

OBSERVATOIRE « HOMMES-MILIEUX »
Littoral méditerranéen



***Réponses fonctionnelles du phytoplancton
dans les lagunes méditerranéennes soumises à la pression urbaine***

Rapport final

Responsable scientifique

Béatrice Bec

UMR 9190 – MARBEC Biodiversité marine, Exploitation et Conservation

Beatrice.Bec@umontpellier.fr

Sommaire

Sommaire.....	2
Résumé succinct du projet	3
1. Informations générales concernant le projet	4
2. Contexte problématique	5
3. Méthodologie.....	7
4. Résultats	11
5. Discussion.....	17
Conclusion	19
Bibliographie	21

Résumé succinct du projet

Situées à l'interface entre terre et mer, les lagunes du Languedoc-Roussillon et de Corse font partie des zones durement impactées par l'anthropisation. Leur qualité écologique a été fortement dégradée par l'eutrophisation liée à d'importants rejets d'effluents urbains.

Dans le Golfe d'Aigues-Mortes, les lagunes palavasiennes font l'objet depuis fin 2005 d'efforts de gestion des apports nutritifs par la mise en place d'un émissaire rejetant en mer les effluents urbains de Montpellier. Le compartiment phytoplanctonique a subi de rapides et fortes modifications de sa structure et sa composition liées à la réduction drastique des apports nutritifs. Le projet proposé vise à étudier : 1) les réponses adaptatives des communautés phytoplanctoniques sous l'angle de leur diversité taxonomique et fonctionnelle, face aux changements de l'environnement nutritif dans le complexe palavasien ; 2) de comparer les réponses observées à celles obtenues dans la lagune de Biguglia où la pression urbaine est en plein essor, sans mesure de gestion adaptée des effluents urbains.

Mots clés : phytoplancton, nutriments, lagunes, effluents urbains, restauration

1. Informations générales concernant le projet

Responsable scientifique

Béatrice BEC

UMR MARBEC – 9190, cc 093, Université de Montpellier, Place E. Bataillon, 34095 cedex 05

04 67 14 36 73

Beatrice.Bec@umontpellier.fr

Nom-Prénom	Fonctions et laboratoire	Spécialité
Bec Béatrice	MCF, Université de Montpellier, MARBEC	Ecologie du phytoplancton
De Wit Rutger	DR - CNRS, MARBEC	Fonctionnement des écosystèmes lagunaires
Derolez Valérie	IR, Ifremer, MARBEC	Restauration et Suivi lagunaire
Hatey Elise	T, CNRS, MARBEC	Analyses pigmentaires
Lasserre Bernard	AT, Université de Montpellier, MARBEC	Terrain et Prélèvements
Leruste Amandine*	Doctorante, Université de Montpellier, MARBEC	Ecologie du phytoplancton
Rieuvilleneuve Fabien	AT, Université de Montpellier, MARBEC	Terrain et Prélèvements
Garrido Marie	ATER, Université de Corse Pasquale Paoli, SPE	Ecologie du phytoplancton
Gavini Alexandre*	Doctorant, Université de Corse Pasquale Paoli, SPE	-
Pasqualini Vanina	PR, Université de Corse Pasquale Paoli, SPE	Ecologie et biologie marine
Baldi Yoann	T, Ifremer, Station de Corse	Terrain et Prélèvements, Phytoplancton
Malet Nathalie	CR, Ifremer, Station de Corse	Ecologie lagunaire

Le projet proposé est en lien avec les projets de recherche menés dans le cadre des contrats doctoraux d'A. Leruste* (2012-2016, « Trajectoires d'évolution des communautés phytoplanctoniques au cours du processus de restauration écologique des milieux lagunaires méditerranéens », thèse soutenue en avril 2016) et d'A. Gavini* (2012-2013, « Corridor écologique mer - lagune et communautés phytoplanctoniques : contribution à la gestion des milieux et des ressources halieutiques en milieu lagunaire », thèse interrompue fin 2013).

Plusieurs étudiants ont également participé aux travaux d'expérimentations *in situ* et/ou aux traitements des données collectées dans le cadre de leur stage de licence, master et de projet de fin d'étude :

- Mélanie Larue (mars-juin 2014), M1 Ecologie des écosystèmes aquatiques et terrestres, Université de Montpellier
- Vincent Perez (avril 2014), M1 Gestion intégrée du littoral et des écosystèmes, Université de Corse
- Coralie Unbekandt (avril 2014) L3, Biologie des organismes et écologie, Université de Corse
- Arnaud Louchard (mars-juin 2015, M1 Ecologie, Université de Lille)
- Loic Perot (novembre 2016-janvier 2017, Elève-ingénieur en 5^{ème} année, Département Sciences et Technologies de l'Eau, Polytech'Montpellier).

En Languedoc-Roussillon, les incubations ont été réalisées sur la plateforme expérimentale Medimeer (Station Méditerranéenne de l'Environnement Littoral, Sète) avec l'aide de Sébastien Mas et David Parin. Des chercheurs de l'UMR MARBEC ont également participé aux expérimentations *in situ* (P. Cecchi CR-IRD, D. Grzebyk CR-CNRS, Y. Collos CR-CNRS et G. Chéreau CDD-CNRS).

En Corse, les incubations ont été réalisées sur le site de la Réserve Naturelle de l'Etang de Biguglia avec l'aide des agents du Conseil général de la Haute-Corse.

Temporalité

Date de début des travaux : novembre 2013 (hors financement OHM) – avril 2014. Les expérimentations *in situ* ont été réalisées au cours de trois saisons d'une année hydrologique (Automne 2013, Printemps et Eté 2014). Le soutien financier de l'OHM a permis l'organisation des missions du printemps et de l'été 2014.

Date de fin des travaux pour la rédaction du rapport : septembre 2014

Poursuite de l'étude en cours : ~~Oui~~ / Non

Demande de soutien financier à l'OHM pour l'année 2014 : ~~Oui~~ / Non

2. Contexte, problématique

Etat de l'art et question(s) associée(s)

Situées à l'interface entre continent et mer, les lagunes côtières sont parmi les plus riches réservoirs de diversité écologique et de productivité biologique. Elles rassemblent des habitats très diversifiés abritant de nombreuses espèces animales et végétales de grande valeur patrimoniale et soutiennent des services écosystémiques à haute valeur économique (e.g. ressources aquacoles, production halieutique). Les lagunes procurent ainsi de nombreux biens et services pour l'homme, et assurent *in fine* le bien-être des populations humaines (Costanza et al. 1997, Barbier et al. 2011). Cependant, ces écosystèmes côtiers font partie des zones les plus vulnérables et plus menacées par l'anthropisation (Glibert et al. 2010). Le long du littoral méditerranéen, l'essor démographique engagé depuis les années 1960 a fortement dégradé la qualité écologique des lagunes, en provoquant en premier lieu une forte eutrophisation des eaux liée aux importants rejets d'effluents urbains dus au ruissellement urbain et rejets de stations d'épuration, (Souchu et al. 2010).

