomasse (IB).....	28
3.6 Indice d'abondance (IA).....	28
4.- DISCUSSION/CONCLUSION	30
BIBLIOGRAPHIE	33
ANNEXES	35

1.- INTRODUCTION

Concernant l'utilisation de l'indice de composition phytoplanctonique (IC) par l'approche pigmentaire, rappelez-vous au chapitre « Introduction » du document « Test d'un Indice de composition pigmentaire pour les secteurs Atlantique et Manche (DCE) » (Luis Lampert 2015).

La perte d'information spécifique liée aux analyses pigmentaires par HPLC reste compatible avec leur utilisation dans les études des structures des communautés phytoplanctoniques (Clarke et Warwick 1994 ; Sherrard, Nimmo, et Llewellyn 2006). Avec le choix de biomarqueurs il est donc possible d'effectuer un lien entre complexité des assemblages phytoplanctoniques et la matrice pigmentaire obtenue par HPLC.

Si la chénotaxonomie ne permet pas de définir le phytoplancton jusqu'à l'espèce, elle permet d'approcher les fractions pico- et nanophytoplanctoniques, impossibles à détecter avec le microscope optique. C'est le cas des coccolithophoridés qui, avec la fixation au Lugol acide, perdent leurs coccolithes calcaires ou sont dissous. C'est le cas également des prasinophycées, haptophytes et cyanobactéries, qui peuvent représenter la biomasse dominante en été (L. Lampert 2001 ; L. Lampert et al. 2002).

Le but de ce travail est d'évaluer l'utilisation des pigments phytoplanctoniques pour construire un **indice de composition** en Guyane (au sens de la DCE) et d'estimer, à travers cet indice, le degré d'éloignement des points de suivi par rapport à une « référence ». Nous utiliserons des données pigmentaires des campagnes de surveillance DCE (2013-2015) pour bâtir cet indice de composition. Pour la méthodologie à appliquer nous avons retenu l'indice de Bray-Curtis tel que défini par Sherrard (Sherrard, Nimmo et Llewellyn 2006) et Lampert (Luis Lampert 2015). Puis ces indices devraient être confrontés aux indicateurs de pressions, s'ils sont disponibles.

Un indice de composition (phytoplanctonique) bâti avec des pigments présente comme avantages :

- Méthodes d'analyses HPLC plus rapides et reproductibles que les dénombrements,
- Les pigments prennent en compte les fractions nano- et pico-phytoplanctoniques,
- Méthode basée sur la biomasse pigmentaire et non sur l'abondance cellulaire.

Le désavantage est de ne pas avoir accès au niveau de l'espèce, mais ce point n'est pas limitant par la DCE dans la définition de l'indice de composition.

Nous regarderons également la possibilité d'utiliser les pigments dans la réalisation de l'Indice de biomasse (IB) et de l'Indice d'abondance (IA), qu'avec l'Indice de composition (IC) sont à la base de l'indicateur « phytoplancton ».

2.- METHODES

2.1- Calcul des indices de similarité

Pour la comparaison des points d'échantillonnage nous adoptons les indices de Bray-Curtis. Cet indice a été étudié et comparé avec des dénombrements cellulaires et d'autres indices de similarité sur le point L4 (Plymouth) par Sherrard (Sherrard, Nimmo, et Llewellyn 2006). Une première approche dans l'utilisation de cet indice a été menée dans les eaux de la Manche et de l'Atlantique (Luis Lampert 2015). Elle a permis de montrer son potentiel pour la réalisation d'un indice de composition pigmentaire au sens de la DCE.

Indice de composition Bray-Curtis (ICBC) : cet indice semi métrique est en réalité une distance (D_{14} selon la nomenclature de Legendre et Legendre (1998)) obtenue à partir de l'indice de similarité de Steinhaus (S_{17}) par la formule $D_{14} = 1 - S_{17}$. Dans son travail, Sherrard a utilisé l'indice de similarité de Bray-Curtis, mais il s'agit d'un abus de langage. Nous garderons cependant cette dénomination ICBC ($=S_{17}$) par soucis d'homogénéité avec la littérature (BCSI en anglais).

$$ICBC = S_{17} = \frac{2W}{A+B} \quad (\text{équation 1})$$

A et B sont les sommes des concentrations des pigments pour les échantillons à comparer. W est la somme des minimums de concentrations entre les deux échantillons considérés.

Les indices de similarité sont bornés entre 0 (plus faible similarité) et 1 (plus forte similarité). Une matrice est générée à partir du calcul des valeurs de l'indice 2x2 pour chaque couple de points de prélèvement. Nous retiendrons la colonne qui portera sur les comparaisons avec le point choisi comme référence (indice = 1).

Les calculs ont été effectués avec le logiciel libre de droits « R » version 3.0.1. Les distances ont été obtenues avec la commande « vegadist » du package « Vegan » version 2.0-10, puis elles ont été transformées en similarités par la formule : Similarité = 1-Distance. Les matrices pigmentaires ont été utilisées brutes, sans transformation préalable. Les classements hiérarchiques et les Nonmetric Multidimensional Scaling (NMDS) ont été réalisés avec R.

2.2- Zone d'études

Masse d'eau côtière (MEC)

La MEC guyanaise s'étend du Maroni jusqu'à l'Oyapock et depuis la côte et jusqu'à 10 km au large près des îlets (Tableau 2.1 et figure 2.1). Le programme de surveillance DCE mis en place en Guyane depuis 2013 a permis d'obtenir des concentrations en pigments phytoplanctoniques (ng/L) et en abondances cellulaires (cellules/L) sur l'ensemble de points de la MEC. Nous disposons des données qui couvrent la période 2013 à 2015, où le premier semestre 2014 n'a pas été échantillonné (tableau 2.2). Les points de surveillance dans la MEC sont au nombre de 7 et se situent entre l'embouchure du Maroni et celle de l'Approuague.

Tableau 2.1 : Points de la MEC guyanaise qui ont été échantillonnés entre 2013 et 2015

Masse d'eau	Memo Point	N° point	Libellé point
FRKC001	146-P-032	MEC28	MEC Les Hattes
	146-P-033	MEC29	MEC Kourou côte
	146-P-034	MEC30	MEC Iles du Salut
	146-P-035	MEC31	MEC Pointe Béhague
	146-P-011	MEC7	MEC Cayenne côte
	146-P-012	MEC8	MEC Ilet La Mère
	146-P-013	MEC9	MEC Grd Connétable

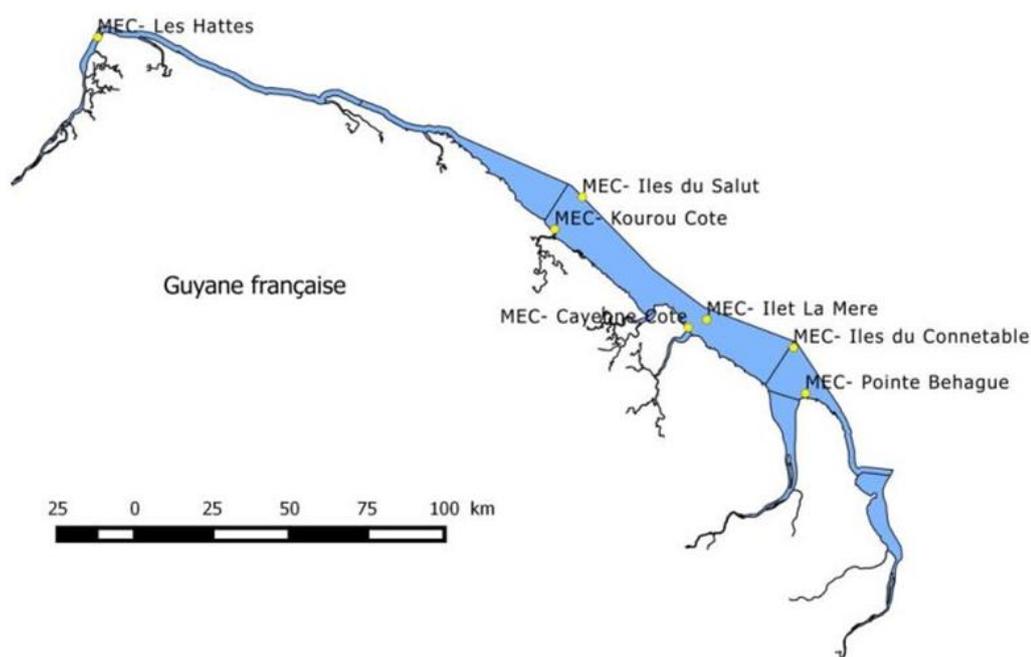


Figure 2.1 : Points de surveillance de la MEC

Plan d'échantillonnage

Sur la période 2013-2015, 85 échantillons destinés aux analyses ont été prélevés. La mise en place de la surveillance DCE a connu des décalages dans les périodes d'échantillonnage, ce qui peut nuire à l'interprétation des résultats. Avec le temps ce problème s'est réduit. Il reste

indispensable que l'ensemble des paramètres et points de surveillance soient prélevés au même temps, voir le même jour.

Tableau 2.2 : Jours du prélèvement des échantillons pour analyses en HPLC et abondances phytoplanctoniques. En bleu la saison sèche et en orange la saison humide

		2013												2014												2015												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Cayenne côte	MEC7							1	27	10	14	13	9																									
Iles La Mère	MEC8							30	27	27		22	16																									
Gd Connétable	MEC9							30	27	27		22	16																									
Les Hattes	MEC28							2	13	10	10	20	9																									
Kourou côte	MEC29						28		2	13	11	22	13																									
Iles du Salut	MEC30						28		2	13	11	22	13																									
Pte Béhague	MEC31										12	15	13	12																								

2.3- Analyses

Abondances phytoplanctoniques

Les abondances phytoplanctoniques ont été échantillonnées, en général, en même temps et dans les mêmes points de surveillance que le reste des paramètres DCE. Les cellules de la fraction microphytoplanctonique ont été identifiées jusqu'à l'espèce quand il a été possible et leur dénombrement réalisé selon la méthode d'Utermöhl (Utermöhl 1931). Les échantillons ont été prélevés sans préfiltration et fixés immédiatement dans du Lugol acide, puis gardés à l'ombre et stockés à l'abri de la lumière et de la chaleur jusqu'à leur analyse. La série des échantillons 2013-2015 a été dénombrée par le même opérateur (Sté. Asconit).

Les abondances cellulaires ont été regroupées en classes algales pour une meilleure lisibilité vis-à-vis des pigments. Nous avons ainsi retenu les classes suivantes : Diatomées, Dinoflagellés, Cryptophycées, Haptophycées, Chrysophycées+, Chlorophycées, Euglenophycées, Charophycées et Cyanophycées. La classe des Chrysophycées+ englobe les Chrysophycées, Raphidophycées, Synurophycées et Xanthophycées ; toutes trouvées en faibles abondances.

Analyses pigmentaires (HPLC)

Des volumes variables, selon la charge en particules de l'eau de mer, ont été filtrés sur des filtres GF/F de diamètre 25 ou 47 mm. Ces filtres sont été rapidement congelés et stockés pour leur expédition au laboratoire d'analyses. Les échantillons de 2013 ont été analysés par la société DHI, en Danemark ; puis ceux de 2014 et 2015 par le service d'analyses de pigments (SAPIGH) du Laboratoire d'Océanographie de Villefranche (LOV).

La méthode utilisée dans les deux laboratoires est celle décrite par van Heukelem (Van Heukelem et Thomas 2001) avec des légères variations (Hooker et al. 2005).

Les analyses réalisées par DHI présentaient des concentrations en chlorophylles C1, C2 et C3, tandis que pour ceux du SAPHIG, nous avons la chlorophylle C3 et C1+C2. Pour homogénéiser la matrice pigmentaire, nous avons procédé à l'addition des chlorophylles C1 et C2 des analyses de DHI.

Pour l'étude de l'indice de composition, les pigments retenus sont : Chlorophylle C3 (C3), Chlorophylle C1+C2 (C1+C2), Péridinine (PERI), Fucoxanthine (FUCO), Néoxanthine (NEO), Prasincoxanthine (PRASI), Violaxanthine (VIOLA), 19'-Hexanoyloxyfucoxanthine (HF), Diadinoxanthine (DIADINO), Alloxanthine (ALLO), Diatoxanthine (DIATO), Zéaxanthine (ZEA), Lutéine (LUTE), Chlorophylle-b (CHLAB) et Phéophytine (PHEO). La chlorophylle-*a* totale (TCHLA) n'a pas été utilisée car elle n'a pas de message taxonomique ; elle est un proxy de la biomasse phytoplanctonique totale et sera utilisée pour l'indice de biomasse (I_B). La Phéophytine peut se révéler fort intéressante pour caractériser une masse d'eau à condition que les prélèvements, jusqu'aux analyses, soit bien exécutée. Un mauvais stockage ou un long séjour du prélèvement au soleil, avant filtration, peut augmenter très fortement cette concentration et induire en erreur. Si des craintes sur ce point existent, il vaut mieux ne pas l'inclure dans la matrice pigmentaire. Faute d'informations à ce sujet, nous l'avons inclus. La matrice pigmentaire utilisée est celle présentée en annexe 1.

Nutriments dissous

Les analyses en nutriments dissous (nitrate, phosphate, silicate et ammonium) ont été réalisées en partie en métropole par des laboratoires d'analyses agréés, ainsi qu'en Guyane par Hydreco. Les méthodes utilisées n'ont toujours pas été celles préconisées par l'Ifremer (Aminot et Kérouel 2004 ; Daniel et Lampert 2016) pour la DCE à cause des difficultés liées au manque de moyens analytiques locaux. Actuellement, les analyses répondent au cahier des prescriptions. Ces données sont donc, à prendre avec prudence.

2.4- Définition de la « référence »

Principe du suivi avec un point référence

Deux types d'approches peuvent se présenter pour la comparaison des points de surveillance avec un point de référence :

- a) Référence locale : cherche à comparer l'indicateur du point de surveillance avec le point de référence au même moment pour statuer sur le degré d'éloignement ou de dégradation en fonction d'une grille,
- b) Référence passée : établit un patron historique sur le point de référence (sur plusieurs années, constituant ainsi « la référence »), puis l'on compare les points de surveillance de l'année « n » à cette référence historique. Dans ce dernier cas, le point référence dans l'année « n » est également comparé avec « la référence » historique afin de déceler des changements dans le temps (changements climatiques et variations à long terme).

Cette question n'a pas encore été tranchée, mais il semble y avoir un consensus sur la deuxième option.

Il pourrait être envisageable également, dans le cas de l'indice de composition, de ne pas comparer les points de surveillance à une référence, mais avec eux-mêmes sur une période passée. Ainsi, chaque point de surveillance aurait sa propre référence. Cette approche permet de s'affranchir de la forte variabilité spatiale des peuplements phytoplanctoniques et

de ne voir que leur évolution par rapport aux conditions physico-chimiques et géomorphologiques.

Les points référence doivent être très méticuleusement choisis, sinon l'indice de composition ne reflètera pas les changements sur des points impactés par rapport à la référence, qui elle est théoriquement peu influencée (ou pas) par les pressions. Dans l'idéal, les communautés présentes au point référence doivent être celles identifiées sur les autres points quand aucune influence ne vient les perturber. Les points référence déjà définis par la DCE répondent-ils à ce critère ? Manifestement « non » pour un certain nombre d'entre eux, dont le statut problématique vis-à-vis de la référence a été signalé par Buchet (Buchet 2010) puis Belin (Belin, Lamoureux, et Soudant 2014). L'utilisation des indices de similarité permet de comparer, sur la base d'une matrice pigmentaire, le degré d'éloignement d'un point de suivi du réseau par rapport au point référence. Il ne permettra pas de déduire si la différence constatée est due à une cause anthropique ou naturelle, à moins d'être sûr que le point référence n'a pas été impacté par les activités humaines.

2.5- Simulations

Afin de définir la sensibilité de l'indicateur ICBC, nous procéderons à des simulations de perturbations dans la composition de la flore phytoplanctonique. En partant d'une situation d'équilibre, correspondant aux moyennes des concentrations des pigments entre 2013 et 2015, et sur 4 points, nous allons ajouter des nouvelles flores chaque année, sur 6 ans (plan de gestion). Deux séries de simulations sont proposées.

Première série

Imaginons que sur le point côtier MEC7 nous voyons se développer, de plus en plus, de cyanophycées (pigment=zea). D'abord une année sur 6, puis 2 années sur 6, et jusqu'à 6 années sur 6 (Moy0=pas de cyanophycées, Moy6an=6 années avec cyanophycées sur le point MEC7). Quel sera l'impact sur l'ICBC ? Puis nous ajouterons un point de plus avec la même dynamique, et jusqu'à ce que les 4 points soient impactés en totalité par les cyanophycées (SIM1 à SIM4 dans figure 2.2 et annexe 2).

La matrice de cyanophycées utilisée, est une matrice fictive représentant une forte dominance de cette classe algale (figure 2.3).

Deuxième série

Une deuxième série de simulations a été mise en œuvre. Sur la base de la SIM1 nous avons ajouté, en plus des invasions des cyanobactéries, des variations aléatoires sur l'ensemble de pigments. Ceci permettra de mieux se rendre compte de la sensibilité de l'ICBC aux variations de la composition floristique. Nous avons ajouté quatre niveaux de variations aléatoires : $\pm 25\%$, $\pm 50\%$, $\pm 75\%$ et $\pm 90\%$ (annexe 3).

Ces séries de simulations ont été appliquées aux matrices pigmentaires, puis aux matrices d'abondances. La même procédure décrite précédemment (figure 2.2) a été appliquée aux abondances dans la première série, puis dans la deuxième série, nous avons utilisé la matrice

de cyanobactéries de la figure 2.3-bas. Les matrices utilisées pour les calculs des ICBC se trouvent dans les annexes 4 et 5.