En Languedoc-Roussillon, les politiques publiques ont ciblé depuis plusieurs années la maîtrise des apports nutritifs des bassins versants par un effort de gestion des rejets urbains dans les lagunes. L'un des exemples les plus remarquables est celui des lagunes palavasiennes (Golfe d'Aigues-Mortes) où une réduction de 60% des apports totaux en azote et en phosphore (Dupré 2002) a été réalisée grâce à la mise en place en 2005 d'un émissaire rejetant les effluents urbains de l'agglomération de Montpellier (400 000 habitants) en mer. Ces lagunes ayant subi durant de nombreuses années des apports nutritifs excessifs, sans pouvoir les assimiler sont depuis peu entrées dans une nouvelle dynamique de restauration. *A contrario*, d'autres lagunes font l'objet d'une pression anthropique en plein essor et ceci sans mesure de gestion adaptée des effluents urbains. En Corse, le bassin versant de la lagune de Biguglia, qui abrite la plus grande zone d'activité de l'île, connaît actuellement une forte urbanisation. Les pressions anthropiques sont liées en particulier à l'expansion de la communauté d'agglomération de Bastia (60 000 habitants) entraînant un accroissement du réseau de transport (e.g. création d'un nouveau port de commerce à proximité du grau) et de la pollution des eaux (Mouillot et al. 2000, Orsoni et al. 2001).

En raison de leur richesse et de leur vulnérabilité, les lagunes font l'objet depuis quelques années d'une attention particulière dans le cadre du concept international de Gestion Intégrée de la Zone Côtière (GIZC). La qualité écologique de ces milieux conditionne le maintien des activités traditionnelles (pêche, chasse) et récréatives (tourisme, activités nautiques, découverte des espaces naturels...). En Languedoc-Roussillon et en Corse, les suivis mis en place depuis 2000 dans le cadre du Réseau de Suivi Lagunaire et/ou de la Directive Cadre sur l'Eau ont abouti à une prise de conscience par les acteurs locaux (élus, gestionnaires, acteurs socio-professionnels) des risques liés à la dégradation de la qualité des lagunes et à la nécessité d'une gestion intégrée de ces milieux de manière à préserver leur patrimoine écologique (Réserve Naturelle, Natura 2000) et à maintenir la diversité des usages. La forte pression anthropique, en particulier l'eutrophisation, exercée sur les lagunes méditerranéennes a conduit à un large gradient trophique, de l'oligo-à l'hypertrophie, (Souchu et al. 2010) et à de fortes altérations de la structure et de la diversité des producteurs primaires, en particulier des communautés phytoplanctoniques dont les biomasses ont dépassé 100 µgChla/L dans les lagunes les plus dégradées (Bec et al. 2011). A l'échelle du complexe palavasien, les efforts de gestion des effluents urbains ont permis une réduction drastique des apports nutritifs dans les eaux lagunaires se traduisant en premier lieu par de rapides et fortes modifications du compartiment phytoplanctonique (chute de la biomasse et des abondances (Bec et al. ICES 2011) ainsi qu'à des modifications de la diversité

pigmentaire (Leruste et al. EUROLAG 2013). Dans la lagune de Biguglia où le recul scientifique est moins important, des actions de gestion ont été entreprises afin de lutter contre la dégradation de la qualité des eaux comme le curage du canal du Fossone permettant une gestion partielle des flux hydrologiques fin 2009). Les gestionnaires confrontés à des effets néfastes tels que des blooms d'espèces planctoniques potentiellement toxiques, invasives et inattendus, ont mis en oeuvre des mesures d'atténuation (Garrido, 2012, Garrido et al. 2013). La pertinence de la gestion des flux d'eau en tant que stratégie de lutte contre l'eutrophisation dans cette lagune côtière a été discutée.

L'évolution récente de la structuration des communautés phytoplanctoniques dans le complexe palavasiens constitue une réponse adaptative des différentes composantes phytoplanctoniques, en termes d'acquisition et d'exploitation des ressources disponibles, face aux changements de l'environnement nutritif. Le phytoplancton, par sa structuration taxonomique et fonctionnelle, constitue donc un compartiment-clé pour caractériser l'état écologique des lagunes et étudier la réponse de ces écosystèmes face aux excès ou à la réduction des apports nutritifs : respectivement au cours de processus de dégradation (e.g. pression urbaine croissante) ou de restauration (e.g. gestion des effluents urbains).

Contexte local et intérêt du traitement de la question dans le cadre de l'OHM « Littoral méditerranéen »

Ce projet proposé à l'OHM Littoral méditerranéen vise à étudier l'urbanisation côtière et les systèmes socio-écologiques littoraux extrêmement anthropisés. Notre proposition concerne deux sites d'étude de l'OHM : deux lagunes du golfe d'Aigues-Mortes engagées dans des processus de restauration (gestion des effluents urbains) depuis 9 ans et la lagune de Biguglia en Corse très dégradée (pression urbaine croissante et difficultés avérées de gestion des effluents urbains). A travers l'étude comparée des réponses adaptatives des communautés phytoplanctoniques en situation de limitation nutritive ou d'apports nutritifs, ce projet permet d'offrir une contribution à la gestion des effluents urbains en zone littorale. Grâce à l'appui de différents acteurs locaux (SIEL, CEPRALMAR, RSL, Ifremer, Universités de Montpellier et de Corse, RNEB) et du Pôle-Relais Lagunes Méditerranéennes, notre proposition vise également à transférer les connaissances scientifiques acquises vers l'ensemble des acteurs cibles afin d'améliorer et d'optimiser la restauration écologique des milieux lagunaires.

Hypothèses

Les objectifs de ce projet visent au travers de l'étude du compartiment phytoplanctonique à : *i.* comprendre le fonctionnement de lagunes palavasiennes caractérisées par un degré d'anthropisation différent (Lagunes d'Ingril et du Méjean) face aux changements drastiques de l'environnement nutritif et *ii.* comparer les réponses fonctionnelles observées dans ces lagunes engagées dans un processus de restauration à celles obtenues dans une lagune soumise à une pression anthropique croissante (Lagune de Biguglia). Plus précisément, le projet a pour but de déterminer les réponses adaptatives des communautés phytoplanctoniques, au travers de leur diversité taxonomique et fonctionnelle, en situation de limitation nutritive ou d'apports nutritifs afin de mieux appréhender le fonctionnement des lagunes ciblées face aux efforts de gestion des effluents urbains.

Cette approche fonctionnelle des communautés phytoplanctoniques est basée sur l'étude de traits biologiques (composition spécifique et pigmentaire, structure de taille, biomasse, croissance, activité photosynthétique) permettant de mieux appréhender les réponses du phytoplancton dans des écosystèmes lagunaires soumis à des changements de leur environnement nutritif (eutrophisation versus oligotrophisation).

3. Méthodologie

Terrains étudiés

Golfe d'Aigues-Mortes : Complexe des étangs palavasiens

Les lagunes du complexe palavasien sont des milieux peu profonds (< 1m) et de faible superficie (< 5 km²). Plusieurs aménagements ont fortement modifié leur morphologie. Le canal du Rhône à Sète a divisé les huit lagunes en deux groupes : les lagunes dites « de première ligne », en communication avec la mer Méditerranée par des graus et celles « de seconde ligne » influencées directement par les apports nutritifs des bassins versants. Les lagunes communiquent entre elles par ce canal et par le cours d'eau Le Lez.

Ces lagunes sont marquées par un fort gradient d'eutrophisation, décroissant d'Est en Ouest. Les deux lagunes choisies (Fig. 1) pour le projet appartiennent au groupe de seconde ligne et présentent des niveaux d'eutrophisation contrastés, la lagune d'Ingril (INN, mésotrophe) et la lagune du Méjean (MEW, hypereutrophe).

Biguglia

La lagune de Biguglia, située au Nord-Est de la Corse (Fig. 1) est le plus vaste écosystème lagunaire de l'île (14,5 km²). C'est une lagune peu profonde (profondeur maximale : 1,8 m), séparée de la mer par un cordon lagunaire sur environ 10 km de long. Ce milieu reçoit des apports d'eau douce via de nombreux cours d'eau, des stations de pompage et des canaux de drainage. Les échanges avec la mer sont limités et se réalisent grâce à un grau naturel situé à l'extrémité d'un long et étroit chenal au Nord.

Les stations S1 et S3 ont été choisies de façon à couvrir l'ensemble du plan d'eau en tenant compte des caractéristiques environnementales contrastées (en particulier la salinité).

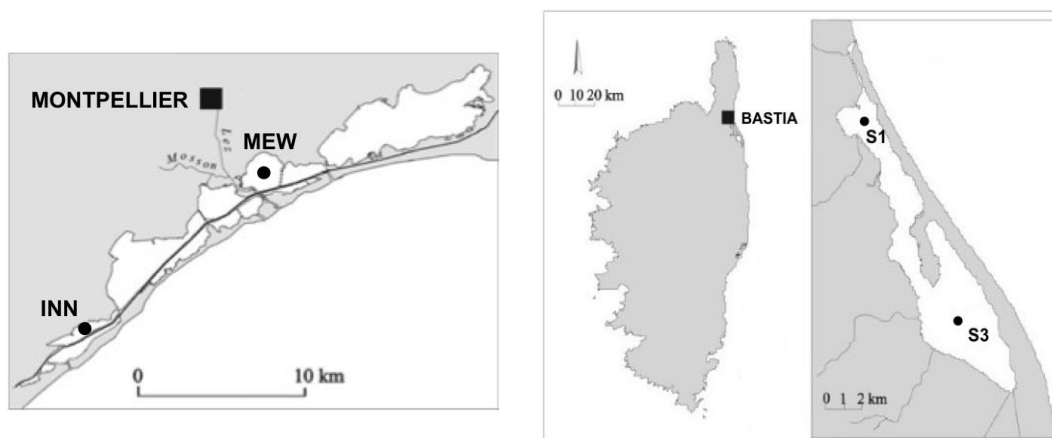


Figure 1. Localisation des deux lagunes du complexe palavasien situé dans le Golfe d'Aigues-Mortes et de la lagune de Biguglia située sur le littoral corse

Les deux lagunes du complexe palavasien ont fait l'objet d'un suivi mensuel durant deux années (2013/2014) dans le cadre du contrat doctoral d'A. Leruste (Université de Montpellier). La lagune de Biguglia a également fait l'objet d'un suivi mensuel (2013/2014) sur deux stations (S1 et S3) dans le cadre d'un contrat de collaboration entre l'Université de Corse et le Département de la Haute-Corse.

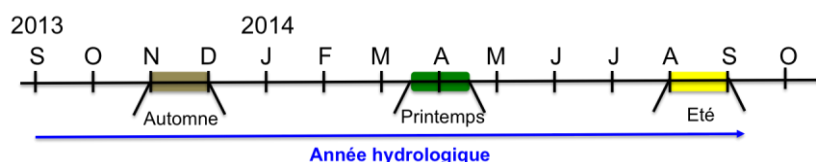


Figure 2. Calendrier des expériences réalisées *in situ* dans les lagunes palavasiennes et corse étudiées au cours de l'année hydrologique 2013/2014

Le projet de recherche initial intègre en plus des deux lagunes palavasiennes et de la lagune corse, une lagune de référence non impactée par la pression anthropique (Ayrolle, Languedoc-Roussillon) et des expérimentations sur trois périodes saisonnières marquées d'une année hydrologique : automne, printemps

et été (Fig. 2). L'ensemble des expériences a donc été intégré aux suivis réalisés aux différentes stations dans le cadre de l'année hydrologique 2013/2014.

Les expériences automnales ont été soutenues financièrement (terrain, prélèvements et analyses) hors du cadre de l'appel à projet OHM. Les missions soutenues financièrement par l'A.P. OHM ont été effectuées lors des expérimentations réalisées dans les deux lagunes palavasiennes et dans la lagune de Biguglia au cours du printemps et de l'été 2014 (Tableau 1).

Tableau 1. Dates des expérimentations réalisées dans les lagunes palavasiennes et corse et nature de la forme azotée de l'enrichissement nutritif

	Enrichissement nutritif azoté	Complexe palavasien INN MEW	Lagune de Biguglia S1 S3
PRINTEMPS	F : 20 μM NO_3	17-18/04/14 22-23/04/14	07-08/04/14 02-03/04/14
ETE	H : 20 μM NH_4	25-26/08/14 27-28/08/14	11-12/09/14 09-10/09/14

Dans les écosystèmes lagunaires, ces deux périodes sont contrastées en termes d'apports nutritifs provenant essentiellement du bassin versant au printemps et de la régénération sédimentaire en été. La forme des apports azotés peut également différer suivant les périodes (NO_3 au printemps et NH_4 en été).

Données collectées et/ou créées

Sur le terrain, 60 L d'eau ont été prélevés afin de réaliser les différents échantillonnages (Tableau 2) et la préparation des incubations.

Tableau 2. Echantillonnage des paramètres environnementaux et biologiques réalisé au cours d'une expérimentation.