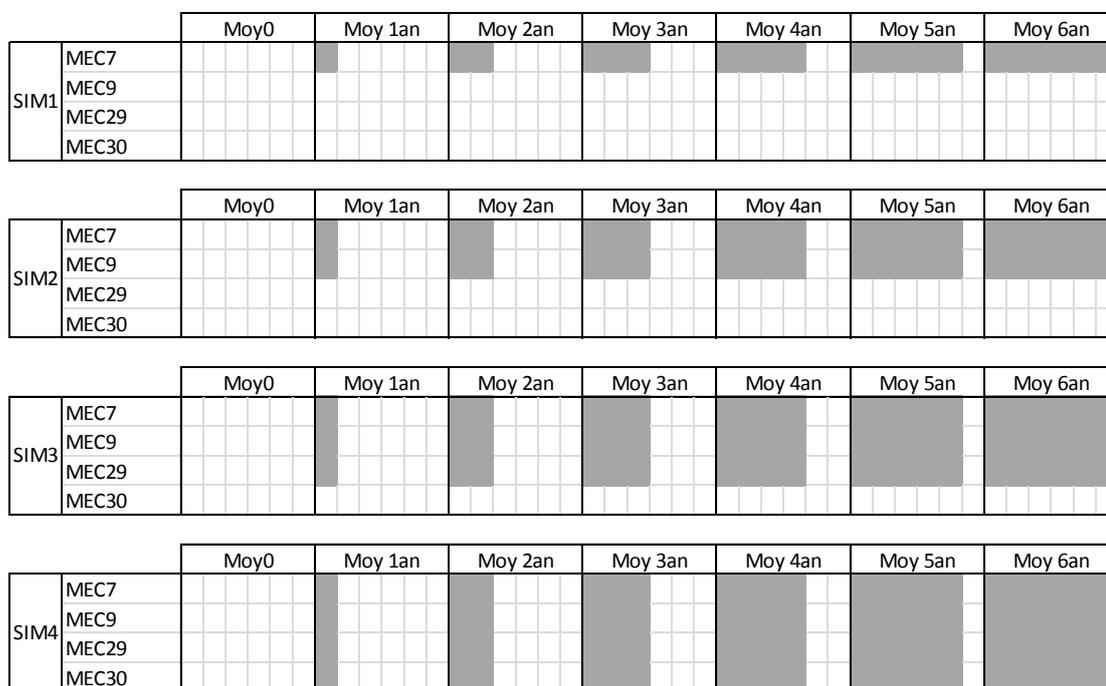


Figure 2.2 : Schéma représentant la stratégie des simulations de la première série SIM1 à SIM4. En grisé sont indiquées les années et les points où les cyanophycées sont dominantes

	C3	C1+C2	PERI	FUCO	NEO	PRASI	VIOLA	HF	DIADINO	ALLO	DIATO	ZEA	LUTE	CHLB	PHEO
CYANO-1	0	25	0	40	0	99	50	0	32	0	0	1500	60	358	0

	CRYPTO	DINO	DIATO	CHLORO	EUGLE	CYANO
CYANO-1	1000	1000	10000	50000	1000	300000

Figure 2.3 : Matrice fictive d'un point envahi par les cyanophycées. Matrice pigmentaire en haut, matrice des abondances en bas

3.- RESULTATS

Avant de réaliser les calculs des indices de composition, nous étudierons les données des dénombrements phytoplanctoniques ainsi que la distribution des pigments sur la période 2013-2015. Il est indispensable de connaître leur variabilité afin d'éviter des erreurs d'interprétation dans les indices de composition. Les nutriments dissous seront sommairement présentés afin de mieux interpréter l'évolution des flores phytoplanctoniques.

3.1- Nutriments dissous

Pour le phosphate, les concentrations obtenues entre 2013 et 2015 présentent une forte stabilité sur les sept points de suivi (figure 3.1).

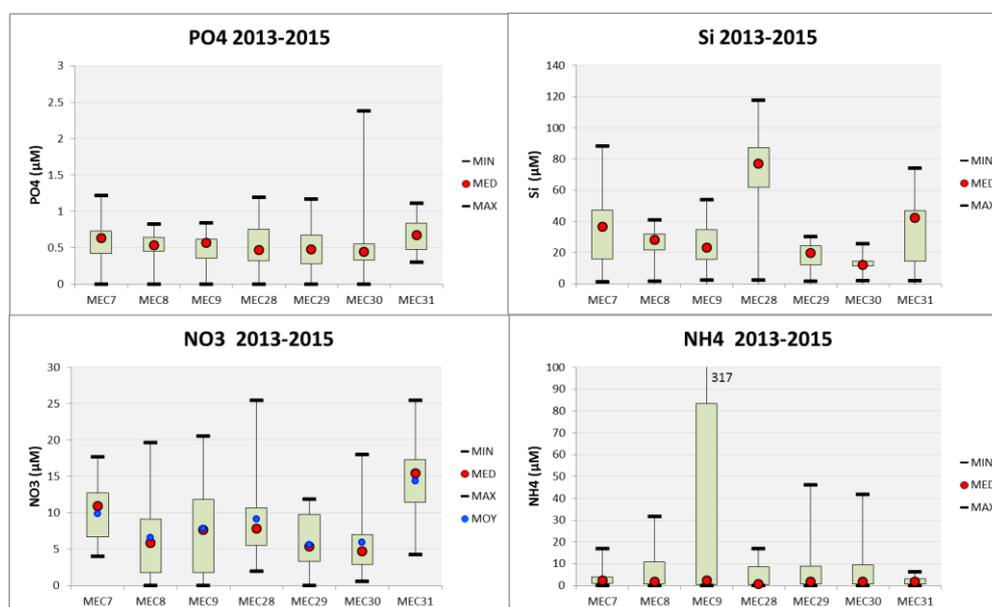


Figure 3.1 : Boîtes à moustaches avec les concentrations des principaux nutriments dissous analysés entre 2013 et 2015

Les MEC28 et MEC31 présentent les plus fortes médianes en silicates, le MEC30 la plus faible. Les médianes en ammonium sont faibles, mais nous observons toutefois des valeurs qui peuvent atteindre plus de 10 µM NH4. Le cas extrême est celui de la MEC9 (Gd. Connétable) qui présente une valeur de 317 µM. Ces fortes valeurs sont la conséquence du placement du point d'échantillonnage « sous » le courant de l'île. Aujourd'hui, ce point a été repositionné « au » courant de cette île. Hormis les MEC28 et MEC31 qui présentent les valeurs extrêmes, le point côtier MEC7 semble avoir de plus fortes concentrations en nitrate. Les plus faibles concentrations en nitrate et phosphate sont plutôt observées en saison sèche (figures non présentées dans ce rapport).

3.2- Abondances phytoplanctoniques

Les eaux chaudes de la Guyane nous réservent une surprise. Loin d’avoir une abondance majoritaire en cyanophycées, qui est caractéristique des eaux chaudes et estuariennes, elles sont dominées en très forte majorité par les diatomées (Tableau 3.1 et figure 3.2). Ces moyennes, qui vont de 76 à 91 % de la dominance, représentent l’essentiel des flores. Les chlorophycées se situent entre 1 et 10 %, les dinoflagellés entre 1 et 8 %, et les euglenophycées et cyanophycées entre 1 et 6 %. Des taxons appartenant aux classes de cryptophycées, chrysophycées, raphidophycées, charophycées et haptophycées ont également été observés, mais restent très minoritaires au regard des diatomées. Les haptophycées ont été fortement représentées lors des efflorescences sur le points MEC30 (kourou côte) en 2013, avec 64 % de dominance le 28/06/2013 et 27 % le 22/11/2013.

Tableau 3.1 : Moyennes des dominances (%) par point de surveillance entre 2013 et 2015

	date	crypto	Hapto	Dino	Diato	Chryso+	Charo	Chloro	Eugle	TOTeuc.	Cyano
MEC 28 (L-H)	2013-2015	0	0	1	91	0	0	1	1	94	6
MEC 29 (Kou-C)	2013-2015	0	0	3	84	1	0	9	2	99	1
MEC 30 (Kou-L)	2013-2015	0	6	2	84	0	0	5	1	98	2
MEC 31 (P-Bé)	2013-2015	1	0	4	82	0	0	7	5	100	0
MEC 7 (Cay-C)	2013-2015	0	0	3	88	0	0	2	6	99	1
MEC 8 (I-M)	2013-2015	1	0	8	81	0	0	7	3	99	1
MEC 9 (GC)	2013-2015	0	0	2	76	0	0	10	3	98	2

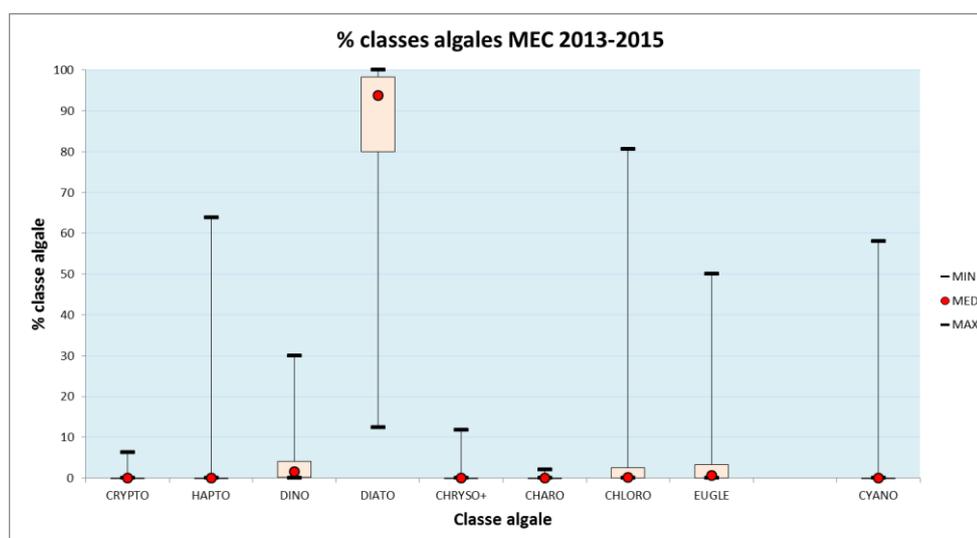


Figure 3.2 : Distribution en boîtes à moustaches des dominances par classe algale entre 2013 et 2015

Les abondances maximales ont dépassé les 5 000 000 cellules/L. Les classes algales dépassant le million de cellules par litre n’a concerné que les diatomées. En moyenne, les abondances cellulaires ont été supérieures lors de la saison humide (figure 3.3). Huit efflorescences de plus de 1 000 000 cellules/L ont été observées sur les 85 échantillons effectués entre juillet 2013 et août 2015. La moitié de ces efflorescences est composée de la diatomée *Skeletonema tropicum*.

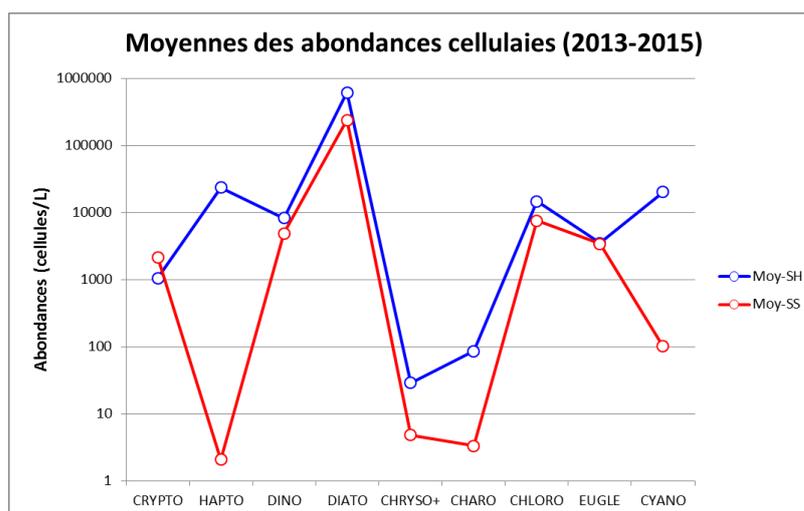


Figure 3.3 : Saisonnalité des abondances cellulaires moyennes sur l'ensemble de points de la série 2013-2015. SH : saison humide, SS : saison sèche.

Bien que les plus fortes abondances de diatomées soient atteintes sur les points Kourou côte (MEC29) et Iles du Salut (MEC30), la plus forte médiane est observée dans le point Les Hattes (MEC28) (figure 3.4).

Nous constatons une faible variabilité entre les points de surveillance. La dominance des diatomées est relativement constante sur tous les points. Ceci est également le cas pour les classes de dinoflagellés, chlorophycées et euglenophycées, où, à part les données extrêmes, les médianes restent similaires d'un point à l'autre.

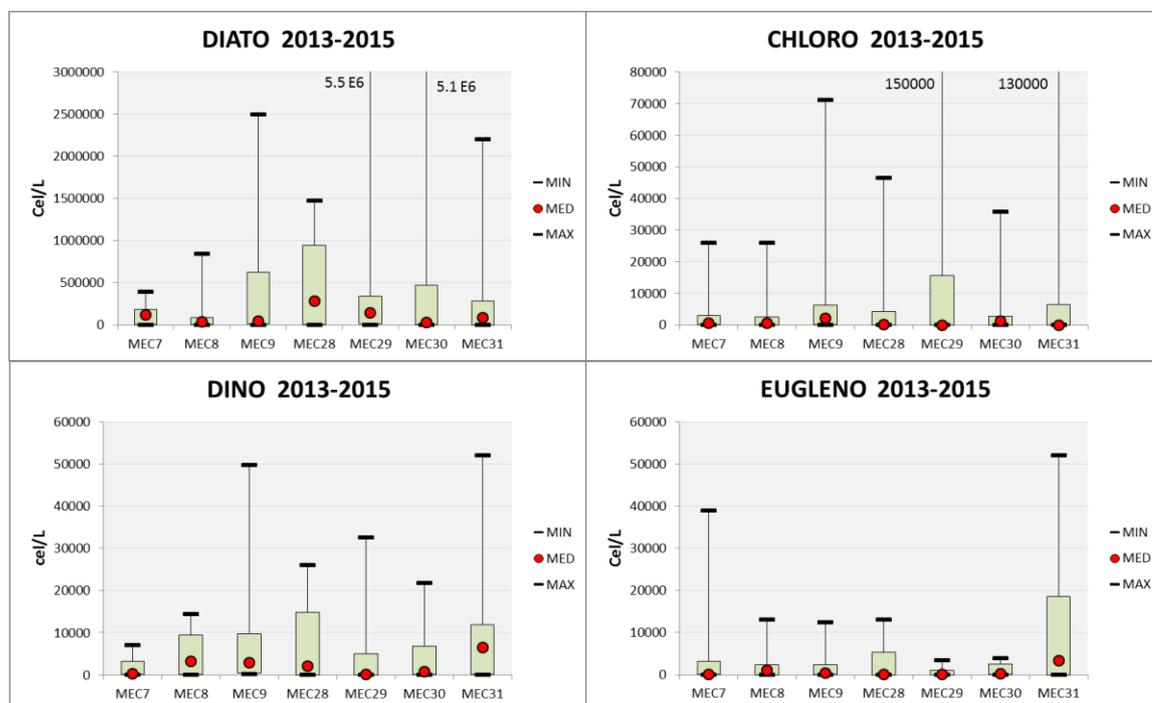


Figure 3.4 : Boîtes à moustaches des abondances de diatomées, chlorophycées, dinoflagellés et euglenophycées sur la période 2013-2015 et sur les 7 points de surveillance

Les différences dans la composition des flores n'est donc pas fortement impactée par le facteur « côte-large » sur les 10 km de frange littorale échantillonnée. Le facteur « saison » ne semble pas avoir de fort impact sur les principales classes algales non plus (figure 3.5).

Les dénombrements présentent une forte proportion des taxons marins pélagiques, mais sont également observés des taxons benthiques, d'eau saumâtre et d'eau douce, entrainés par les fleuves côtiers et/ou remis en suspension par l'hydrodynamisme.

Les abondances de diatomées présentent une dé-corrélation temporelle entre les campagnes de 2013 et 2014-2015 (figure 3.6). Ceci peut suggérer des problèmes dans les dénombrements et/ou une très forte variabilité interannuelle. S'il s'agit de variabilité interannuelle, elle est supérieure à la variabilité saisonnière. Si les abondances varient fortement, ce n'est pas le cas des dominances, qui restent similaires chaque année, avec une dominance marquée des diatomées.