T0	Paramètres environnementaux	Température, salinité, PAR Sels nutritifs (NO_3 , NO_2 , NH_4 , PO_4)
	Paramètres indicateurs d'eutrophisation	Azote total (NT), Phosphore total (PT) Biomasse chlorophyllienne (Chl a)
	Caractérisation des communautés phytoplanctoniques	- Structure de taille (ultra-, nano- et microphytoplancton) associée aux pigments - Diversité pigmentaire - Abondances phytoplanctoniques - Proportion des organismes flagellés auto- et hétérotrophes - Activité photosynthétique
T24	Paramètres environnementaux	Sels nutritifs (NO_3 , NO_2 , NH_4 , PO_4)
	Réponses des communautés phytoplanctoniques	- Biomasse chlorophyllienne (Chl a) - Structure de taille (ultra-, nano- et microphytoplancton) associée aux pigments - Abondances phytoplanctoniques - Taux de croissance (Chl a , Abondances) - Activité photosynthétique

A T0, la composition et la structure de taille des communautés phytoplanctoniques a été étudiée grâce à l'analyse de:

- La biomasse chlorophyllienne phytoplanctonique par spectrofluorimétrie
- L'activité photosynthétique phytoplanctonique à l'aide du Phyto-PAM
- La diversité taxonomique (spécifique et pigmentaire) par microscopie optique et par HPLC afin d'explorer la diversité des différentes composantes (ultra-, nano- et micro-) du phytoplancton
- La diversité fonctionnelle (structure par taille, proportion d'organismes auto- et hétérotrophes) par fractionnement de la composition pigmentaire par classes de taille ([0,7-5 μm , ultraplankton], [5-20 μm , nanoplankton] et totale) et par microscopie à fluorescence afin de coupler la diversité taxonomique à la structure fonctionnelle des communautés phytoplanctoniques.

La figure 3 récapitule l'ensemble des échantillons prélevés à chaque station lagunaire à T0.

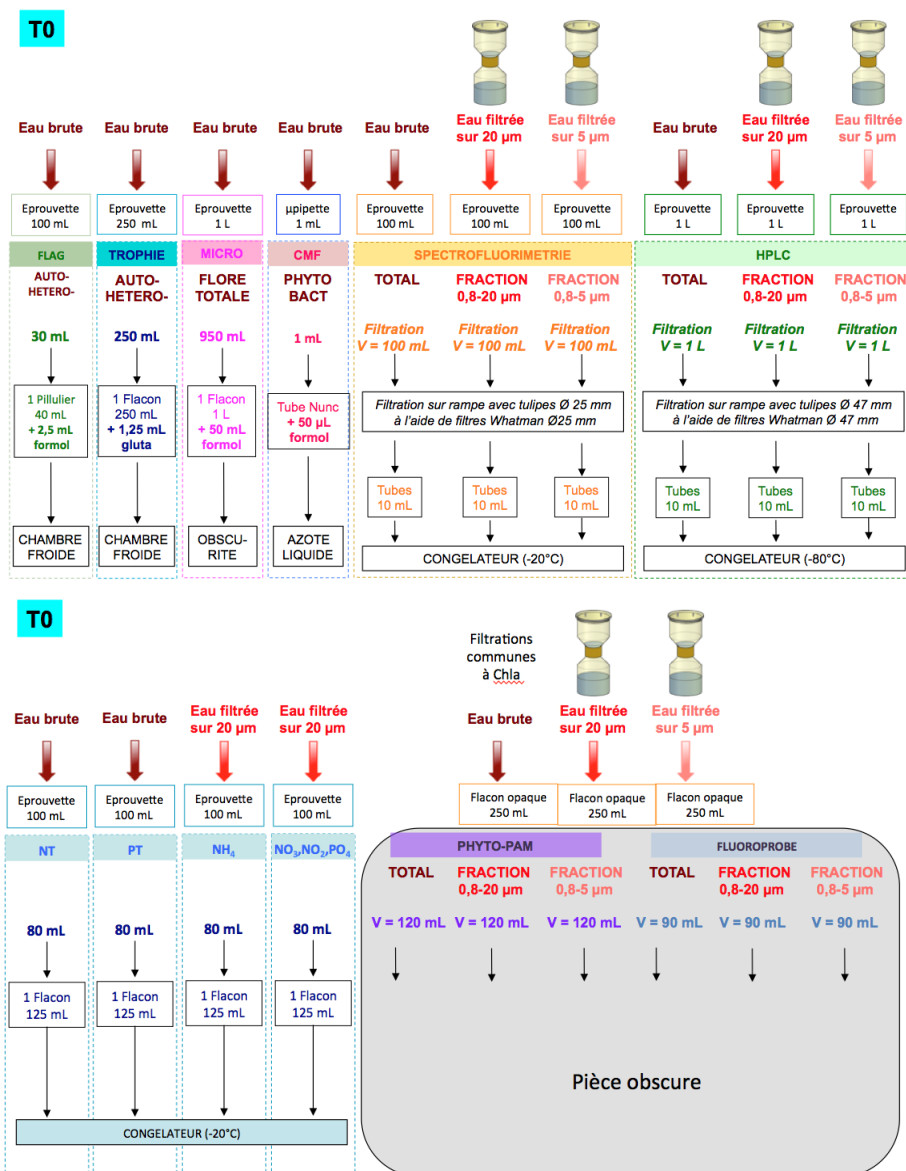


Figure 3. Prélèvements et conservation de l'ensemble des échantillons prélevés à chaque station lagunaire au cours d'une expérimentation.

A T24, les incubations *in situ* ont permis d'estimer les capacités de croissance des différentes composantes du compartiment phytoplanctonique et de leurs limitations nutritives potentielles:

- **Croissance et limitation nutritive:** estimation du taux de croissance du phytoplancton (Landry et Hassett 1982), en conditions saturantes (+N +P) et limitantes en nutriments (-N et/ou -P) afin d'évaluer les capacités de croissance du phytoplancton en fonction de conditions nutritives variées
- **Exploitation des ressources nutritives :** détermination des sources nutritives potentiellement exploitées (internes, externes et/ou régénérées) par les différentes composantes phytoplanctoniques pour soutenir leur croissance en conditions limitantes selon le modèle d'Andersen et al. (1991).

L'analyse du compartiment phytoplanctonique au travers de sa diversité taxonomique et fonctionnelle et de ses capacités de croissance et/ou de limitation nutritive, permet de relier les réponses fonctionnelles des communautés phytoplanctoniques obtenues à la saisonnalité et aux changements de l'environnement nutritif dans les trois lagunes.

Les incubations *in situ* ont été réalisées durant 24h (Fig. 4). En Languedoc-Roussillon, elles ont été effectuées dans la lagune de Thau avec l'aide de la plateforme expérimentale Medimeer. En Corse, elles ont été réalisées dans la lagune de Biguglia avec l'aide des agents de la Réserve Naturelle de l'Etang de Biguglia.



Figure 4. Incubations *in situ* des bouteilles dans la lagune de Thau (Plateforme expérimentale Medimeer, à gauche) et dans la lagune de Biguglia (Ponton du Fortin, RNEB, à droite).

La figure 5 récapitule l'ensemble des échantillons prélevés à chaque station lagunaire à T24h dans chaque bouteille incubée (32 bouteilles incubées à chaque expérimentation).

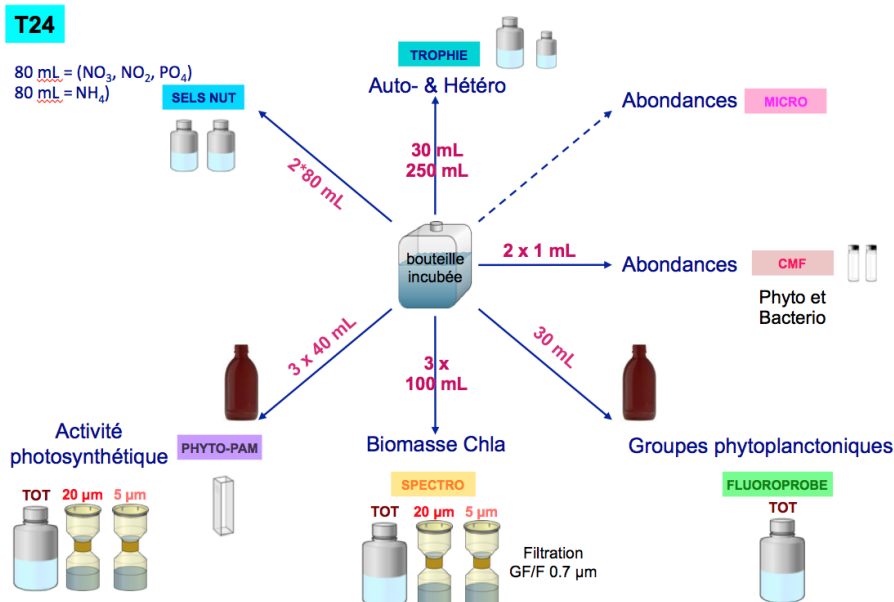


Figure 5. Ensemble des échantillons prélevés à chaque station lagunaire pour chacune des 32 bouteilles incubées *in situ* lors d'une expérimentation.

Démarche de traitement et d'analyse

Concernant les incubations, cinq dilutions d'eau brute avec de l'eau brute filtrée sur 0,2 µm ont été réalisées dans des bouteilles d'1L en duplicata (Fig. 4). La dilution permet de séparer physiquement les proies (phytoplancton) de leurs prédateurs (zooplancton) et de calculer le taux de croissance apparent du phytoplancton pour chacune des dilutions. Cette méthode (Landry et Hassett, 1982) permet d'estimer le taux de croissance maximal du phytoplancton en absence de prédateurs. Plusieurs enrichissements nutritifs [avec ou sans azote (N) et phosphore (P)] ont été réalisés dans les 30 bouteilles. Deux bouteilles contenant de l'eau brute (100%) non enrichie ont servi de témoins. Ainsi, 32 bouteilles ont été incubées *in situ* pour chaque expérimentation (4 stations vs 2 saisons).



Figure 6. Incubations et enrichissements réalisés durant 24 h *in situ*

Trois enrichissements (complet : +N +P, sans azote : -N, sans phosphore : -P) et cinq dilutions d'eau brute (100%, 75%, 45%, 20% et 10%) ont été réalisées. Chaque traitement a été réalisé en duplicata.

Le tableau 3 indique le déroulement des analyses et les laboratoires impliqués dans ces analyses (Institut méditerranéen d'Océanologie MIO (Marseille), UMR MARBEC (Montpellier), et UMR SPE (Corte)).

Tableau 3. Analyses des échantillons environnementaux et biologiques prélevés au cours des expérimentations du printemps et de l'été 2014 aux 4 stations lagunaires du complexe palvasien et de Corse.

	T0	T24	Nb. Tot. Ech.	Laboratoire	Analyses
T°, salinité, PAR	1	-	8	<i>in situ</i>	réalisées
Sels nutritifs (x6) : NH ₄ , NO ₃ , NO ₂ , PO ₄ , NT, PT	1	32	264	MIO	réalisées
Chla : Biomasse et Structure de taille Taux de croissance	9 -	- 96	72 768	MARBEC MARBEC	réalisées Calculs en cours
Pigments accessoires : Composition et Structure de taille	9	-	72	MARBEC	réalisées
Activité photosynthétique : Phyto-PAM et Structure de taille Fluoprobe	3 1	39 20	312 168	SPE SPE	réalisées réalisées
Abondances phytoplanctoniques : Pico- et nanophytoplancton Microphytoplancton (Bactérioplancton)	3 + 1 3 3	32 16 32	288 152 280	MARBEC MARBEC - SPE MARBEC	en cours en cours en attente
Proportion auto- et hétérotrophes : Petits flagellés Dinoflagellés	3 3	32 32	280 280	MARBEC MARBEC	en cours en cours

Un nombre important de prélèvements a été réalisé au cours des expérimentations (4 stations * 2 saisons):

- Les paramètres environnementaux (T°, salinité, intensité lumineuse) ont été mesurés *in situ* à T0.
- L'activité photosynthétique, basée sur la fluorescence *in vivo* du phytoplancton, a été mesurée directement à T0 et T24 (sans conservation des échantillons).
- L'ensemble des autres paramètres biologiques a été échantillonné et conservé selon des protocoles spécifiques (Fig. 3 et 5) pour être traité et analysé *a posteriori*.

Dans le cadre de la thèse d'A. Leruste (soutenue en avril 2016), une grande part des données collectées concernant l'étude des communautés phytoplanctoniques dans les lagunes palvasiennes a été traitée. L'analyse structurale (composition, structure de taille) et fonctionnelle (taux de croissance et stratégies adaptatives) a été faite et en cours de rédaction de publication.

Le traitement des échantillons (Abondances phytoplanctoniques, Proportions auto- et hétérotrophes) et le calcul et l'analyse des taux de croissance des communautés phytoplanctoniques de la lagune de Biguglia a pris de retard. Les résultats ne peuvent pas être intégrés au rapport.

Actuellement, dans le cadre d'un projet professionnel d'un élève-ingénieur de Polytech'Montpellier, les calculs des taux de croissance des communautés phytoplanctoniques de la lagune de Biguglia sont en cours. Les résultats seront comparés à ceux estimés pour les communautés phytoplanctoniques des lagunes du complexe palvasien.

4. Résultats

4.1. Paramètres environnementaux à T0

Les températures printanières et estivales sont comparables dans les 4 stations (Tableau 4). Par contre, les mesures de salinité ont montré de fortes différences entre les lagunes.

Tableau 4. Paramètres environnementaux mesurés à T0 au cours du printemps et de l'été 2014.

	Paramètres environnementaux	Complexe palavasien		Lagune de Biguglia	
		INN	MEW	S1	S3
PRINTEMPS	Température (°C)	17,2	17,9	15,0	15,5
	Salinité	37	21,9	6,0	2,0
	PAR ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	11	336	111	28
	NID (μM)	2,1	3,3	19,8	95,4
	PO ₄ (μM)	0,04	0,76	0,16	0,00
ETE	Température (°C)	24,9	28,3	24,2	26,8
	Salinité	41,5	36,6	10,9	6,0
	PAR ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	1610	2135	77	727
	NID (μM)	1,2	1,1	0,40	1,4
	PO ₄ (μM)	0,2	2,5	0,00	0,00

- Dans le complexe palavasien, les eaux de la lagune d'Ingril (INN) sont bien marinisées (37,0-41,5) alors que celles de la lagune de Méjean (MEW) sous l'influence du cours d'eau Le Lez sont saumâtres (21,9-36,6). Dans ces deux lagunes, la salinité tend à augmenter en été sous l'effet de l'évaporation et l'absence de pluies.