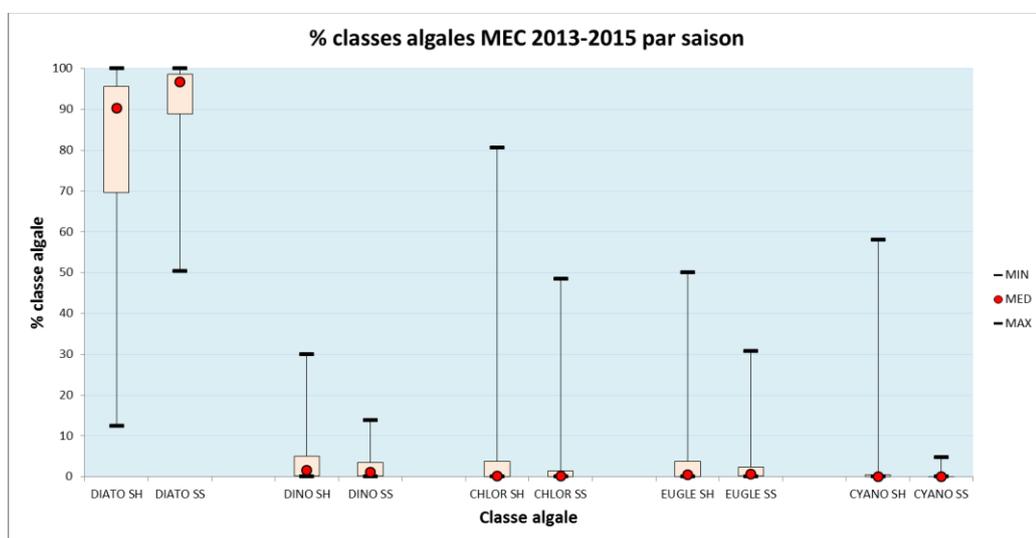


Figure : 3.5 : Dominance des principales classes algales par saison entre 2013 et 2015. SH : Saison humide [décembre à juillet] ; SS : Saison sèche [aout à novembre]

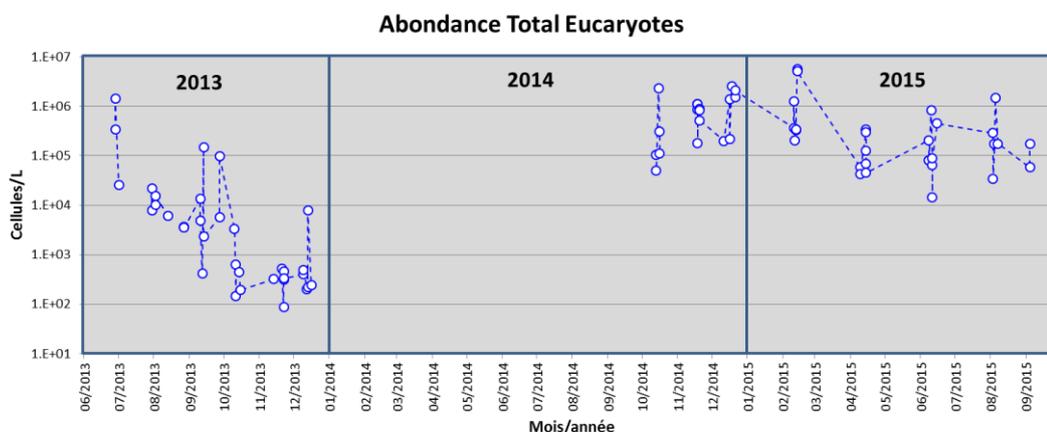


Figure 3.6 : Evolution des abondances des eucaryotes totaux pour la période échantillonnée 2013-2015

Les espèces de diatomées dominantes dans les échantillons de 2013 et 2014-2015 sont présentées dans le tableau 3.2. Nous retrouvons l'espèce *Skeletonema tropicum*, dominante chez les diatomées. Suivi de *Minidiscus* sp. en 2013 et *Pravifusus hyalinus* en 2014-2015. Les cortèges floristiques sont similaires sur les deux campagnes, à l'exception des espèces du deuxième rang (*Minidiscus* sp. et *Pravifusus hyalinus*).

Tableau 3.2 : Pourcentage des principales espèces de diatomées par rapport à l'abondance totale des diatomées pour les deux campagnes de mesures (2013 et 2014-2015)

Campagne	Espèce	%
2013	<i>Skeletonema tropicum</i>	28
2013	<i>Minidiscus</i> sp.	27
2013	<i>Nitzschia longissima</i>	8
2013	<i>Detonula pumila</i>	6
2013	<i>Aterionellopsis glacialis</i>	3
2013	<i>Chaetoceros</i> sp.	3
2013	<i>Leptocylindrus</i> sp.	2
<hr/>		
2014-2015	<i>Skeletonema tropicum</i>	37
2014-2015	<i>Pravifusus hyalinus</i>	23
2014-2015	<i>Chaetoceros</i> sp.	5
2014-2015	<i>Leptocylindrus</i> sp.	5
2014-2015	<i>Nitzschia longissima</i>	5
2014-2015	<i>Minidiscus</i> sp.	3
2014-2015	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	2
2014-2015	<i>Pleurosigma</i> sp.	2
2014-2015	<i>Hemiaulus sinensis</i>	2

En conclusion, les eaux marines guyanaises présentent une très forte stabilité spatiale, saisonnière et interannuelle. Nous nous intéresserons uniquement aux classes algales, car c'est le niveau de définition obtenu par les résultats pigmentaires. Nous pourrions alors mieux comparer les résultats obtenues avec les deux séries de données.

3.3- Concentrations pigmentaires

La biomasse phytoplanctonique totale (TCHLA) est celle couramment observée dans les eaux côtières, de l'ordre de 1 à 10 µg/L (figure 3.7). Trois valeurs de plus de 30 000 ng/L CHLA ont été observées sur les 85 échantillons analysés, la plus forte concentration correspondant à l'échantillon du point MEC31 avec 128 823 ng/L (Pointe Béhague, le 15 octobre 2014).

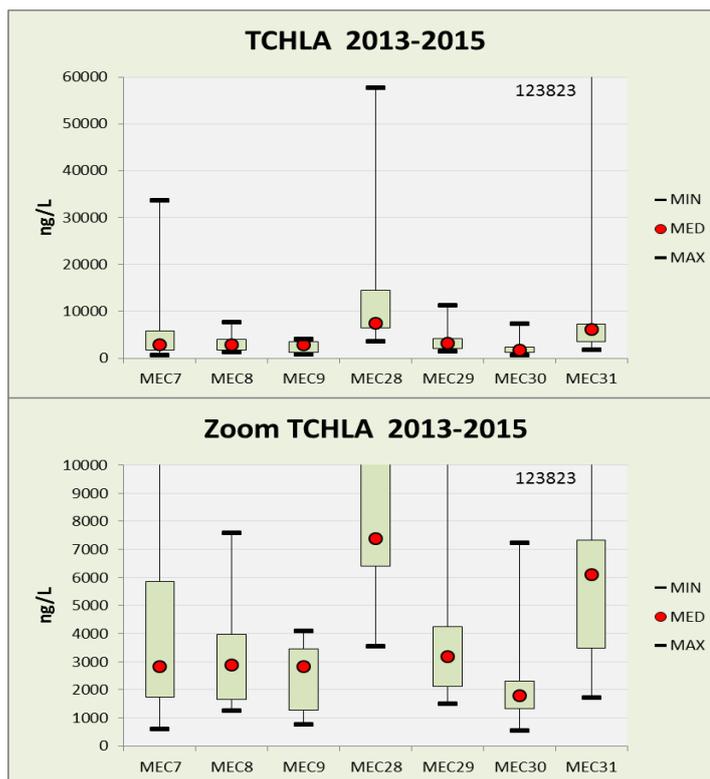


Figure 3.7 : Médiannes de la chla totale (TCHLA) par point de surveillance sur la période 2013-2015. En bas : zoom sur les valeurs inférieures à 10 000 ng/L

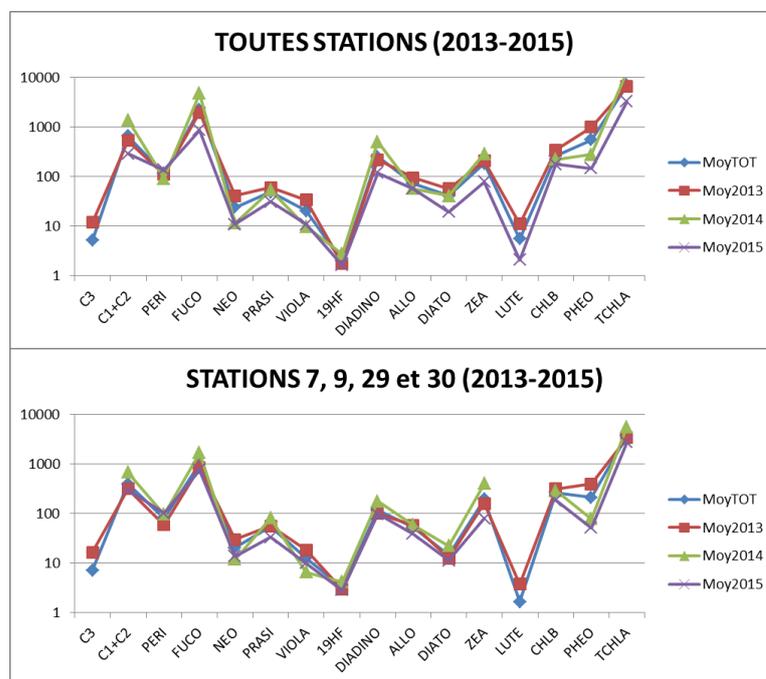


Figure 3.8 : Moyennes par année des pigments analysés sur tous les points (en haut) et les quatre points proposés (en bas)

Les points MEC28 et MEC31 présentent des concentrations médianes en TCHLA d'environ le double des autres points de surveillance. Ces deux points ont été déjà décrits par le passé

comme étant atypiques et non représentatifs de la masse d'eau côtière guyanaise (Luis Lampert, Bryère, et Gohin 2015 ; Luis Lampert, Bryère, et Gohin 2016). Pour les autres points, les médianes oscillent entre 1 500 et 3 000 ng/L. La boîte contenant 50 % des valeurs de la MEC7 (Cayenne côte) atteint 6 000 ng/L (centile 75).

La distribution des moyennes pigmentaires, sur les trois années, montre une forte régularité interannuelle (figure 3.8 haut), ce qui conduit à des rapports inter-pigmentaires similaires. Ceci est fort intéressant pour les études pigmentaires et suggère la stabilité interannuelle des populations phytoplanctoniques. En ne gardant que les quatre points suggérés (MEC7, 9, 29 et 30) la distribution par pigment reste sensiblement la même (figure 3.8 bas) ($R^2=0.995$, $p<0.001$).

La régularité des moyennes annuelles peut cependant masquer des fortes dispersions des valeurs. Dans la figure 3.9 sont présentées les concentrations des analyses pour la série 2013 (réalisé par DHI) et 2014-2015 (réalisées par le LOV). Sur ces deux séries, les médianes restent les mêmes pour les principaux pigments biomarqueurs. Nous pouvons remarquer que la chlorophylle-c3 (C3) présente une plus forte dispersion en 2013, tout en gardant la même médiane. Cet effet de forte dispersion est également présent pour la néoxanthine, la prasinoxanthine et la violaxanthine. La lutéine est très faiblement représentée dans les échantillons pour pouvoir construire une boîte de dispersion.

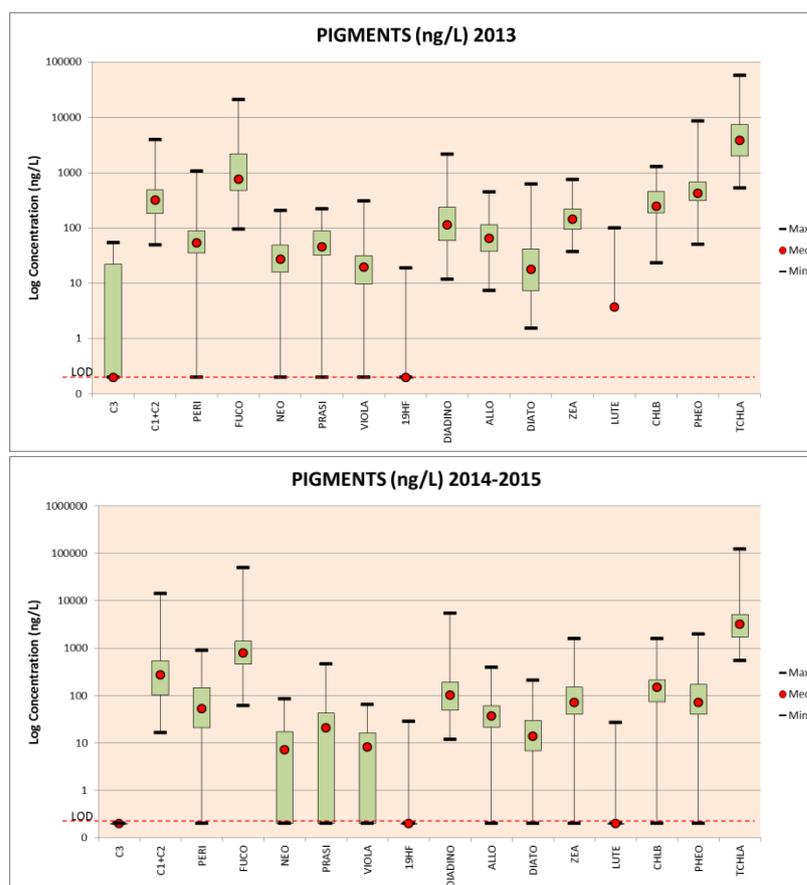


Figure 3.9 : Boîtes à moustaches des pigments analysés en 2013 par DHI (en haut) et 2014-2015 par le LOV (en bas)

L'évolution des concentrations pigmentaires par point montre que la fucoxanthine suit de près l'évolution de la TCHLA (figures 3.7haut et 3.10) ($R^2=0.991$, $p<0.001$). Sur les principaux biomarqueurs, nous observons une forte régularité de distributions entre points de surveillance. Les plus fortes différences sont observées sur les MEC28 et MEC31, concernant l'alloxanthine et la prasinoxanthine, ce qui nous conforte sur la suggestion de ne pas inclure ces deux points dans les surveillances futures.

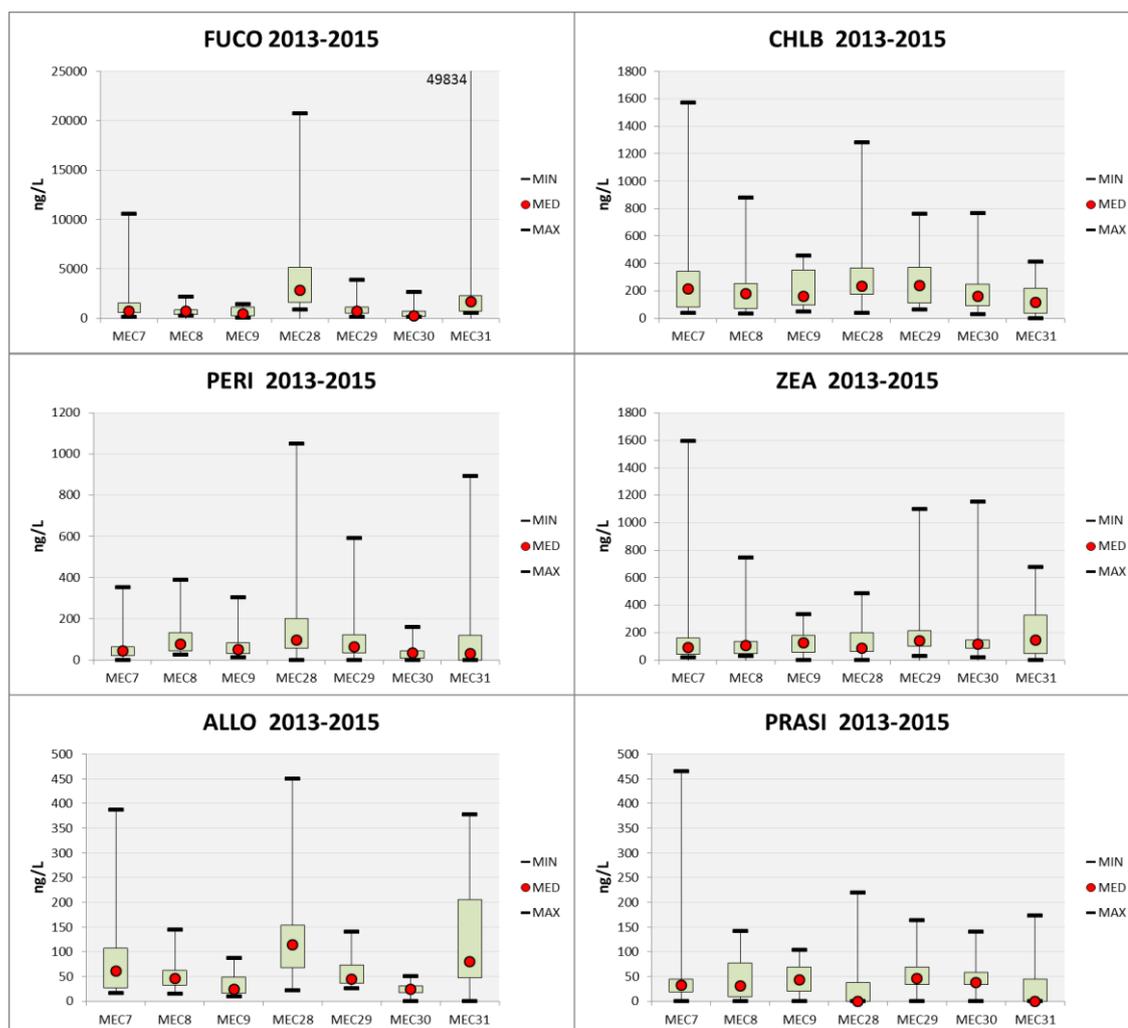


Figure 3.10 : Concentrations médianes et dispersion des principaux pigments biomarqueurs par point de surveillance, sur la période 2013-2015

D'une année sur l'autre, les concentrations en fucoxanthine peuvent varier d'un ordre de grandeur, mais aucune saisonnalité n'est clairement mise en évidence (figure 3.11). Il faudrait un minimum de 6 années d'échantillonnage pour tirer des conclusions plus robustes sur ce sujet.

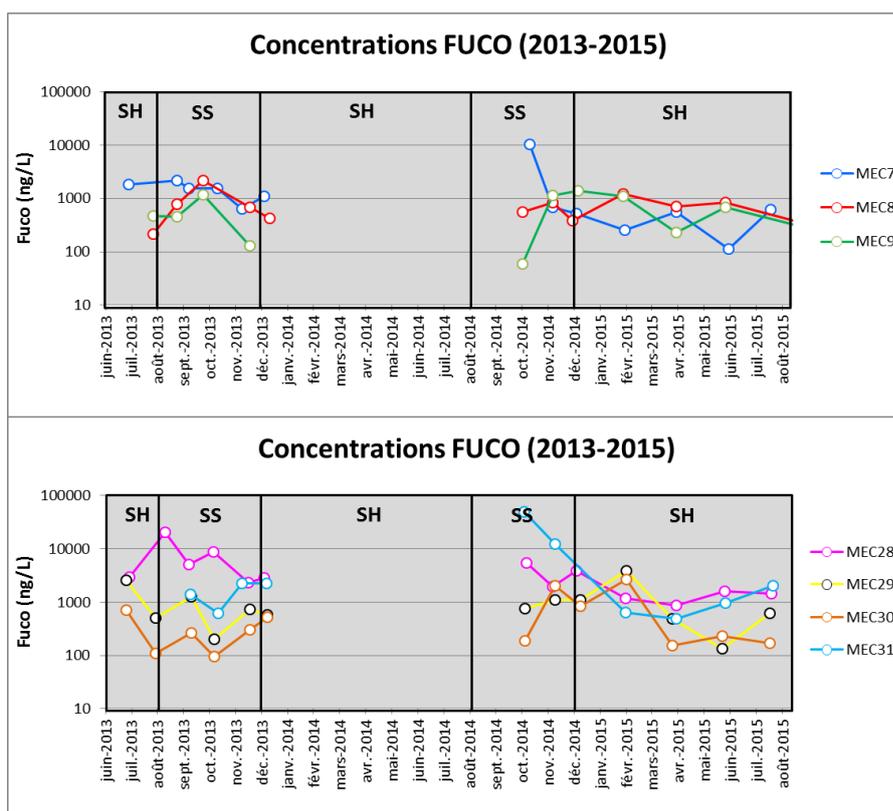


Figure 3.11 : Evolution saisonnière des concentrations en fucoxanthine sur les 7 points de surveillance entre 2013 et 2015

Dans la figure 3.6 nous avons remarqué le saut d'échelle entre le total des eucaryotes en 2013 par rapport à la série 2014-2015. Puisque le phytoplancton est composé en grande majorité par des diatomées, nous pouvons superposer l'évolution temporelle de la fucoxanthine avec celles des diatomées (figure 3.12).