Pour les deux périodes saisonnières, les eaux lagunaires de Biguglia sont très dessalées variant de 2,0 (S3, printemps) à 10,9 (S1, été). La dessalure des eaux de la lagune est observée depuis quelques années. Elle a été plus importante durant l'année 2014 du fait de fortes précipitations en période estivale (30 mm en juin, 99 mm en juillet et 55 mm en août) et d'un manque d'entretien du grau naturel.

- Au printemps, les concentrations en NID (azote inorganique dissous, $\Sigma\text{NO}_3+\text{NO}_2+\text{NH}_4$) sont respectivement de 2,1 et 3,3 μM à INN et MEW alors dans la lagune de Biguglia les concentrations sont nettement plus élevées (19,8 et 95,4 μM , respectivement à S1 et S3). Le NID est dominé par le NH_4 (>80%) dans le complexe palavasien alors que le NO_3 est la forme azotée dominante à Biguglia (>88%).

- En été, les concentrations de NID ont fortement diminué à Biguglia (0,4 et 1,4 μM , respectivement à S1 et S3) et le NH_4 devient la forme azotée dominante (> 86%). Dans les lagunes palavasiennes, les concentrations de NID sont comparables (1,2 μM).

- Les concentrations de PO₄³⁻ sont très faibles (<0,2 μM) dans la lagune palavasienne mésotrophe (INN) et dans la lagune de Biguglia. Par contre, la lagune hypereutrophe est marquée par des concentrations plus fortes sur les périodes étudiées avec une valeur maximale observée en été (2,5 μM).

4.2. Caractérisation des communautés phytoplanctoniques à T0

- Biomasse chlorophyllienne

Au printemps, les biomasses phytoplanctoniques mesurées apparaissent faibles (<1 $\mu\text{gChla/L}$, Fig. 7) à modérées, variant de 0,90 $\mu\text{gChla/L}$ à INN (lagune mésotrophe) à 5,75 $\mu\text{gChla/L}$ à S1 (lagune eutrophe).

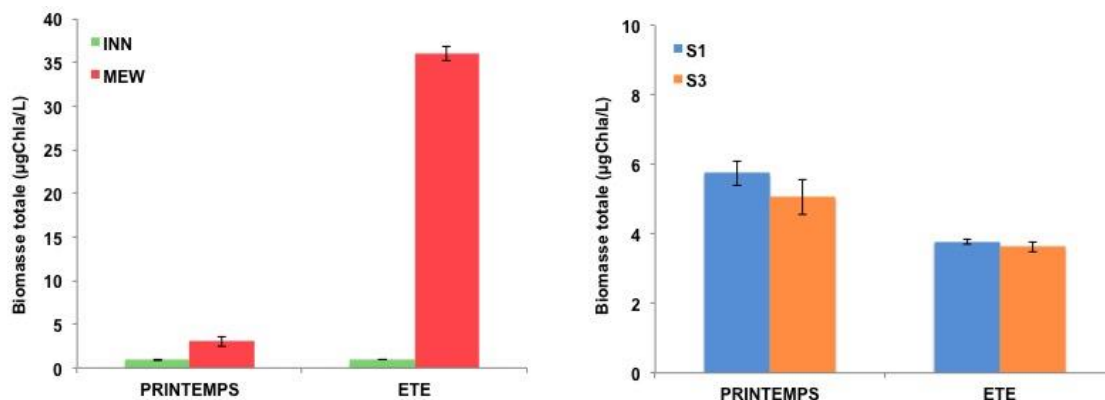


Figure 7. Biomasses phytoplanctoniques totales ($\mu\text{gChla/L}$) mesurées à T0 dans les 4 stations lagunaires au printemps et en été 2014.

Dans le complexe palavasien, la biomasse phytoplanctonique est restée stable en été à INN (0,98 $\mu\text{gChla/L}$) mais a fortement augmenté à MEW (lagune hypereutrophe) passant de 3 $\mu\text{gChla/L}$ en avril à 36 $\mu\text{gChla/L}$ en août.

Dans la lagune de Biguglia, les biomasses estivales tendent à diminuer comparativement aux biomasses printanières (de 5,75 à 3,80 $\mu\text{gChla/L}$ et de 5,0 à 3,6 $\mu\text{gChla/L}$, respectivement à S1 et S3). Pour les deux périodes étudiées, les biomasses phytoplanctoniques sont du même ordre de grandeur aux deux stations de Biguglia.

- Structure de taille

Pour les 4 stations, la structure de taille des communautés phytoplanctoniques est caractérisée par une forte dominance de l'ultraphytoplancton [0,7-5 μm] au printemps et en été (Fig. 8). La contribution de l'ultraphytoplancton à la biomasse a varié de 47,6 % en avril à S3 à 88 % en S3 en septembre.

La structure de taille est similaire au printemps et en été à INN (9%, 28% et 63%, respectivement pour le micro-, le nano- et l'ultra-phytoplancton). Pour les trois autres stations, le nano- [5-20 μm] et le micro-phytoplancton [$>20 \mu\text{m}$] ont contribué davantage à la biomasse phytoplanctonique au printemps. Les contributions du nano- et du micro-phytoplancton sont respectivement de 24,1% et 6,3% à MEW ($\Sigma \text{nano+micro} = 30,4\%$), de 3,6% et 23,9% à S1 ($\Sigma \text{nano+micro} = 27,5\%$) et de 17,8% et 34,5% à S3 ($\Sigma \text{nano+micro} = 52,4\%$).

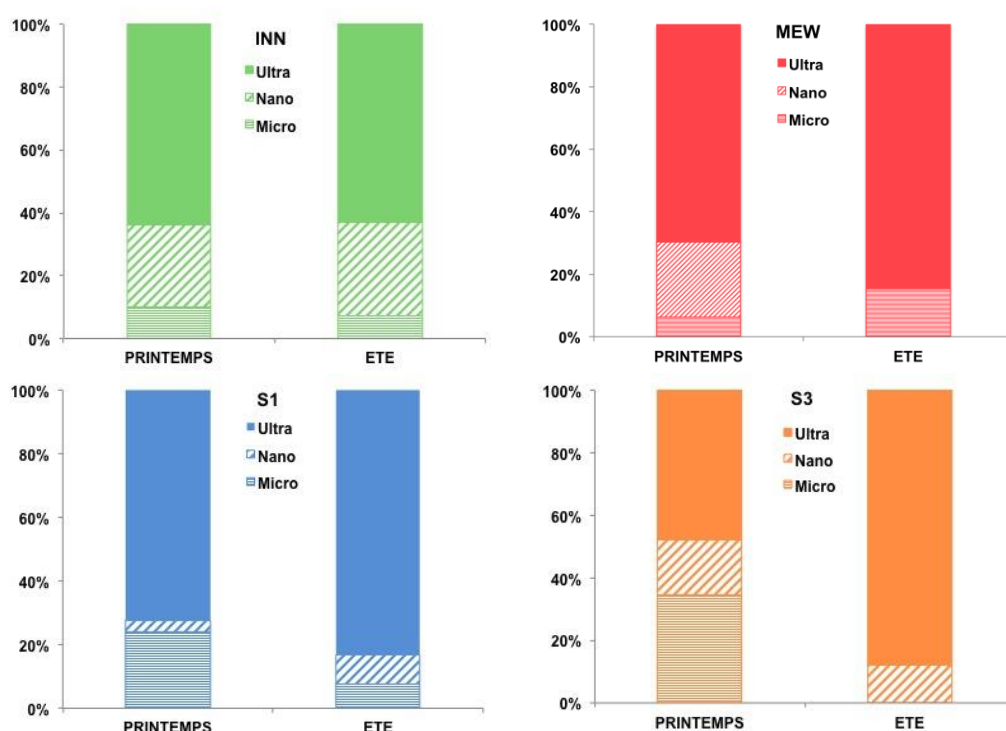


Figure 8. Contribution de l'ultra-, du nano- et du micro-phytoplancton à la biomasse phytoplanctonique totale estimée à T0 dans les 4 stations lagunaires au printemps et en été 2014. Ultra : [0,7-5 μm , plein], Nano : [5-20 μm , hachures obliques], Micro : [$>20 \mu\text{m}$ (hachures horizontales)]

- Diversité pigmentaire

Les pigments accessoires (13 identifiés et quantifiés) permettent d'étudier la composition des communautés phytoplanctoniques et d'identifier les principaux groupes phytoplanctoniques associés à la biomasse chlorophyllienne totale. Ces pigments peuvent être marqueurs d'un groupe ou présents dans plusieurs groupes :

- Chlorophylle b (Chlb), Lutéine (Lut), Néoxanthine (Neox), Violaxanthine (Viola) et zéaxanthine (Zea) sont associées majoritairement aux Chlorophytes, Prasinophytes et Euglénophytes. Ces microalgues appartiennent à la lignée verte.
- Zéaxanthine (Zea) est aussi associée aux cyanobactéries (procaryotes photosynthétiques).
- Chlorophylle c2 (Chlc2), Fucoxanthine (Fuco), Diadinoxanthine (Diadino) sont associés majoritairement aux Diatomées, Dinoflagellés, Haptophytes et à d'autres classes appartenant à la lignée brune.
- 19' Hex-fucoxanthine et 19' But-Fucoxanthine sont associés aux Haptophytes et Dictyophytes.

- Alloxanthine est un pigment marqueur des Cryptophytes
- Périidine est un pigment marqueur des Dinoflagellés
- Prasinophytes est un pigment marqueur des Prasinophytes

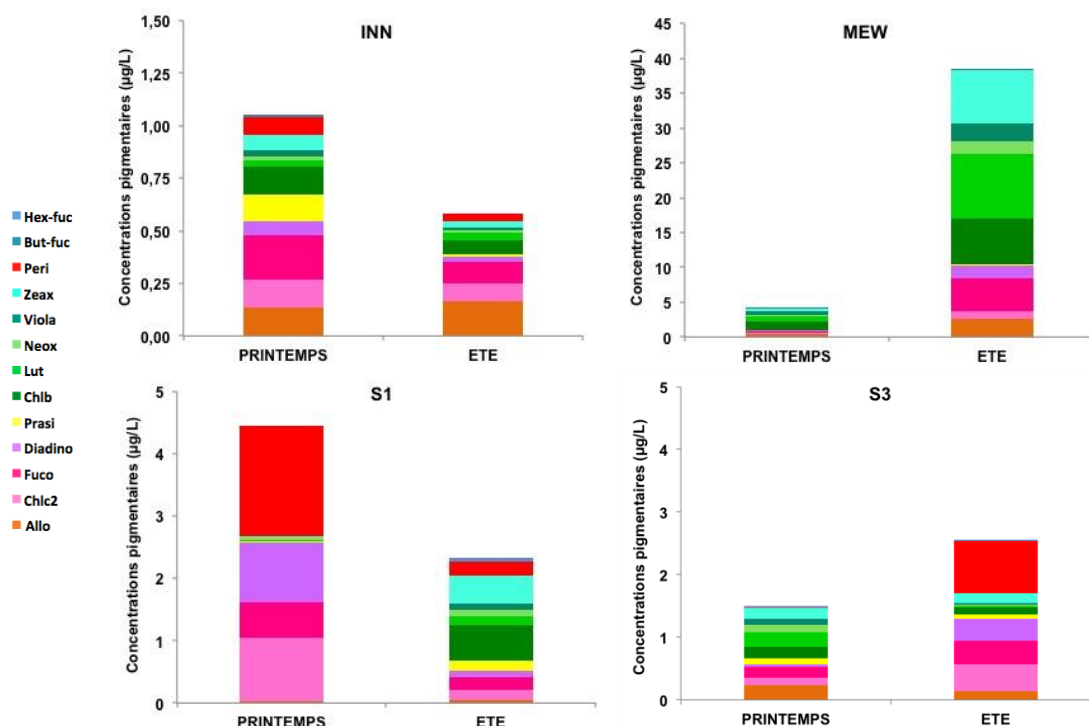


Figure 9. Composition pigmentaire des communautés phytoplanctoniques estimée à T0 dans les 4 stations lagunaires au printemps et en été 2014.

Dans la lagune mésotrophe du complexe palavasien (INN), les communautés phytoplanctoniques sont caractérisées par une **forte diversité pigmentaire** sur les deux périodes étudiées (Fig. 9). De nombreux groupes phytoplanctoniques sont présents (Dinoflagellés, Diatomées, Chlorophytes, Prasinophytes, Cryptophytes etc...). L'association pigmentaire de Fuco, Chlc2 et Diadino suggère la présence notable de Diatomées et/ou Dinoflagellés. La présence de ce dernier groupe est confirmée par le pigment marqueur, la périidine. Les observations microscopiques ont conforté la présence de nombreux Dinoflagellés (*Peridinium quinquecorne*, *Protoperidinium* sp., *Scrippsiella* sp.) et Diatomées (*Thalassionema* sp. et *Cylindrotheca closterium*) mais aussi de Chlorophytes (*Tetraselmis* sp.), Cryptophytes (*Plagioselmis* sp.) et d'une espèce d'Haptophytes.