Cette figure présente une distribution cohérente en 2013 ; puis en 2014 et 2015, les abondances augmentent de deux ordres de grandeur, tandis que les concentrations en fucoxanthine restent au même niveau de 2013 ($R^2=0.039$, $p=0.042$). Plusieurs causes peuvent conduire à ce résultat :

1. une erreur de comptage, et/ou une amélioration des capacités des opérateurs du microscope à identifier et dénombrer les cellules phytoplanctoniques,
2. des erreurs dans les analyses en HPLC,
3. des dégradations des échantillons entre le prélèvement et l'analyse (microscope et HPLC),
4. des différences de méthode entre laboratoires d'analyses,
5. des diatomées plus petites en 2014-2015, et/ou contenant moins de fucoxanthine.

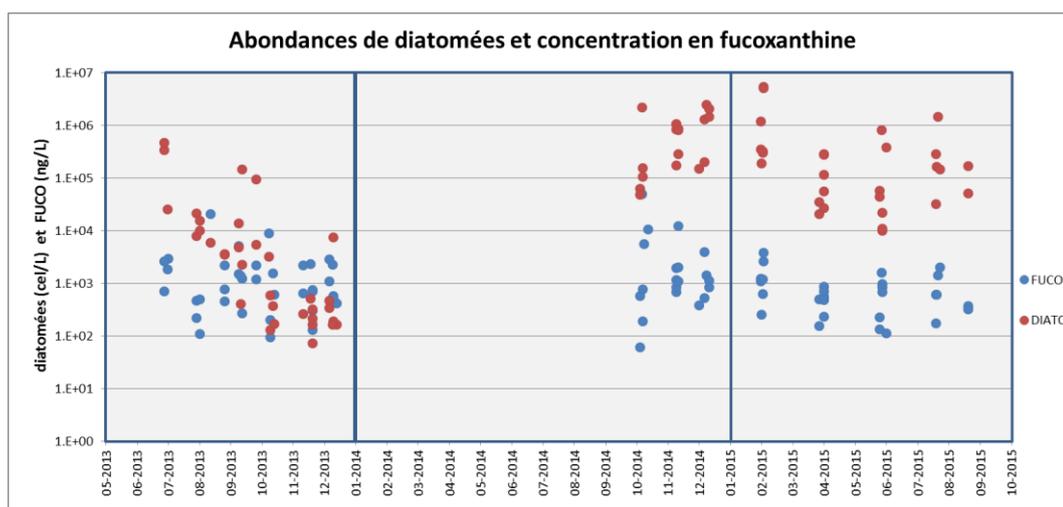


Figure 3.12 : Evolution temporelle des abondances de diatomées et des concentrations en fucoxanthine

Une erreur d'identification et/ou de dénombrement paraît peu probable s'agissant des diatomées. Leur taille et forme font que ce sont les plus faciles à dénombrer. Une erreur dans la chaîne de calculs du prestataire pourrait être possible.

Des erreurs dans les analyses HPLC peuvent arriver, et elles sont arrivées, mais elles ont été rapidement corrigées. Les deux laboratoires sont des références mondiales en analyses HPLC, utilisant la même méthode d'analyses.

Des dégradations des échantillons pourraient expliquer ces différences. Du prélèvement à l'analyse des échantillons par microscopie, des phases mal réalisées ont pu exister : trop de lumière, température, échantillonnage, mauvais fixateur ou périmé. Les filtres congelés destinés aux analyses HPLC peuvent subir une rupture de la chaîne du froid. Mais dans ce cas, nous n'aurions pas une si bonne reproductibilité d'une année sur l'autre (figure 3.8).

Le changement des assemblages phytoplanctoniques pourrait expliquer en partie ces différences (tableau 3.2). Une forte abondance de petites cellules peut avoir une faible biomasse, et à l'inverse, une faible abondance avec des grosses cellules aura une forte biomasse. Il s'agit d'un phénomène connu en écologie phytoplanctonique.

Pour mieux cerner ce dernier point, nous avons regardé les données du tableau 3.2, où cette différence pourrait correspondre à la différence de taille (biovolume) entre *Minidiscus* sp. et *Pravifusus hyalinus*. Nous constatons cependant, que les biovolumes de ces deux taxons sont comparables. La composition pigmentaire de ces espèces pourrait être atypique également, mais malheureusement nous ne disposons pas de données bibliographiques concernant les profils pigmentaires de ces deux taxons.

En conclusion, les pigments restent très stables d'une année sur l'autre et plus particulièrement pour les 4 points suggérés (MEC7, 9, 29 et 30).

3.4- Indice de composition (ICBC)

Le but de l'ICBC est de donner une notation (couleur) à la masse d'eau guyanaise sur un plan de gestion de 6 années, et ceci à l'aide des mesures obtenues sur tous les points de la MEC guyanaise sur cette période. Mais avant d'arriver à la définition de l'ICBC, nous devons définir la métrique des mesures et le choix de la « référence » ; puis calculer cet indicateur et sa sensibilité aux changements.

3.4.1 Choix de la métrique

Pour calculer l'ICBC nous devons regrouper les mesures pigmentaires obtenues sur les points de surveillance et sur la période d'un plan de gestion. Ce regroupement de valeurs sera à la base d'une matrice permettant de calculer l'indice ICBC. Nous pouvons donc utiliser différentes métriques : la moyenne, la médiane ou le P90 des séries pigmentaires. Laquelle répond mieux à nos besoins ?

Pour répondre à cette question, nous avons calculé la variation d'un paramètre fictif sur 6 ans et pour 5 cas différents (tableau 3.3).

Tableau 3.3 : Calcul des moyennes, des médianes et du P90 sur 5 cas d'étude à des concentrations croissantes

		CAS D'ETUDE				
		A	B	C	D	E
ANNEE	1	20	20	20	20	20
	2	20	20	20	20	200
	3	20	20	20	200	200
	4	20	20	200	200	200
	5	20	200	200	200	200
	6	200	200	200	200	200
MOY		50	80	110	140	170
P90		110	200	200	200	200
MED		20	20	110	200	200

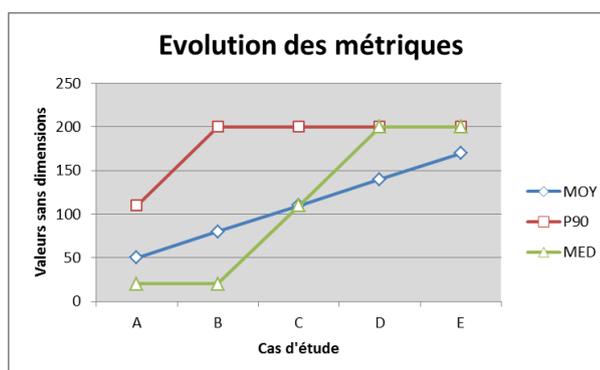


Figure 3.13 : Evolution de la métrique selon le cas d'étude

Dans la figure 3.13 nous constatons que la seule métrique qui respecte un gradient régulier est celle de la moyenne ; les autres présentent des paliers. Concrètement, si nous devons calculer l'ICBC avec la médiane des CAS A et B, nous aurions le même indice, car la médiane

présente la même valeur (20 pour les cas A et B). Pour le P90 nous observons un scénario similaire, mais pour les cas d'étude de B à E.

Donc, nous portons notre choix de métrique de regroupement des concentrations sur la moyenne arithmétique.

3.4.2 Choix des POINTS DE SURVEILLANCE et de la « REFERENCE »

Choix des points de surveillance

Lors des études précédentes nous avons suggéré de garder seulement 4 points de surveillance, deux à la côte et deux au large (MEC7, 9, 29 et 30). Avec eux, il était possible de rendre une représentation correcte de l'ensemble de la masse d'eau guyanaise (Luis Lampert, Bryère, et Gohin 2015 ; Luis Lampert, Bryère, et Gohin 2016). Cette suggestion a été validée pour les paramètres CHLA et TURBI, mais est-ce valable pour la composition phytoplanctonique ?

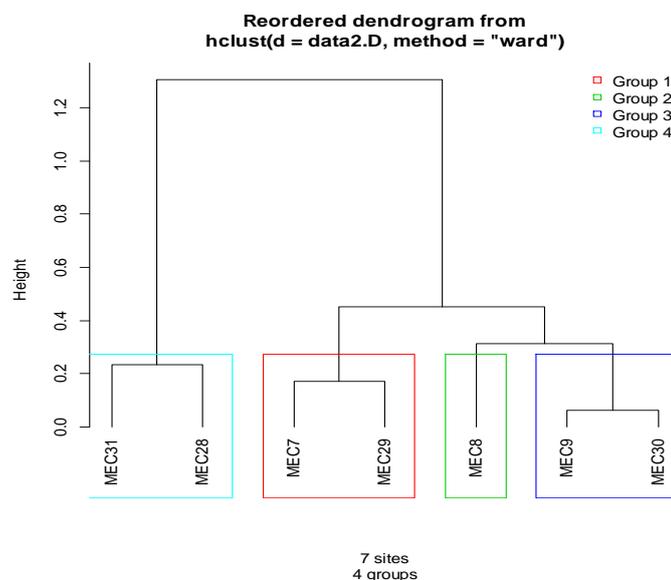


Figure 3.14 : Regroupements hiérarchiques (clusters) des 7 points de suivi selon leur composition pigmentaire moyenne sur la période 2013-2015

Avec la matrice des moyennes pigmentaires de tous les points de surveillance, sur la période 2013-2015, nous avons réalisé des regroupements hiérarchiques (figure 3.14). La division en 4 groupes, classe séparément les deux points que nous avons suggéré d'éliminer (MEC28 et MEC 31), puis des points côtiers (MEC 7 et MEC 29) et les points du large (MEC 9 et MEC 30). Le MEC 8 (Ilet La Mère) se situe entre les points côtiers et ceux du large.

Les distances entre ces groupes peuvent être représentées dans un plan à deux dimensions par des NMDS (Nonmetric Multidimensional Scaling), où les points seront placés selon leur similitude (Borcard, Guillet, et Legendre 2011). Dans la figure 3.15 les points MEC 28 et MEC 31 sont opposés aux autres points par l'axe NMDS1. A gauche de cet axe nous trouvons les points du large, puis les points côtiers plus proches de l'axe vertical. Nous avons donc

confirmation que selon la matrice pigmentaire, les deux points, MEC 28 et MEC 31, restent éloignés des points de surveillance que nous avons suggérés comme étant représentatifs de la masse d'eau côtière guyanaise.

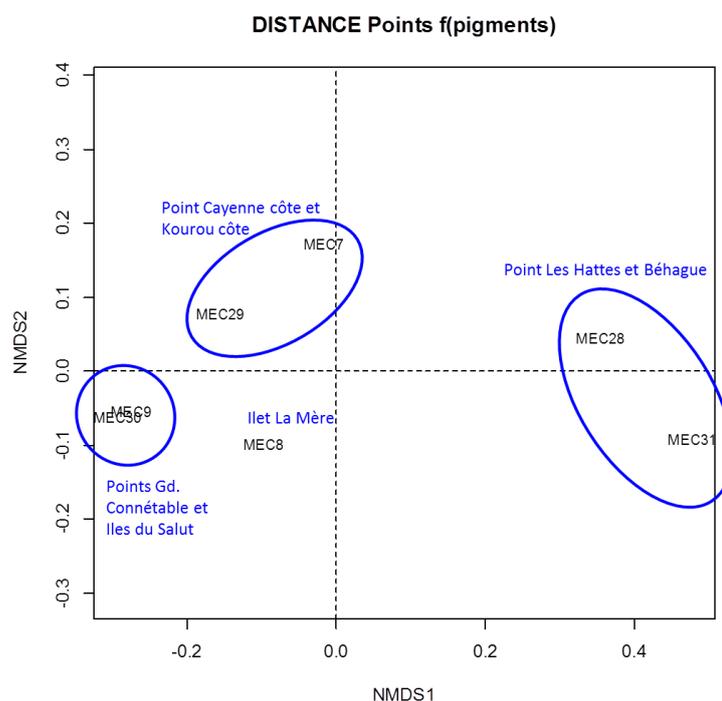


Figure 3.15 : Distances sur deux axes, des points de surveillance selon la méthode NMDS

Mais, quelle est l'influence de ces points « atypiques » sur le calcul de l'ICBC ? Pour y répondre, nous avons calculé l'ICBC des 7 points de suivi sur la base des moyennes de pigments de la série disponible (2013-2015) en utilisant comme « référence » la moyenne des 4 points suggérés (MEC7, 9, 29 et 30). Nous constatons que les plus forts éloignements, par rapport à la « référence », correspondent aux points MEC 28 et MEC 31 (figure 3.16).

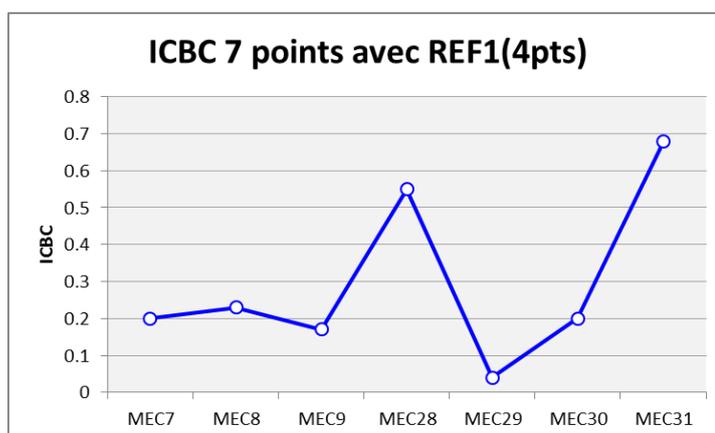


Figure 3.16 : Calcul des ICBC des 7 points de suivi avec la série pigmentaire 2013-2015 et en utilisant comme « référence » la moyenne des points MEC7, 9, 29 et 30

Choix de la « REFERENCE »

Nous devons maintenant nous intéresser au choix de la « référence », qui peut être :

- Un seul point particulier,
- Les deux points de surveillances extérieures (Iles du Salut et Gd. Connétable),
- Les 4 points suggérés (MEC7, 9, 29 et 30),
- Tous les points disponibles.

Une fois décidé la configuration de la « référence », il faut statuer sur quelle période prendre sa valeur : la moyenne des 6 premières années de la période de gestion ? 3 ans ? Autre ?

Le choix d'un seul point considéré comme « référence » voudrait dire qu'il est exempt des impacts anthropiques pouvant modifier la composition floristique du phytoplancton, et que les autres sont impactés. Au jour d'aujourd'hui, nous ne pouvons pas affirmer qu'une pollution humaine quelconque ait pu modifier la composition phytoplanctonique. Nous avons vu que les dénombrements réalisés au microscope, présentent une forte stabilité, ainsi que leurs pigments.

Concernant la « référence » nous aborderons deux possibilités : REF(4pts) = les 4 points (MEC7, 9, 29 et 30), et REF(9+30) = les deux points extérieurs (MEC9 et MEC30). Pour estimer l'impact de ces deux références sur le calcul de l'ICBC, nous utiliserons les moyennes pigmentaires des 4 points **pour chaque année** en les comparant aux deux références ; ces dernières, calculées sur les trois années (figure 3.17).

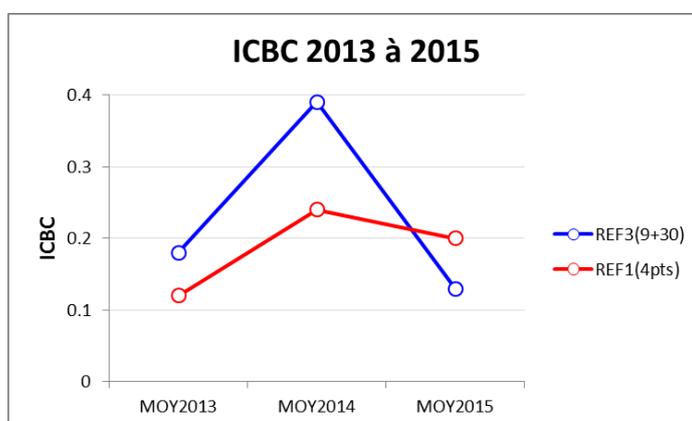


Figure 3.17 : Calcul de l'ICBC annuel avec les moyennes pigmentaires des 4 points (MEC7, 9, 29 et 30) par année en utilisant les REF(4pts) et REF(9+30) calculées sur la période 2013-2015

Les différences sont moins prononcées avec la REF(4pts) par rapport à la REF(9+30) (figure 3.17). Les écarts des 3 années par rapport à la REF(4pts) sont de l'ordre de 0.1 ICBC, tandis qu'en utilisant la REF(9+30), les écarts sont d'environ 0.3 ICBC. Ceci est attendu, car la REF(4pts) intègre l'ensemble du pool pigmentaire. Mais pouvons-nous dire que la composition phytoplanctonique des points de surveillance côtiers MEC7 et MEC29 sont plus impactés que ceux du large ? Rien ne permet de l'affirmer pour le moment. Dans la suite de notre étude, nous utiliserons ces deux références afin de mieux cerner leur influence dans le calcul de l'ICBC.

3.4.3 Calcul des indices de composition ICBC

La figure 3.17 présente ce qui pourrait être un ICBC annuel. Ceci n'est qu'un exercice permettant d'estimer l'évolution de cet indicateur, car dans les conditions opérationnelles, il doit être calculé pour une période de gestion de 6 années. C'est-à-dire, que l'on doit calculer la moyenne des pigments des 4 points de surveillance sur les 6 années. Dans l'idéal, avec les 4 points de surveillance, et avec une fréquence d'échantillonnage de 4 fois/an, les moyennes seront calculées avec 96 échantillons (4 pts x 4 fois/an x 6 années).

Le premier plan de gestion pourrait donc constituer « la référence ». Nous comparerons chaque matrice pigmentaire des plans de gestion suivants avec cette première matrice du premier plan et estimerons de combien l'indicateur ICBC s'est éloigné des conditions initiales (figure 3.18).

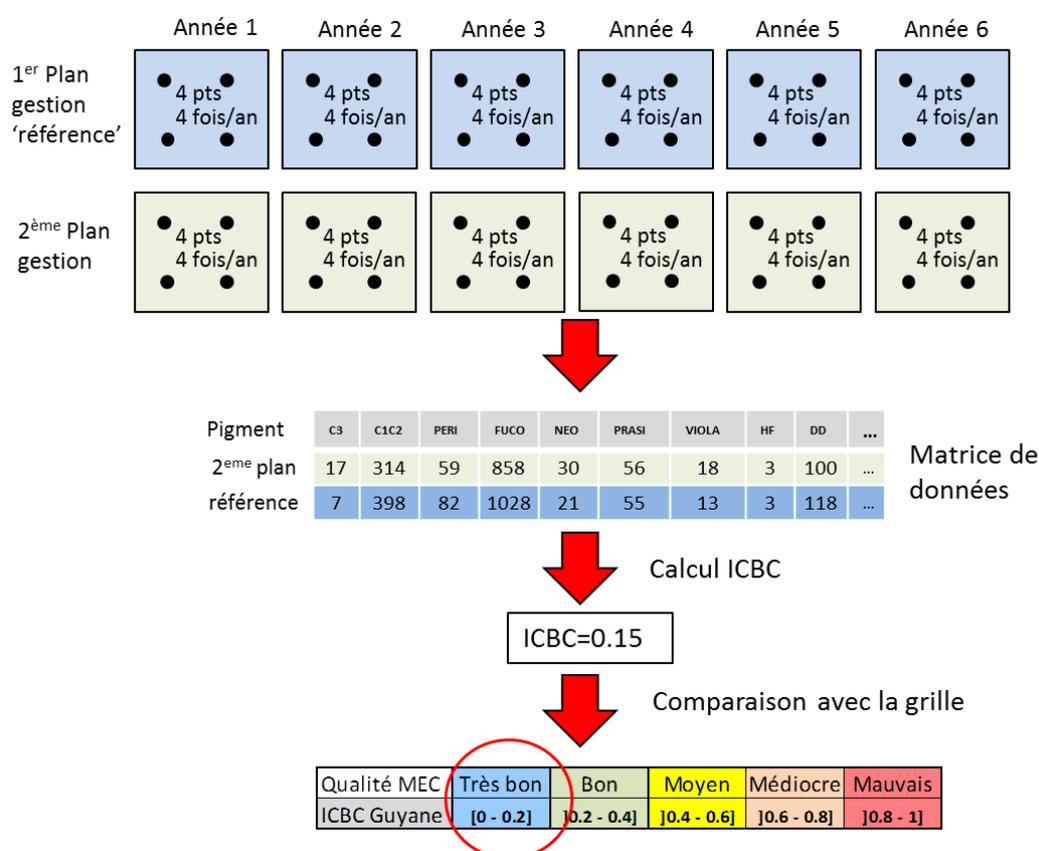


Figure 3.18 : Procédure théorique pour le calcul de l'ICBC et la définition de la qualité de la masse d'eau selon cet indice

Les données HPLC dont on dispose (3 années) sont insuffisantes pour pouvoir calculer l'ICBC d'un plan de gestion. De plus, le premier plan constituera « la référence » dans la configuration que nous proposons et servira de base de comparaison avec les plans suivants.

La grille que nous avons utilisée comme exemple dans la figure 3.18 est fictive, mais comment pourrions-nous définir les bornes de cette grille avec le peu de données disponibles aujourd'hui ?

Faute de données, nous réaliserons des simulations permettant d'estimer l'évolution de l'ICBC en fonction des modifications fictives apportées à la composition phytoplanctonique des points de surveillance.

3.4.4 Simulations

Invasion de cyanobactéries

Nous présentons en figure 3.19 les résultats des simulations obtenues selon la stratégie définie dans le chapitre 2.5 et annexe 2, où nous simulons une invasion de cyanobactéries.

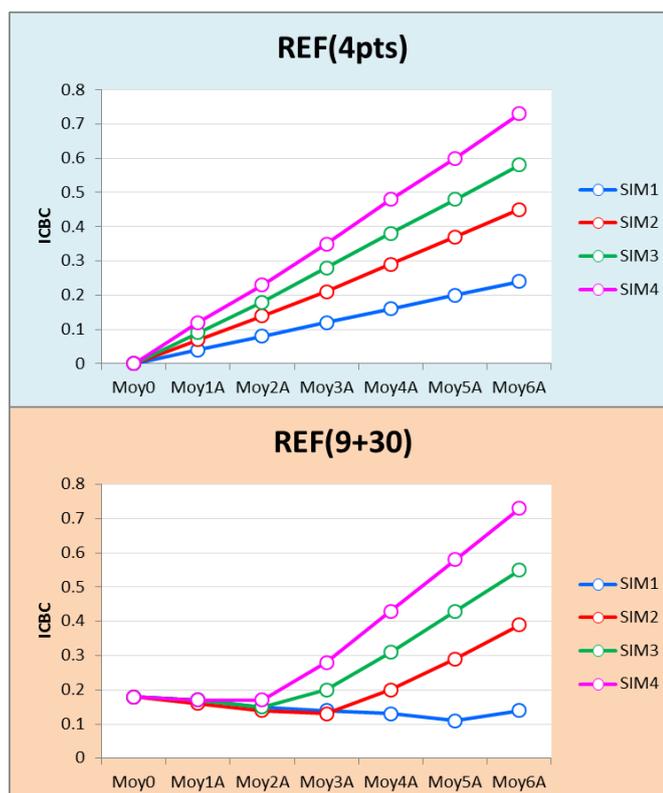


Figure 3.19 : Résultats des simulations des ICBC selon les changements des peuplements phytoplanctoniques, et la référence utilisée. REF(4pts) en haut et REF(9+30) en bas

Le choix de commencer par la MEC7 avec une invasion de cyanobactéries répond au constat que dans le monde, une anthropisation des eaux estuariennes ou confinées, conduit au développement des cyanobactéries. Ces eaux arrivent par la suite dans le milieu marin et peuvent rester longtemps si les conditions météorologiques ne changent pas. Dans les moyennes latitudes, tel que la France, ce type de phénomène peut avoir lieu en été, quand les eaux se réchauffent et stagnent à cause de l'étiage.

La première simulation, SIM1 (figure 3.19 haut), présente une variation d'environ 0.2 unités ICBC sur la MEC7. C'est le cas où les cyanobactéries envahissent la MEC7 entre une et six années (figure 2.2). Avec une seule année avec cyanobactéries, la valeur de l'ICBC=0.04 ; puis augmente régulièrement jusqu'à 0.24 quand les 6 années ont été dominées par les cyanobactéries (Moy6A). Nous avons alors, un point parmi les quatre points de surveillance, avec des cyanobactéries sur tout le plan de gestion.

Dans la SIM2 nous ajoutons la MEC29. Quand les 6 années sont dominées par les cyanobactéries sur les points MEC7+MEC29, l'ICBC=0.45. Nous avons dans cette configuration, les deux points côtiers envahis par les cyanobactéries sur toute une période de gestion. Pour les cas extrêmes (Moy6A) de la SIM3 et la SIM4, les valeurs sont respectivement de 0.58 et 0.73. Avec la REF(4pts), les variations sont monotones et croissantes, avec des pentes qui s'accroissent en fonction de la quantité d'années de dominance en cyanobactéries sur les points de surveillance.

Cette relation n'est pas la même si l'on utilise la REF(9+30). Pour la SIM1, l'ICBC diminue avec les années, jusqu'à la Moy5A ; puis elle remonte. Il va de même pour les autres SIMs, mais le point d'inflexion est chaque fois plus précoce. Nous observons également que pour la Moy0, l'ICBC n'est pas 0, mais 0.18. Ceci est dû au fait qu'au départ, la référence n'est pas la somme de tous les pigments, mais seulement de ceux des points MEC9+MEC30. De ce fait, l'ajout des cyanobactéries au détriment des diatomées, rapproche un peu cette configuration de celle des points extérieurs, où nous observons des petites quantités de zéaxanthine. Les écarts maximum pour chaque SIM (Moy6A) sont sensiblement similaires à ceux observés avec la REF(4pts).

Modification aléatoire des concentrations pigmentaires

Dans cette deuxième série de simulations nous prendrons le cas de la SIM1, où la MEC7 est envahie progressivement par des cyanobactéries, et nous modifierons les valeurs des concentrations pigmentaires des valeurs aléatoires ($\pm 25\%$, $\pm 50\%$, $\pm 75\%$, $\pm 90\%$).

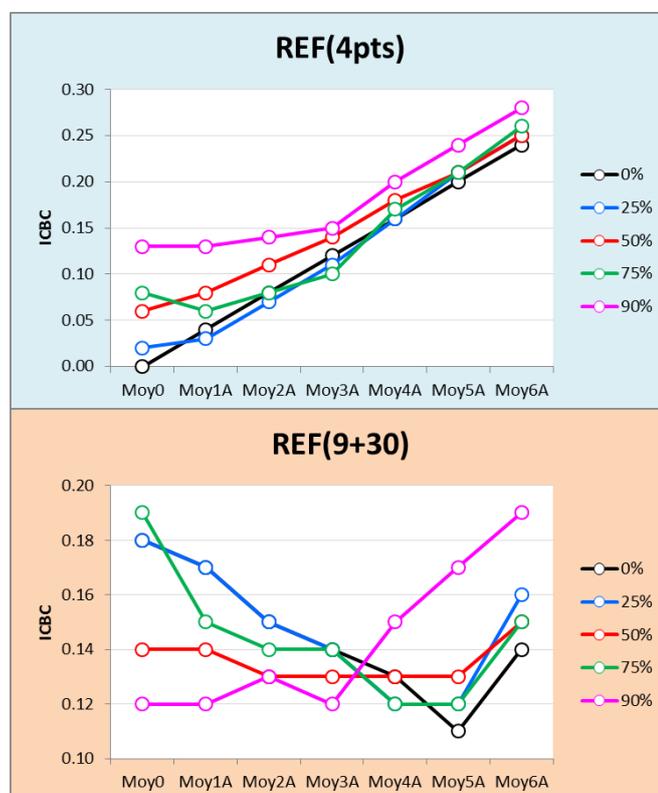


Figure 3.20 : Simulations ICBC des changements de la MEC7 selon les REF(4pts) en haut et REF(9+30) en bas, en appliquant des variations aléatoires à la matrice de pigments de la SIM1

La figure 3.20 présente les résultats de la simulation SIM1 avec l'ajout des variations aléatoires de concentrations. Pour la REF(4pts), les différences entre les ICBC sans invasion de cyanobactéries (Moy0) présentent un plus fort écart que celui obtenu avec toutes les années avec des cyanobactéries (Moy6A). Les différences observées entre l'ICBC de la Moy0, avec 0 %, et les autres sont dues au fait que nous avons utilisé les valeurs de référence de la matrice brute, sans changement (2013-2015). Malgré les fortes variations appliquées à la matrice pigmentaire, les écarts restent faibles (<0.15), même quand les variations aléatoires vont jusqu'à 90 %.

Pour la REF(9+30), les variations plus fortes se situent dans les extrêmes (Moy0 et Moy6A), avec le minimum des écarts au centre. Ces variations restent du même ordre que celles observées pour le cas où nous n'avons pas appliqué de variations aléatoires (Moy0). Ces écarts oscillent entre 0.1 et 0.2 ICBC.

Simulations avec les abondances cellulaires

Puisque nous disposons des données d'abondances cellulaires pour la série 2013-2015, nous réaliserons la même simulation avec les abondances cellulaires (Annexes 4 et 5). Seuls les résultats avec la REF(4pts) seront présentés afin de comparer les évolutions de l'indice avec celles des concentrations pigmentaires. En figure 3.21 nous présentons les résultats issus des simulations avec la REF(4pts) de la première série (chapitre 2.5, figure 2.2).

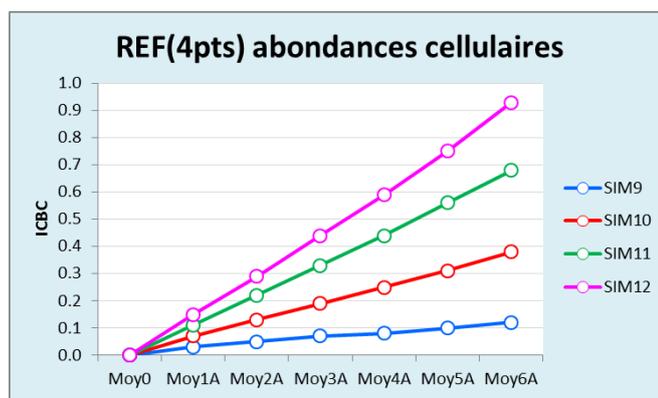


Figure 3.21 : Simulations ICBC des changements des communautés phytoplanctoniques (en abondances) sur les quatre MEC (7, 9, 29 et 30) avec la REF(4pts) sur la matrice des abondances cellulaires

Ces résultats présentent un écart plus important que ceux obtenus avec les pigments (figure 3.19 haut). Les simulations SIM9 et SIM10 atteignent des ICBC un peu en-dessous de ceux obtenus avec les pigments, puis les deux dernières simulations (SIM11 et SIM12) sont légèrement au-dessus. Leur dynamique reste cependant la même.

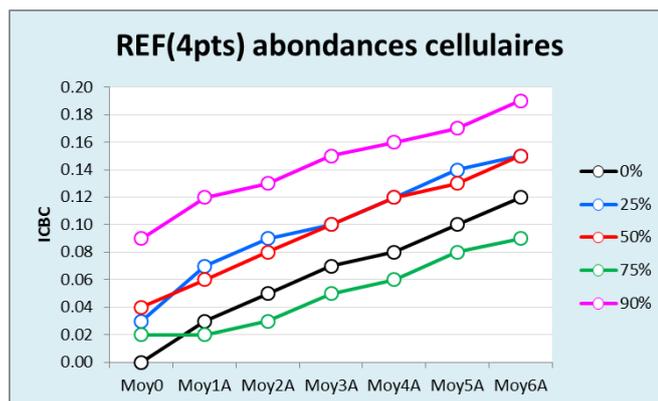


Figure 3.22 : Simulations ICBC des changements de la MEC7 selon les REF(4pts) avec la matrice des abondances cellulaires avec des variations aléatoires dans la matrice pigmentaire

En introduisant des variations aléatoires des abondances sur la MEC7, comme précédemment pour les pigments, nous obtenons la figure 3.22. Les variations restent parallèles entre elles et sur des variations du même ordre que celles observées pour les pigments.

3.4.5 ICBC pigmentaire Vs. ICBC abondances

Les calculs des ICBC calculés sur un plan de gestion de 6 ans et sur l'ensemble des points de surveillance, ont un fort pouvoir intégrateur. Les simulations que nous avons réalisées reproduisent au mieux les conditions réelles par plan de gestion dans le calcul de l'ICBC. En prenant les ICBC obtenues lors de toutes les simulations, avec les pigments et avec les abondances, nous obtenons une bonne relation ($n=52$, $R^2=0.90$, $P<0.001$), tandis qu'en prenant les données brutes, échantillon par échantillon, nous ne trouvons pas de régression significative ($n=48$, $R^2=0.007$, $p=0.58$) (Figure 3.22).

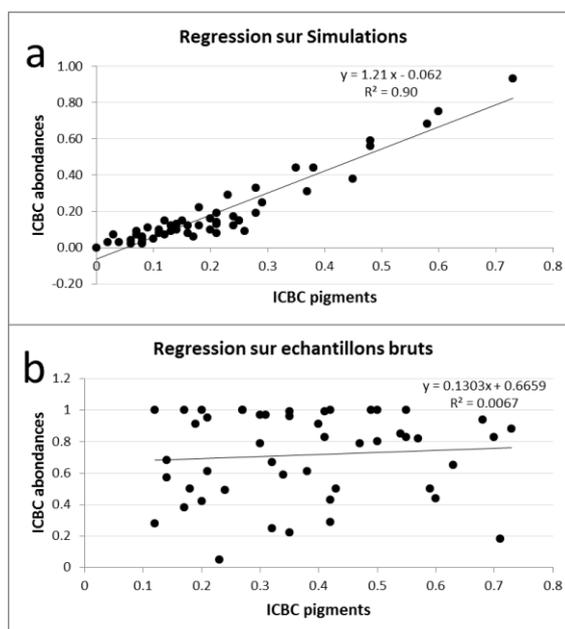


Figure 3.22 : Régressions entre ICBC pigmentaire et ICBC sur les abondances à partir des : a) résultats des simulations (sur plan de gestion), et b) à partir des données brutes (échantillons individuels)

Ces différences pourraient avoir leur origine dans la faible relation obtenue entre la CHLA et les abondances totales (figure 3.23). Comme nous l'avons évoqué à la fin du chapitre 3.3, les relations entre biomasse chlorophyllienne et abondances cellulaires ne sont ni linéaires, ni constantes, et dépendent de la taille des cellules et de leur composition pigmentaire.

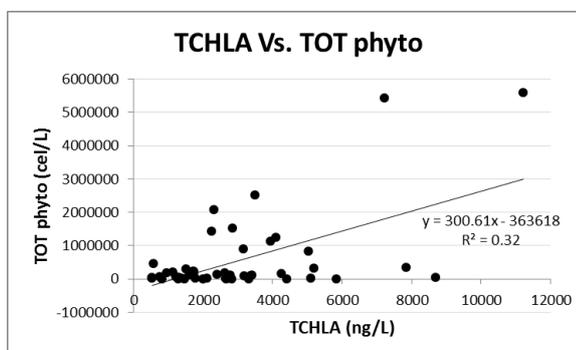


Figure 3.23 : Régression de la chlorophylle-a totale (TCHLA) vs. les abondances totales dénombrées par échantillon (cyanophycées incluses), entre 2013 et 2015

C'est grâce à l'agrégation spatio-temporelle sur une longue période des données que l'ICBC répond linéairement aux modifications des assemblages phytoplanctoniques.

3.4.6 Grille de niveaux pigmentaire

La définition des bornes de la grille dépendra de jusqu'où nous sommes prêts à accepter les changements de peuplements phytoplanctoniques. A défaut d'avoir des données sur une plus longue série, nous pouvons nous baser sur les résultats des simulations dans un premier temps. Il sera toujours possible de réajuster les grilles en fonction des événements futurs et des changements constatés.

Tableau 3.4 : Grille théorique avec le nombre d'années, sur un plan de gestion (ex. : 3/6), perturbés par les cyanobactéries selon les simulations SIM1 à SIM4

		TB	B	My	Me	Mv
MECs		[0 - 0.15]]0.15 - 0.3]]0.3 - 0.45]]0.45 - 0.6]	> 0.6
SIM1	7	3/6	6/6	6/6	6/6	6/6
SIM2	7+29	2/6	4/6	6/6	6/6	6/6
SIM3	7+29+30	1/6	3/6	4/6	6/6	6/6
SIM4	7+29+30+9	1/6	2/6	3/6	4/6	5/6

Nous proposons dans le tableau 3.4, une grille théorique, où sont portées les perturbations ajoutées dans les simulations SIM1 à SIM4 (figure 3.19 haut). Selon cette grille, la MEC guyanaise restera en Très Bon état (TB) si sur un point de suivi (ici MEC7), sur les quatre utilisés, nous avons trois années des flores complètement différentes. Ou 2 années sur 6 pour deux points de suivi, où 1 année sur 6 pour 3 ou 4 points de suivi.

3.5- Indice de biomasse (IB)

L'indice de biomasse (IB) a été défini par le percentile 90 de la concentration en chlorophylle_a (P90CHLA). Il est donc par définition, un indice pigmentaire. Ces concentrations peuvent cependant être obtenues par des méthodes différentes : spectrophotométrie, fluorimétrie, HPLC. La plus couramment utilisée est celle de spectrophotométrie, mais il faut se rappeler que la mesure en HPLC reste la référence en matière de concentrations pigmentaires (Roy 2011).

Sur une masse d'eau donnée, si l'on dispose des mesures en CHLA provenant du spectrophotomètre et du HPLC, c'est sont ces dernières qui devront être prises en compte. Il n'est donc pas nécessaire de doubler ces mesures par deux méthodes différentes. C'est déjà le cas sur certaines masses d'eau en métropole.

En Guyane, les premières mesures en CHLA ont été réalisées en spectrophotométrie avec un spectrophotomètre qui présentait un problème de lampe, puis une autre série a été envoyée en métropole pour analyses spectrophotométriques, mais la méthode d'analyse n'était pas adaptée aux eaux marines. Seules les analyses en HPLC pourront donc être utilisées pour le calcul de l'indice de biomasse.

3.6- Indice d'abondance (IA)

Indice IA par abondances cellulaires

L'indice d'abondance est calculé sur la fréquence des blooms par masse d'eau et par année. Un bloom est défini par le nombre de cellules par litre, observées sur un échantillon, dépassant 100 000 cel/L pour le microphytoplancton et 250 000 cel/L pour le nanophytoplancton. Si pendant la période d'un mois, plusieurs blooms sont mis en évidence sur différents points, un seul bloom par masse d'eau et par mois est considéré. Puis le nombre total par plan de gestion est comparé à une courbe de probabilités pour définir sa position dans la grille de qualité.

Sur la base des dénombrements de 2013 à 2015, nous avons constaté que pour la période sept. 2014 à sept. 2015, la MEC guyanaise était tous les mois en situation de bloom, avec plusieurs espèces dépassant les 100 000 cel/L (tableau 3.5, annexe 6). En 2013, sept mois ont été échantillonnés (juillet 2013 à déc. 2013) et seulement deux mois ont dépassé le seuil de 100 000 cell/L. Dans les chapitres 3.2 et 3.3 nous avons vu que les dénombrements présentaient un saut significatif entre la série 2013 et celle de 2014-2015. Il est donc possible que ce seuil ne soit pas pertinent en Guyane. En choisissant un seuil de 1 000 000 cell/L avec les quatre points suggérés (MEC7, 9, 29 et 30), nous aboutissons à nul bloom en 2013 et à 2 blooms en 2014-2015. Avec les 7 points échantillonnés ce sont 4 blooms en 2014-2015.

Tableau 3.5 : Nombre de mois échantillonnés par période et nombre de blooms DCE-compatibles sur les dénombrements phytoplanctoniques des MEC7, 9, 29 et 30

Bloom > 100 000 cel/L		
période	mois.echant	mois.bloom
2013	6	2
2014-2015	9	8

Bloom > 1 000 000 cel/L		
période	mois.echant	mois.bloom
2013	6	0
2014-2015	9	2

Indice IA pigmentaire

Nous avons cherché à mettre en évidence les blooms observés avec les abondances cellulaires en utilisant des indices de similarité sur la matrice pigmentaire, puis avec des indices de diversité. Aucune de ces approches pigmentaires n'a reproduit les phases de bloom. Aucun rapport ou formule pigmentaire n'a pas mieux approché la dynamique observée par les dénombrements. Les écarts entre abondances (nombre de cellules) et biomasses pigmentaires (poids pigmentaires), à la base de ces deux approches, est probablement à l'origine du manque de corrélation.

4.- DISCUSSION/CONCLUSION

Il est remarquable de constater la stabilité des communautés phytoplanctoniques dans les eaux marines guyanaises. Elles sont dominées par les diatomées en nombre et en biomasse, avec une saisonnalité presque inexistante. Les fortes concentrations en silicate des eaux guyanaises favorisent le développement des diatomées, les nutriments dissous sont abondants en toutes saisons, la température varie très peu et l'ensoleillement n'est affecté que par la couverture nuageuse. C'est l'équivalent d'un printemps continu des eaux de la France métropolitaine. Cette stabilité dans la composition phytoplanctonique se prête très bien au développement d'un indicateur de composition. Dans le cas des eaux avec des successions saisonnières, le fait de moyenniser les valeurs sur une ou six années, lisse considérablement les variations et rend plus difficile l'identification des changements à long terme.

Du fait de la forte dominance des diatomées, le pigment majoritaire est la fucoxanthine. Pour le calcul de l'ICBC nous utilisons cependant toute la matrice pigmentaire, à l'exception des pigments trop faiblement représentés et de la chlorophylle totale, qui n'a pas de message taxonomique. Dans le choix de la métrique à utiliser pour la matrice pigmentaire, nous avons conclu à l'utilisation de la moyenne, car elle permet de garder une variation monotone et croissante tout le long des variations temporelles.

Cette étude conforte le choix des rapports précédents concernant la pertinence des points de surveillance (Luis Lampert, Bryère, et Gohin 2015 ; Luis Lampert, Bryère, et Gohin 2016). Les sept points suivis entre 2013 et 2015 ne sont pas tous représentatifs de l'ensemble de la masse d'eau côtière. Les MEC28 (Les Hattes) et MEC31 (Pointe Béhague) ne sont pas représentatifs non plus de la composition phytoplanctonique. Les valeurs du point MEC8 (Ilet La Mère) se trouvent entre celles des MEC7 et MEC9. Donc, concernant la composition phytoplanctonique, le choix des points MEC7, MEC9, MEC29 et MEC30 reste d'actualité. Avec ces quatre points nous pouvons avoir une bonne image de l'ensemble de la masse d'eau côtière guyanaise.

Sur la série pigmentaire 2013-2015 nous avons obtenu environ 85 échantillons validés. Bien que la période ne soit que de trois années, la fréquence a été de 7 à 8 prélèvements par an. Dans les rapports précédents nous avons proposé de garder 4 campagnes par an, avec deux en saison sèche et deux en saison humide. Ceci permettrait d'avoir 96 analyses HPLC sur un plan de 6 ans, ce qui est environ équivalent à la quantité de données que nous avons utilisées pour cette étude, et suffisant pour le calcul de l'ICBC.

Le choix de la « référence » pose deux questions : avec quels points et sur quelle période ?

Nous n'avons, *a priori*, aucune raison de favoriser un point ou un secteur plus qu'un autre à cause des impacts anthropiques qui auraient causé un déséquilibre dans les flores phytoplanctoniques. Si la masse d'eau côtière guyanaise est suivie sur quatre points de surveillance qui représentent son état général, alors la référence idéale est la moyenne des pigments de ces mêmes quatre points. Nous avons vu que malgré la forte homogénéité des flores phytoplanctoniques, le fait de prendre comme référence les points extérieurs (REF(9+30)) crée déjà un biais en fonction des classes algales rencontrées. Il est donc préférable d'utiliser la REF(4pts) si la stratégie à mettre en place est de garder seulement ces quatre points de surveillance.

Mais le choix de la REF(4pts) ne suffit pas. Il faut définir sur quelle période de temps il faudra agréger les données HPLC de ces quatre points. Si nous choisissons comme point de départ le premier plan de gestion, il pourrait être considéré comme l'état initial. Il est impossible de dire « sans impact » car nous méconnaissons leur état antérieur. Mais à partir de ce premier plan, nous pourrions évaluer son évolution et définir, en fonction d'une grille de niveaux, s'il y a des évolutions significatives sur les communautés phytoplanctoniques.

C'est cette grille de qualité qui est plus difficile à définir. Malgré les simulations réalisées, permettant de cerner la sensibilité de l'ICBC, comment décider à partir de quelle perturbation, la masse d'eau devient « bonne » ou de « moyenne » qualité ? C'est à partir de cette « moyenne » qualité, que des actions correctives doivent être entreprises pour l'améliorer. Plusieurs cas de figure peuvent avoir lieu. Soit : a) une pollution chronique sur un fleuve pourrait perturber durablement un point de surveillance (simulations SIM1 à SIM4), b) des perturbations aléatoires sur tous les points, c) ou le mélange de ces deux dernières (SIM5 à SIM8).

Le passage d'une qualité de la masse d'eau à une autre dépendra donc, du choix des modifications qui peuvent être acceptées « à dire d'expert ». Autant il est possible de définir des seuils pour l'oxygène en fonction de la biologie des poissons, pour les assemblages phytoplanctoniques aucune étude ne peut définir la dangerosité potentielle d'un changement de composition sur la chaîne trophique ou le milieu aquatique en Guyane. La grille proposée dans le chapitre 3.4.5. peut constituer un point de départ, mais il restera à discuter lors des réunions du Groupe de Travail Littoral de Guyane.

Idéalement, nous devrions confronter notre ICBC aux pressions anthropiques pour évaluer sa capacité à les mettre en évidence. Le volet « pressions » n'est pas encore défini. Quelles sont les pressions qui pourraient être prises en considération ayant une influence sur les assemblages phytoplanctoniques ? Nous avons vu que les nutriments dissous enregistrés entre 2013 et 2015 sont naturellement forts et constants, donc un changement pourrait modifier dans le futur la composition phytoplanctonique. Mais d'autres pressions sont souvent décrites ou suggérées : constructions littorales, évolution des mangroves, pêche-chalutage, égouts des villes, dynamique des bancs de vase, agriculture, industrie, tourisme, apports de l'Amazone, forages pétroliers. Sur certains de ces facteurs, il serait possible d'agir, mais d'autres comme le panache de l'Amazone, ne pourraient pas être corrigés au niveau

local. Les pressions apportent des perturbations, et dans ce sens, les simulations présentent une vision des résultats des perturbations, sans pouvoir cependant les identifier.

L'utilisation de l'ICBC avec les abondances phytoplanctoniques ont donné des résultats comparables avec ceux des pigments. Nous pourrions nous poser la question du choix du support à utiliser : les pigments ou les dénombrements ? Les pigments présentent l'avantage de s'affranchir de la forte variabilité créée par l'opérateur au microscope. Quand la répétabilité des analyses HPLC reste entre 3 et 5 %, celle des dénombrements observés lors des essais inter-laboratoire peut dépasser 50 %. L'autre inconvénient majeur des dénombrements est que l'on obtient des abondances (cellules/L) et non des biomasses. Des fortes abondances des petites cellules peuvent avoir moins d'impact que des faibles abondances de grosses cellules. L'avantage des dénombrements est d'accéder au genre et parfois à l'espèce, ce qui peut être intéressant en cas de proliférations des blooms toxiques ; situation jusqu'ici jamais signalée en Guyane.

N'oublions pas que l'indice de composition ICBC n'est qu'un des indices permettant de calculer l'indicateur « phytoplancton ». Pour calculer ce dernier il faut en plus, l'Indice de biomasse et l'indice d'abondance. L'indice de biomasse peut être calculé à partir des analyses pigmentaires, car ce n'est qu'à partir de la concentration en chlorophylle *a* qu'il est obtenu. Pour l'indice d'abondance pigmentaire, nous n'avons pas réussi à mettre en évidence la dynamique des blooms phytoplanctoniques. Ni avec le seuil de 100 000 cel/L, ni avec 1 000 000 cel/L. Il faudra continuer l'effort pour obtenir cet indice à partir des pigments ou continuer à réaliser les dénombrements au microscope. Dans cette dernière perspective, garder le même opérateur au microscope, reste une garantie de répétabilité des résultats.

En conclusion, l'utilisation en Guyane d'un Indice de composition, basé sur les analyses pigmentaires, peut constituer une excellente approche, avec des avantages par rapport aux abondances phytoplanctoniques. Il sera plus répétable que son homologue avec des abondances, et intégrera toutes les classes de taille. Mais à l'heure actuelle, les dénombrements phytoplanctoniques seront encore nécessaires pour le calcul de l'indice d'abondance, nécessaire au calcul de l'Indicateur « Phytoplancton ».

BIBLIOGRAPHIE

- Aminot, Alain, et Roger K erouel. 2004. *Hydrologie des écosystèmes marins: paramètres et analyses*. Editions Quae.
- Belin, Catherine, Alice Lamoureux, et Dominique Soudant. 2014. « Evaluation de la qualité des eaux littorales de la France métropolitaine pour l'élément de qualité Phytoplancton dans le cadre de la DCE. Etat des lieux des règles d'évaluation, et résultats pour la période 2007-2012. Tome 1 - Etat des lieux, méthodes et synthèse des résultats ». Scientifique et technique Rapport DYNECO / VIGIES / 14-05 – Tome 1. Nantes: IFREMER.
<http://envlit.ifremer.fr/content/download/81901/580117/version/3/file/Evaluation+DCE+phytoplancton+2007-2012+-+Tome+1.pdf>.
- Borcard, Daniel, François Guillet, et Pierre Legendre. 2011. *Numerical Ecology with R. Use R!* Springer.
- Buchet, Remi. 2010. « Directive Cadre sur l'Eau : Consolidation des conditions de référence pour les éléments de qualité biologiques impliqués dans l'évaluation des masses d'eau littorales - Convention 2009 - Action 2 ». Nantes: Ifremer.
<https://w3.ifremer.fr/archimer/doc/00019/12986/>.
- Clarke, K.Robert, et R.M. Warwick. 1994. « Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation. 2nd Edition ». Plymouth Marine Laboratory.
- Daniel, Anne, et Luis Lampert. 2016. « Consignes pour le prélèvement d'échantillons d'eau en vue de mesures hydrologiques Document de méthode hydrologie. Version 2 ». Document technique ODE/DYNECO/PELAGOS/16-03. Brest: IFREMER.
- Heukelem, Laurie Van, et Crystal S Thomas. 2001. « Computer-assisted high-performance liquid chromatography method development with applications to the isolation and analysis of phytoplankton pigments ». *Journal of Chromatography A* 910 (1): 31-49. doi:10.1016/S0378-4347(00)00603-4.
- Hooker, S., L. Van Heukelem, C.S. Thomas, H. Claustre, J. Ras, R. Barlow, H. Sessions, et al. 2005. « The Second SeaWiFS HPLC Analysis Round-Robin Experiment (SeaHARRE-2) ». Scientifique et technique NASA/TM-2005-212785. Maryland: NASA.
- Lampert, L., B. Qu guiner, T. Labasque, A. Pichon, et N. Lebreton. 2002. « Spatial variability of phytoplankton composition and biomass on the eastern continental shelf of the Bay of Biscay (north-east Atlantic Ocean). Evidence for a bloom of *Emiliana huxleyi* (Prymnesiophyceae) in spring 1998 ». *Continental Shelf Research* 22 (8): 1225-47. doi:10.1016/S0278-4343(01)00103-0.
- Lampert, Luis. 2001. « Dynamique saisonnière et variabilité pigmentaire des populations phytoplanctoniques dans l'atlantique nord (Golfe de Gascogne) ». Thèse de 3eme cycle, Brest, France: Université de Bretagne Occidentale. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01280376v1>.
- Lampert, Luis. 2015. « Test d'un Indice de composition pigmentaire pour les secteurs Atlantique et Manche (DCE) ». Scientifique et technique 2015-02. Brest: IFREMER.
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00254/36556/>.
- Lampert, Luis, Bryère, et Francis Gohin. 2015. « Etude de la variation des paramètres température, biomasse et turbidité sur plus de 10 années dans les eaux marines guyanaises par imagerie satellite ». Expertise Onema. Brest, France: IFREMER.
- Lampert, Luis, Philippe Bryere, et Francis Gohin. 2016. « Etude de la variation des paramètres biomasse (Chla) et turbidité sur plus de 10 années dans les eaux marines guyanaises par imagerie satellite. - Phase 2 : utilisation de la résolution à 300 m », novembre.
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00369/47992/>.

- Legendre, Pierre, et Louis Legendre. 1998. *Numerical Ecology*. Elsevier Science B.V. Developments in Environmental Modelling 20. Amsterdam: Elsevier.
- Roy, Suzanne. 2011. *Phytoplankton Pigments: Characterization, Chemotaxonomy and Applications in Oceanography*. Cambridge University Press.
- Sherrard, N J, M Nimmo, et C A Llewellyn. 2006. « Combining HPLC Pigment Markers and Ecological Similarity Indices to Assess Phytoplankton Community Structure: An Environmental Tool for Eutrophication? ». *The Science of the Total Environment* 361 (1-3): 97-110.
doi:10.1016/j.scitotenv.2005.08.058.
- Utermöhl, von H. 1931. « Neue Wege in der quantitativen Erfassung des Planktons. (Mit besondere Berücksichtigung des Ultraplanktons). » *Verh. Int. Verein. Theor. Angew. Limnol.*, n° 5: 567-95.

ANNEXES

Annexe 1 : Matrice pigmentaire totale

Annexe 2 : Matrices de simulations SIM1 à SIM4 (pigments), première série

Annexe 3 : Matrices de simulations SIM5 à SIM8 (pigments), deuxième série

Annexe 4 : Matrices de simulations SIM9 à SIM12 (abondances), première série

Annexe 5 : Matrices de simulations SIM13 à SIM16 (abondances), deuxième série

Annexe 6 : Matrices de pigments et abondances (par classes) avec indication des échantillons avec blooms sur les MEC7, 9, 29 et 30

ANNEXE 1 : Matrice pigmentaire totale

St	date	an	mois	jour	saison	nom	C3	C1+C2	PERI	FUCO	NEO	PRASI	VIOLA	HF	DIADIN	ALLO	DIATO	ZEA	LUTE	CHLB	PHEO	TCHLA
MEC28	02/07/2013	2013	7	2	SH	MEC28-02/07/2013	0	1469	1050	2973	180	0	208	0	527	450	50	82	70	1278	493	14464
MEC28	13/08/2013	2013	8	13	SS	MEC28-13/08/2013	0	3978	816	20730	207	219	306	0	2169	207	618	485	100	520	5201	57659
MEC28	10/09/2013	2013	9	10	SS	MEC28-10/09/2013	0	1199	89	5144	72	114	59	0	562	114	112	175	18	364	659	14883
MEC28	10/10/2013	2013	10	10	SS	MEC28-10/10/2013	0	2185	95	8784	61	89	58	0	859	154	98	85	0	457	494	27548
MEC28	20/11/2013	2013	11	20	SS	MEC28-20/11/2013	0	675	157	2351	24	0	31	0	278	123	57	90	0	221	196	7387
MEC28	09/12/2013	2013	12	9	SH	MEC28-09/12/2013	28	419	0	2824	0	0	0	0	252	168	267	360	67	266	1669	7353
MEC28	17/10/2014	2014	10	17	SS	MEC28-17/10/2014	0	1689	0	5516	29	38	34	0	452	68	73	0	0	236	243	14480
MEC28	18/11/2014	2014	11	18	SS	MEC28-18/11/2014	0	547	200	1939	0	0	27	0	231	99	58	242	0	254	224	6435
MEC28	16/12/2014	2014	12	16	SH	MEC28-16/12/2014	0	1196	59	3882	20	0	30	0	419	71	46	65	0	155	171	10764
MEC28	12/02/2015	2015	2	12	SH	MEC28-12/02/2015	0	305	145	1182	0	0	22	0	156	60	25	60	0	193	197	4355
MEC28	14/04/2015	2015	4	14	SH	MEC28-14/04/2015	0	54	378	868	0	0	0	0	105	140	154	200	25	174	1350	3527
MEC28	10/06/2015	2015	6	10	SH	MEC28-10/06/2015	0	401	0	1595	15	22	20	0	258	21	17	45	0	158	69	6407
MEC28	05/08/2015	2015	8	5	SS	MEC28-05/08/2015	0	195	62	1435	0	0	0	0	146	39	36	28	0	39	261	3672
MEC29	28/06/2013	2013	6	28	SH	MEC29-28/06/2013	35	911	89	2580	26	32	22	6	275	61	19	165	3	241	418	7856
MEC29	02/08/2013	2013	8	2	SS	MEC29-02/08/2013	0	206	50	500	7	0	7	0	57	38	6	406	0	67	168	2125
MEC29	13/09/2013	2013	9	13	SS	MEC29-13/09/2013	31	447	62	1241	49	57	37	0	148	84	23	221	6	372	455	4254
MEC29	11/10/2013	2013	10	11	SS	MEC29-11/10/2013	0	124	64	199	19	46	10	0	37	66	5	95	0	203	331	1483
MEC29	22/11/2013	2013	11	22	SS	MEC29-22/11/2013	54	315	81	744	50	105	30	0	77	73	12	167	7	574	781	3316
MEC29	13/12/2013	2013	12	13	SH	MEC29-13/12/2013	0	182	35	572	21	56	11	0	64	43	14	135	0	240	510	2677
MEC29	16/10/2014	2014	10	16	SS	MEC29-16/10/2014	0	328	122	761	52	163	0	0	131	44	32	1097	0	665	72	5197
MEC29	20/11/2014	2014	11	20	SS	MEC29-20/11/2014	0	396	34	1105	14	34	16	0	89	36	11	140	0	111	93	3178
MEC29	21/12/2014	2014	12	21	SH	MEC29-21/12/2014	0	516	149	1108	14	44	14	28	106	25	10	39	0	110	46	2855
MEC29	13/02/2015	2015	2	13	SH	MEC29-13/02/2015	0	1526	592	3857	84	143	64	0	448	86	50	131	0	759	122	11207
MEC29	09/04/2015	2015	4	9	SH	MEC29-09/04/2015	0	312	241	494	16	35	13	0	101	140	12	102	0	204	24	3362
MEC29	08/06/2015	2015	6	8	SH	MEC29-08/06/2015	0	77	30	135	16	69	11	0	21	25	0	212	0	296	16	1737
MEC29	03/08/2015	2015	8	3	SS	MEC29-03/08/2015	0	172	0	609	24	0	0	0	46	28	0	29	0	64	51	1515
MEC30	28/06/2013	2013	6	28	SH	MEC30-28/06/2013	18	237	24	700	13	34	8	0	64	42	6	115	1	145	304	2249
MEC30	02/08/2013	2013	8	2	SS	MEC30-02/08/2013	3	49	8	108	4	7	3	7	12	7	2	188	0	27	51	531
MEC30	13/09/2013	2013	9	13	SS	MEC30-13/09/2013	19	101	16	267	28	59	10	0	30	31	4	143	7	252	429	1378
MEC30	11/10/2013	2013	10	11	SS	MEC30-11/10/2013	0	66	37	94	15	38	6	0	20	31	2	70	0	153	312	828
MEC30	22/11/2013	2013	11	22	SS	MEC30-22/11/2013	34	108	6	306	66	140	28	0	23	18	6	179	2	762	59	2002
MEC30	13/12/2013	2013	12	13	SH	MEC30-13/12/2013	0	179	35	520	16	43	10	0	62	28	7	96	3	161	352	1791
MEC30	16/10/2014	2014	10	16	SS	MEC30-16/10/2014	0	72	0	191	0	99	0	0	32	0	0	1154	0	358	0	2796
MEC30	20/11/2014	2014	11	20	SS	MEC30-20/11/2014	0	690	43	2014	0	0	0	0	154	24	22	147	0	91	94	5042
MEC30	21/12/2014	2014	12	21	SH	MEC30-21/12/2014	0	418	115	829	7	33	8	22	86	22	22	47	0	65	67	2310
MEC30	13/02/2015	2015	2	13	SH	MEC30-13/02/2015	0	1101	161	2639	32	42	19	22	332	17	66	85	0	236	91	7226
MEC30	09/04/2015	2015	4	9	SH	MEC30-09/04/2015	0	102	75	152	10	35	10	0	32	50	0	91	0	161	17	1318
MEC30	08/06/2015	2015	6	8	SH	MEC30-08/06/2015	0	94	37	227	0	62	0	0	33	39	0	137	0	247	16	1599
MEC30	03/08/2015	2015	8	3	SS	MEC30-03/08/2015	0	57	0	172	0	0	0	0	17	21	0	20	0	57	35	545
MEC31	12/09/2013	2013	9	12	SS	MEC31-12/09/2013	0	349	45	1396	30	0	20	0	189	59	36	119	12	345	255	4884
MEC31	15/10/2013	2013	10	15	SS	MEC31-15/10/2013	0	177	0	616	65	51	22	0	84	76	69	218	0	23	5974	1716
MEC31	13/11/2013	2013	11	13	SS	MEC31-13/11/2013	0	377	0	2227	0	0	0	0	228	241	259	674	0	146	1608	6589
MEC31	12/12/2013	2013	12	12	SH	MEC31-12/12/2013	0	493	124	2284	0	138	0	0	250	252	198	614	32	236	1490	7433
MEC31	15/10/2014	2014	10	15	SS	MEC31-15/10/2014	0	13950	0	49834	0	0	0	0	5418	96	132	0	0	0	1802	123823
MEC31	20/11/2014	2014	11	20	SS	MEC31-20/11/2014	0	1706	172	12210	0	0	0	0	1147	0	210	363	0	0	1981	35239
MEC31	12/02/2015	2015	2	12	SH	MEC31-12/02/2015	0	182	109	634	0	25	11	0	103	83	15	42	0	157	132	3009
MEC31	14/04/2015	2015	4	14	SH	MEC31-14/04/2015	0	69	19	486	0	0	0	0	53	26	17	43	0	76	170	2031
MEC31	11/06/2015	2015	6	11	SH	MEC31-11/06/2015	0	541	894	958	0	173	52	0	269	377	25	168	27	411	384	5623
MEC31	07/08/2015	2015	8	7	SS	MEC31-07/08/2015	0	346	0	2011	0	0	0	0	238	43	30	67	0	81	260	6980
MEC7	01/07/2013	2013	7	1	SH	MEC7-01/07/2013	41	837	308	1831	74	113	50	9	265	187	42	204	14	827	1019	8707
MEC7	27/08/2013	2013	8	27	SS	MEC7-27/08/2013	35	810	63	2186	47	82	31	14	238	107	30	110	10	453	763	7272
MEC7	10/09/2013	2013	9	10	SS	MEC7-10/09/2013	9	478	43	1525	38	32	32	9	169	97	20	82	8	344	429	5096
MEC7	14/10/2013	2013	10	14	SS	MEC7-14/10/2013	33	472	64	1547	26	43	16	0	165	107	18	159	6	248	374	5853
MEC7	13/11/2013	2013	11	13	SS	MEC7-13/11/2013	0	221	57	640	18	24	12	0	88	63	16	96	0	228	250	2837
MEC7	09/12/2013	2013	12	9	SH	MEC7-09/12/2013	0	315	51	1086	17	33	12	0	134	61	18	91	0	215	385	4416
MEC7	21/10/2014	2014																				

ANNEXE 2 : Matrices de simulations SIM1 à SIM4 (pigments)

		C3	C1+C2	PERI	FUCO	NEO	PRASI	VIOLA	HF	DIADINO	ALLO	DIATO	ZEA	LUTE	CHLB	PHEO
SIM1	Moy0	7	395	82	1014	20	55	13	3	117	52	14	192	2	266	208
	Moy1A	7	371	79	944	20	56	14	3	110	48	13	245	4	266	195
	Moy2A	6	347	75	875	19	57	16	3	104	44	12	299	6	267	182
	Moy3A	6	323	72	806	18	58	17	3	97	41	11	352	9	268	169
	Moy4A	6	299	68	737	17	60	19	3	91	37	10	406	11	269	156
	Moy5A	5	275	65	668	17	61	20	3	84	33	10	460	14	269	144
	Moy6A	5	251	62	599	16	62	22	3	78	29	9	513	16	270	131
	REF(4pts)	7	395	82	1014	20	55	13	3	117	52	14	192	2	266	208
	REF(9+30)	5	278	64	642	16	45	10	4	78	30	10	163	1	211	143

		C3	C1+C2	PERI	FUCO	NEO	PRASI	VIOLA	HF	DIADINO	ALLO	DIATO	ZEA	LUTE	CHLB	PHEO
SIM2	Moy0	7	395	82	1014	20	55	13	3	117	52	14	192	2	266	208
	Moy1A	6	354	74	901	18	58	16	3	107	46	13	298	6	269	185
	Moy2A	6	314	65	789	16	60	19	3	96	40	11	405	11	272	162
	Moy3A	5	273	57	677	14	63	21	3	86	33	10	512	16	275	140
	Moy4A	4	233	49	565	12	66	24	2	76	27	8	618	21	278	117
	Moy5A	3	192	40	453	10	69	27	2	65	21	6	725	26	281	94
	Moy6A	3	152	32	341	8	72	30	2	55	15	5	832	31	284	71
	REF(4pts)	7	395	82	1014	20	55	13	3	117	52	14	192	2	266	208
	REF(9+30)	5	278	64	642	16	45	10	4	78	30	10	163	1	211	143

		C3	C1+C2	PERI	FUCO	NEO	PRASI	VIOLA	HF	DIADINO	ALLO	DIATO	ZEA	LUTE	CHLB	PHEO
SIM3	Moy0	7	395	82	1014	20	55	13	3	117	52	14	192	2	266	208
	Moy1A	6	345	72	877	18	60	17	3	105	45	12	353	9	275	179
	Moy2A	5	295	62	740	15	65	22	2	93	37	10	514	16	284	151
	Moy3A	4	245	52	603	13	70	27	2	81	30	8	675	24	294	122
	Moy4A	3	195	41	467	10	75	31	2	69	23	6	837	31	303	93
	Moy5A	2	145	31	330	7	80	36	1	58	16	4	998	38	312	65
	Moy6A	1	95	21	193	5	85	41	1	46	9	2	1159	45	322	36
	REF(4pts)	7	395	82	1014	20	55	13	3	117	52	14	192	2	266	208
	REF(9+30)	5	278	64	642	16	45	10	4	78	30	10	163	1	211	143

		C3	C1+C2	PERI	FUCO	NEO	PRASI	VIOLA	HF	DIADINO	ALLO	DIATO	ZEA	LUTE	CHLB	PHEO
SIM4	Moy0	7	395	82	1014	20	55	13	3	117	52	14	192	2	266	208
	Moy1A	6	333	68	851	17	62	19	3	103	43	12	410	11	281	173
	Moy2A	5	271	55	689	14	69	25	2	89	35	10	628	21	296	138
	Moy3A	4	210	41	527	10	77	31	2	74	26	7	846	31	312	104
	Moy4A	2	148	27	365	7	84	38	1	60	17	5	1064	41	327	69
	Moy5A	1	87	14	202	3	92	44	1	46	9	2	1282	50	342	35
	Moy6A	0	25	0	40	0	99	50	0	32	0	0	1500	60	358	0
	REF(4pts)	7	395	82	1014	20	55	13	3	117	52	14	192	2	266	208
	REF(9+30)	5	278	64	642	16	45	10	4	78	30	10	163	1	211	143

SIM1 : Changement la flore de la MEC7. Moy0 = pas de changement par rapport aux données réelles ; Moy1A= sur la MEC7, nous avons 1 année sur 6 avec dominance de cyanophycées ; Moy2A= sur la ME7, nous avons 2 années sur 6 avec dominance de cyanophycées ; et ainsi de suite jusqu'à Moy6A=où sur toute la période de gestion de 6 ans, les cyanophycées ont dominé la flore de la MEC7.

SIM2 : Changement la flore des MEC7 et MEC29. Même procédure pour les Moy0 à Moy6A.

SIM3 : Changement la flore des MEC7, MEC29 et MEC30. Même procédure pour les Moy0 à Moy6A.

SIM4 : Changement la flore des MEC7 MEC29, MEC30 et MEC9. Même procédure pour les Moy0 à Moy6A.

Les références sont bâties sur les données des 3 années échantillonnées (2013-2015).

ANNEXE 3 : Matrices de simulations SIM5 à SIM8 (pigments)

		C3	C1+C2	PERI	FUCO	NEO	PRASI	VIOLA	HF	DIADINO	ALLO	DIATO	ZEА	LUTE	CHLB	PHEO
SIM5	Moy0	7	422	87	1033	21	57	12	3	105	57	14	177	2	258	189
	Moy1A	7	396	83	953	20	58	14	3	100	52	14	232	4	260	176
	Moy2A	7	370	80	872	19	59	16	3	94	48	13	287	6	263	164
	Moy3A	6	334	75	835	18	61	17	3	90	41	11	343	9	260	161
	Moy4A	6	317	73	711	17	62	19	3	84	39	11	396	11	268	139
	Moy5A	5	291	69	630	16	63	20	3	78	34	10	451	14	270	127
	Moy6A	5	265	66	549	15	64	22	3	73	30	9	506	16	273	115
	REF(4pts)	7	395	82	1014	20	55	13	3	117	52	14	192	2	266	208
	REF(9+30)	5	278	64	642	16	45	10	4	78	30	10	163	1	211	143

		C3	C1+C2	PERI	FUCO	NEO	PRASI	VIOLA	HF	DIADINO	ALLO	DIATO	ZEА	LUTE	CHLB	PHEO
SIM6	Moy0	9	304	77	951	26	65	14	3	137	46	14	202	1	222	202
	Moy1A	9	290	74	898	25	65	16	3	129	42	13	253	4	227	188
	Moy2A	8	275	71	845	24	66	17	3	121	39	12	304	6	233	174
	Moy3A	8	269	67	804	22	66	20	2	109	38	11	360	9	228	162
	Moy4A	8	246	64	739	22	67	20	3	104	32	10	407	11	244	146
	Moy5A	7	232	61	686	21	67	22	3	95	29	9	458	13	249	132
	Moy6A	7	217	58	632	20	67	23	3	87	25	9	509	16	255	118
	REF(4pts)	7	395	82	1014	20	55	13	3	117	52	14	192	2	266	208
	REF(9+30)	5	278	64	642	16	45	10	4	78	30	10	163	1	211	143

		C3	C1+C2	PERI	FUCO	NEO	PRASI	VIOLA	HF	DIADINO	ALLO	DIATO	ZEА	LUTE	CHLB	PHEO
SIM7	Moy0	9	282	65	1092	15	63	9	2	152	41	13	113	2	250	233
	Moy1A	9	268	64	1006	15	64	11	2	141	38	12	169	4	248	216
	Moy2A	9	254	62	919	14	64	12	2	130	36	11	226	6	245	199
	Moy3A	8	258	74	858	16	65	14	2	121	37	11	288	9	245	198
	Moy4A	8	225	59	746	13	65	16	2	108	32	9	338	11	241	165
	Moy5A	7	211	58	659	12	66	17	2	96	30	8	394	14	238	148
	Moy6A	7	197	56	572	12	67	19	1	85	28	6	450	16	236	131
	REF(4pts)	7	395	82	1014	20	55	13	3	117	52	14	192	2	266	208
	REF(9+30)	5	278	64	642	16	45	10	4	78	30	10	163	1	211	143

		C3	C1+C2	PERI	FUCO	NEO	PRASI	VIOLA	HF	DIADINO	ALLO	DIATO	ZEА	LUTE	CHLB	PHEO
SIM8	Moy0	8	496	75	651	20	69	13	3	84	65	16	145	2	278	199
	Moy1A	8	459	70	618	19	72	14	3	81	60	15	203	4	275	189
	Moy2A	7	421	66	585	18	74	15	3	78	54	15	261	7	273	179
	Moy3A	7	378	58	628	17	72	16	3	75	46	12	339	9	261	173
	Moy4A	6	347	56	520	16	80	17	3	73	42	13	377	11	268	158
	Moy5A	6	309	51	487	16	82	19	3	71	36	13	435	13	265	148
	Moy6A	5	272	47	454	15	85	20	3	68	30	12	493	16	263	138
	REF(4pts)	7	395	82	1014	20	55	13	3	117	52	14	192	2	266	208
	REF(9+30)	5	278	64	642	16	45	10	4	78	30	10	163	1	211	143

Les « références » sont toujours celles de la matrice initiale (2013-2015).

SIM5 : Sur la base de la SIM1, variations aléatoires de ± 25 % de concentrations de la matrice pigmentaire des 4 points suggérés (MEC7, 9, 29 et 30).

SIM6 : Sur la base de la SIM1, variations aléatoires de ± 50 % de concentrations de la matrice pigmentaire des 4 points suggérés (MEC7, 9, 29 et 30).

SIM7 : Sur la base de la SIM1, variations aléatoires de ± 75 % de concentrations de la matrice pigmentaire des 4 points suggérés (MEC7, 9, 29 et 30).

SIM8 : Sur la base de la SIM1, variations aléatoires de ± 90 % de concentrations de la matrice pigmentaire des 4 points suggérés (MEC7, 9, 29 et 30).

ANNEXE 4 : Matrices de simulations SIM9 à SIM12 (abondances)

		CRYPTO	DINO	DIATO	CHLORO	EUGLE	CYANO
SIM9	Moy0	679	5588	499323	12438	2066	7645
	Moy1A	730	5531	478878	13914	2014	19591
	Moy2A	765	5493	474432	15844	1856	32060
	Moy3A	799	5455	469986	17775	1699	44528
	Moy4A	834	5418	465540	19706	1542	56997
	Moy5A	868	5380	461094	21636	1384	69466
	Moy6A	903	5342	456648	23567	1227	81934
	REF(4pts)	679	5588	499323	12438	2066	7645
	REF(9+30)	1082	6417	575898	7149	1611	14138

		CRYPTO	DINO	DIATO	CHLORO	EUGLE	CYANO
SIM10	Moy0	679	5588	499323	12438	2066	7645
	Moy1A	757	5274	450890	14763	2030	32030
	Moy2A	818	4979	418456	17542	1889	56936
	Moy3A	879	4684	386023	20322	1747	81843
	Moy4A	940	4389	353589	23101	1606	106749
	Moy5A	1001	4094	321155	25881	1465	131656
	Moy6A	1062	3799	288721	28660	1324	156563
	REF(4pts)	679	5588	499323	12438	2066	7645
	REF(9+30)	1082	6417	575898	7149	1611	14138

		CRYPTO	DINO	DIATO	CHLORO	EUGLE	CYANO
SIM11	Moy0	679	5588	499323	12438	2066	7645
	Moy1A	772	5131	423436	16627	2021	43476
	Moy2A	849	4693	363547	21271	1871	79829
	Moy3A	925	4256	303659	25914	1721	116182
	Moy4A	1001	3818	243770	30558	1571	152535
	Moy5A	1078	3381	183882	35202	1421	188888
	Moy6A	1154	2943	123993	39846	1270	225241
	REF(4pts)	679	5588	499323	12438	2066	7645
	REF(9+30)	1082	6417	575898	7149	1611	14138

		CRYPTO	DINO	DIATO	CHLORO	EUGLE	CYANO
SIM12	Moy0	679	5588	499323	12438	2066	7645
	Moy1A	746	4807	404437	18319	1976	55936
	Moy2A	797	4046	325549	24655	1781	104749
	Moy3A	848	3284	246662	30992	1586	153561
	Moy4A	899	2523	167775	37328	1390	202374
	Moy5A	949	1761	88887	43664	1195	251187
	Moy6A	1000	1000	10000	50000	1000	300000
	REF(4pts)	679	5588	499323	12438	2066	7645
	REF(9+30)	1082	6417	575898	7149	1611	14138

SIM9 : Changement la flore de la MEC7. Moy0 = pas de changement par rapport aux données réelles ; Moy1A= sur la MEC7, nous avons 1 année sur 6 avec dominance de cyanophycées ; Moy2A= sur la ME7, nous avons 2 années sur 6 avec dominance de cyanophycées ; et ainsi de suite jusqu'à Moy6A=où sur toute la période de gestion de 6 ans, les cyanophycées ont dominé la flore de la MEC7.

SIM10 : Changement la flore des MEC7 et MEC29. Même procédure pour les Moy0 à Moy6A.

SIM11 : Changement la flore des MEC7, MEC29 et MEC30. Même procédure pour les Moy0 à Moy6A.

SIM12 : Changement la flore des MEC7 MEC29, MEC30 et MEC9. Même procédure pour les Moy0 à Moy6A.

Les références sont bâties sur les données des 3 années échantillonnées (2013-2015).

ANNEXE 5 : Matrices de simulations SIM13 à SIM16 (abondances)

		CRYPTO	DINO	DIATO	CHLORO	EUGLE	CYANO
SIM13	Moy0	594	5364	468403	12796	1763	8966
	Moy1A	647	5314	446364	14205	1720	20802
	Moy2A	683	5257	441794	16117	1612	33262
	Moy3A	720	5200	437223	18029	1504	45723
	Moy4A	756	5143	432653	19941	1396	58184
	Moy5A	792	5086	428083	21854	1288	70644
	Moy6A	829	5029	423513	23766	1179	83105
	REF(4pts)	679	5588	499323	12438	2066	7645
	REF(9+30)	1082	6417	575898	7149	1611	14138

		CRYPTO	DINO	DIATO	CHLORO	EUGLE	CYANO
SIM14	Moy0	660	5375	461571	15238	2282	4325
	Moy1A	725	5247	447629	16607	2188	16511
	Moy2A	763	5200	443684	18591	1972	28992
	Moy3A	801	5154	439739	20575	1757	41472
	Moy4A	839	5107	435794	22559	1541	53953
	Moy5A	877	5060	431850	24543	1325	66434
	Moy6A	915	5013	427905	26527	1110	78914
	REF(4pts)	679	5588	499323	12438	2066	7645
	REF(9+30)	1082	6417	575898	7149	1611	14138

		CRYPTO	DINO	DIATO	CHLORO	EUGLE	CYANO
SIM15	Moy0	694	6753	517549	14215	1174	3532
	Moy1A	722	6735	495927	15740	1144	15819
	Moy2A	751	6709	492971	17741	1083	28270
	Moy3A	780	6684	490016	19742	1022	40720
	Moy4A	809	6658	487060	21743	961	53170
	Moy5A	839	6633	484104	23744	900	65621
	Moy6A	868	6608	481149	25744	839	78071
	REF(4pts)	679	5588	499323	12438	2066	7645
	REF(9+30)	1082	6417	575898	7149	1611	14138

		CRYPTO	DINO	DIATO	CHLORO	EUGLE	CYANO
SIM16	Moy0	560	4972	417698	13219	3227	2032
	Moy1A	591	4807	396328	14364	3124	14381
	Moy2A	632	4840	394793	16355	2851	26878
	Moy3A	673	4874	393257	18347	2579	39375
	Moy4A	714	4907	391722	20338	2307	51872
	Moy5A	755	4941	390186	22329	2034	64369
	Moy6A	796	4975	388651	24320	1762	76866
	REF(4pts)	679	5588	499323	12438	2066	7645
	REF(9+30)	1082	6417	575898	7149	1611	14138

Les « références » sont toujours celles de la matrice initiale (2013-2015).

SIM13 : Sur la base de la SIM9, variations aléatoires de ± 25 % d'abondances de la matrice des 4 points suggérés (MEC7, 9, 29 et 30).

SIM14 : Sur la base de la SIM9, variations aléatoires de ± 50 % d'abondances de la matrice des 4 points suggérés (MEC7, 9, 29 et 30).

SIM15 : Sur la base de la SIM9, variations aléatoires de ± 75 % d'abondances de la matrice des 4 points suggérés (MEC7, 9, 29 et 30).

SIM16 : Sur la base de la SIM9, variations aléatoires de ± 90 % d'abondances de la matrice des 4 points suggérés (MEC7, 9, 29 et 30).

ANNEXE 6 : Matrices de pigments et abondances (par classes) avec indication des échantillons avec blooms sur les MEC7, 9, 29 et 30

St	date	PIGMENTS															ABONDANCES						
		C3	C1+C2	PERI	FUCC	NEO	PRASI	VIOLA	HF	DIADINO	ALLO	DIAIIO	ZEA	LUTE	CHLB	PHEO	TCHLA	CRYPTO	DINO	DIAIO	CHLORO	EUGLE	CYANO
MEC 29	28/06/2013	35	911	89	2580	26	32	22	6	275	61	19	165	3	241	418	7856	0	0	337679	0	0	0
MEC 29	02/08/2013	0	206	50	500	7	0	7	0	57	38	6	406	0	67	168	2125	0	42	10078	0	0	0
MEC 29	13/09/2013	31	447	62	1241	49	57	37	0	148	84	23	221	6	372	455	4254	0	0	146596	0	0	0
MEC 29	11/10/2013	0	124	64	199	19	46	10	0	37	66	5	95	0	203	331	1483	0	8	130	0	8	0
MEC 29	22/11/2013	54	315	81	744	50	105	30	0	77	73	12	167	7	574	781	3316	8	57	325	8	16	0
MEC 29	13/12/2013	0	182	35	572	21	56	11	0	64	43	14	135	0	240	510	2677	0	8	187	0	16	0
MEC 29	16/10/2014	0	328	122	761	52	163	0	0	131	44	32	1097	0	665	72	5197	0	3766	155907	149881	0	0
MEC 29	20/11/2014	0	396	34	1105	14	34	16	0	89	36	11	140	0	111	93	3178	378	17386	871189	1134	1134	0
MEC 29	21/12/2014	0	516	149	1108	14	44	14	28	106	25	10	39	0	110	46	2855	1989	31828	1471542	2487	995	0
MEC 29	13/02/2015	0	1526	592	3857	84	143	64	0	448	86	50	131	0	759	122	11207	1710	32481	5492641	66671	0	0
MEC 29	09/04/2015	0	312	241	494	16	35	13	0	101	140	12	102	0	204	24	3362	650	5067	34819	15721	3378	15980
MEC 29	08/06/2015	0	77	30	135	16	69	11	0	21	25	0	212	0	296	16	1737	0	0	57214	149232	477	3337
MEC 29	03/08/2015	0	172	0	609	24	0	0	0	46	28	0	29	0	64	51	1515	0	2598	283880	0	1949	0
MEC 30	28/06/2013	18	237	24	700	13	34	8	0	64	42	6	115	1	145	304	2249	6834	13667	471513	10250	3417	3417
MEC 30	02/08/2013	3	49	8	108	4	7	3	7	12	7	2	188	0	27	51	531	0	0	15540	14	0	0
MEC 30	13/09/2013	19	101	16	267	28	59	10	0	30	31	4	143	7	252	429	1378	0	0	2280	0	38	0
MEC 30	11/10/2013	0	66	37	94	15	38	6	0	20	31	2	70	0	153	312	828	0	16	585	0	41	0
MEC 30	22/11/2013	34	108	6	306	66	140	28	0	23	18	6	179	2	762	59	2002	0	16	211	0	8	0
MEC 30	13/12/2013	0	179	35	520	16	43	10	0	62	28	7	96	3	161	352	1791	0	101	7521	0	0	0
MEC 30	16/10/2014	0	72	0	191	0	99	0	0	32	0	0	1154	0	358	0	2796	0	693	107749	2772	173	0
MEC 30	20/11/2014	0	690	43	2014	0	0	0	0	154	24	22	147	0	91	94	5042	366	7686	819060	2196	2562	0
MEC 30	21/12/2014	0	418	115	829	7	33	8	22	86	22	22	47	0	65	67	2310	852	6816	2064275	1278	1704	0
MEC 30	13/02/2015	0	1101	161	2639	32	42	19	22	332	17	66	85	0	236	91	7226	0	21654	5110281	0	3937	295278
MEC 30	09/04/2015	0	102	75	152	10	35	10	0	32	50	0	91	0	161	17	1318	130	4677	20528	14811	2598	2469
MEC 30	08/06/2015	0	94	37	227	0	62	0	0	33	39	0	137	0	247	16	1599	0	1656	44101	35612	1035	27537
MEC 30	03/08/2015	0	57	0	172	0	0	0	0	17	21	0	20	0	57	35	545	0	520	32221	1429	260	0
MEC 7	01/07/2013	41	837	308	1831	74	113	50	9	265	187	42	204	14	827	1019	8707	0	218	25751	0	0	0
MEC 7	27/08/2013	35	810	63	2186	47	82	31	14	238	107	30	110	10	453	763	7272	NA	NA	NA	NA	NA	NA
MEC 7	10/09/2013	9	478	43	1525	38	32	32	9	169	97	20	82	8	344	429	5096	0	0	13642	32	32	0
MEC 7	14/10/2013	33	472	64	1547	26	43	16	0	165	107	18	159	6	248	374	5853	0	16	365	24	49	16
MEC 7	13/11/2013	0	221	57	640	18	24	12	0	88	63	16	96	0	228	250	2837	16	16	260	8	24	0
MEC 7	09/12/2013	0	315	51	1086	17	33	12	0	134	61	18	91	0	215	385	4416	0	57	341	0	0	0
MEC 7	21/10/2014	0	3811	354	10533	0	464	0	0	1044	387	106	1596	0	1571	414	33626	NA	NA	NA	NA	NA	NA
MEC 7	18/11/2014	0	259	23	689	17	45	15	0	86	37	10	255	0	125	40	2636	0	6299	174647	472	157	0
MEC 7	16/12/2014	0	168	28	524	9	19	9	0	63	26	8	40	0	80	22	1717	1866	933	204330	5132	4199	933
MEC 7	11/02/2015	0	96	43	257	0	16	0	0	43	16	0	19	0	79	43	1137	0	6929	191419	3465	2598	3465
MEC 7	14/04/2015	0	131	0	554	0	0	0	0	77	43	11	33	0	149	105	2414	0	5197	116930	2598	3898	0
MEC 7	15/06/2015	0	16	0	113	0	19	0	0	12	16	10	77	0	57	98	575	0	0	389767	25984	38977	0
MEC 7	04/08/2015	0	159	22	610	0	0	0	0	60	22	14	21	0	35	50	1743	0	1299	166301	2598	2598	3898
MEC 9	30/07/2013	39	237	81	473	40	103	16	19	59	50	7	331	4	437	90	2820	0	38	7929	0	25	38
MEC 9	27/08/2013	11	197	31	460	37	74	25	0	64	47	6	129	7	450	616	2655	0	29	3465	29	0	29
MEC 9	27/09/2013	0	348	52	1177	11	43	9	0	116	24	12	296	0	85	307	3410	75	2930	93691	2029	150	376
MEC 9	22/11/2013	0	76	40	128	43	72	22	0	26	22	3	68	5	455	335	1295	0	32	162	24	97	0
MEC 9	13/10/2014	0	31	17	60	5	28	0	0	13	10	0	155	0	107	10	748	0	780	48981	390	390	0
MEC 9	18/11/2014	0	583	217	1155	18	48	18	0	192	86	20	208	0	162	41	3955	11549	19798	1077325	6599	12374	0
MEC 9	18/12/2014	0	886	61	1408	9	0	0	0	140	12	30	0	0	46	37	3494	4036	16146	2495519	2018	2018	0
MEC 9	10/02/2015	0	537	302	1096	0	12	14	0	192	40	14	36	0	166	64	4095	488	49773	1189186	5856	3904	0
MEC 9	14/04/2015	0	89	34	229	8	24	9	0	35	20	5	104	0	103	22	1220	1516	2815	27284	12992	433	10177
MEC 9	11/06/2015	0	269	86	677	26	66	20	0	91	60	0	123	0	269	54	3196	0	3508	10913	71068	2598	0
MEC 9	04/09/2015	0	98	12	316	5	17	0	24	31	9	0	48	0	71	23	967	130	650	171238	2209	909	0

Blooms > 100 000 cel/L

Blooms > 1 000 000 cel/L