Dans la lagune hypereutrophe du complexe palavasien (MEW), les communautés phytoplanctoniques sont dominées par des microalgues de petite taille (4-15 µm) au printemps et par du pico- et de l'ultraphytoplancton (2-4 µm) en été. Pour les deux saisons, les signatures pigmentaires ont montré une **nette dominance d'algues vertes** (Chlorophytes, Euglénophytes). Les observations microscopiques ont confirmé la présence du genre *Tetraselmis* et de nombreuses autres algues vertes de petite taille dont l'identification n'a pas pu être faite. Le nano- et micro-phytoplancton sont représentés par des Dinoflagellés (*Kryptoperidinium* sp., *Peridinium quinquecorne*, *Scrippsiella* sp.) et des Diatomées (*Cylindrotheca closterium*, *Navicula* sp.) dont les signatures pigmentaires sont associées à Fuco, Chlc2 et Diadino. Le nano- et micro-phytoplancton sont davantage observés au printemps.

Dans la lagune de Biguglia, les **signatures pigmentaires sont différentes aux stations S1 et S3** sur les deux périodes étudiées. Au printemps, le phytoplancton est caractérisé à S1 par une nette dominance de Chlc2, Diadino et Péri révélant la présence de **Diatomées et Dinoflagellés**. Les observations microscopiques ont confirmé la dominance des Diatomées (74%, *Synedra* sp., *Fragilaria* sp.) et d'un dinoflagellé (*Kryptoperidinium foliaceum*) appartenant majoritairement au nano- et microphytoplancton. A l'inverse, à S3, les pigments dominants sont associés aux **algues vertes** (Chlb, Lut, Neox, Zea) et aux **Cryptophytes** (Allo) qui ont aussi été observés en microscopie. En été, à S1, les algues vertes deviennent dominantes. La présence de Chlorophytes, Euglénophytes mais aussi des cyanobactéries pouvant être associés aux pigments quantifiés (dont la zéaxanthine pour les cyanobactéries) a été confirmée par microscopie. Le phytoplancton est

également caractérisé par la présence de Dinoflagellés (Fuco, Chlc, Diadino, Péri) dont une espèce dominante, *Gonyaulax spinifera*. A S3, les communautés phytoplanctoniques sont dominées par cette même espèce à plus de 80%, correspondant aux pigments accessoires Fuco, Chlc, Diadino, Péri. Les observations microscopiques ont révélé la présence d'algues vertes d'eau douce (*Staurastrum* sp.) et d'Euglénophytes.

- Activité photosynthétique

Le Phyto-PAM permet de quantifier rapidement, de façon non intrusive et non polluante, les caractéristiques photosynthétiques d'échantillons de phytoplancton vivant. L'application de séquence d'éclairements rapide à différentes longueurs d'ondes permet en particulier de mesurer l'activité photosynthétique du phytoplancton. Les rendements photosynthétiques sont estimés grâce à la mesure de fluorescences induites :

- F0 : rendement minimal de fluorescence après une acclimatation au noir
- Fm : rendement maximal de fluorescence après une acclimatation au noir
- Fv : fluorescence variable déterminée par F0 et Fm ; $Fv = Fm - F0$
- Fv/Fm : rendement maximal de fluorescence du PSII (photosystème II) ; $Fv/Fm = (Fm - F0)/Fm$

Différents seuils de mesure du proxy Fv/Fm (issus de la littérature) permettent d'interpréter l'état physiologique des communautés phytoplanctoniques étudiées (Tableau 5).

Tableau 5. Seuils et interprétations physiologiques du proxy Fv/Fm mesuré à l'aide du Phyto-PAM

Fv/Fm	Etat physiologique	Observations
> 0,6	Très bon	Conditions environnementales non limitantes (e.g. nutriments, luminosité)
[0,6 à 0,5]	Bon	
[0,5 à 0,3]	Moyen à mauvais	Variable selon les espèces phytoplanctoniques présentes (e.g. 0,3 correspond à un bon rendement pour les cyanobactéries)
[0,3 à 0,2]	Médiocre	
< 0,2	Très médiocre	Stress importants pouvant inhiber l'activité photosynthétique (e.g. nutriments, salinité, prédation, vieillissement ou lyse des cellules)

Pour les 4 stations, saisons et fractions confondues, le **rendement maximal de fluorescence du PSII (Fv/Fm)** a varié de 0,41 en S1 au printemps pour la fraction <5 μm à 0,64 à MEW au printemps pour la fraction <5 μm (Fig. 10).

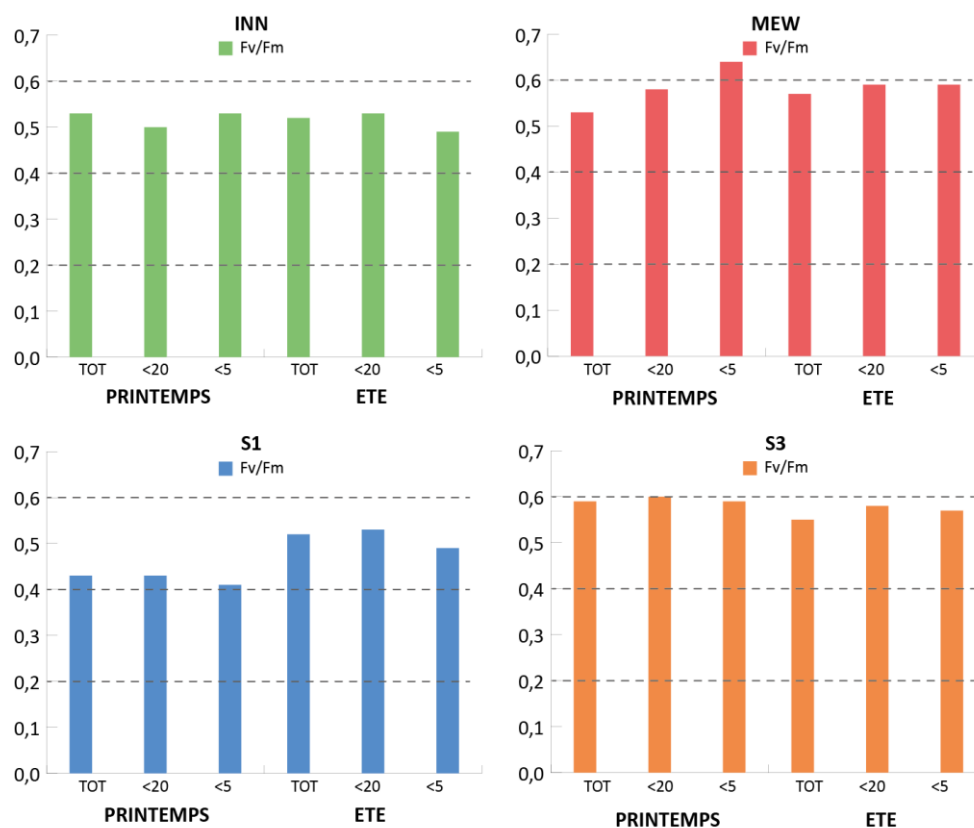


Figure 10. Rendement maximal de fluorescence du photosystème II (Fv/Fm) des communautés phytoplanctoniques mesuré à T0 dans les 4 stations lagunaires au printemps et en été 2014.

A INN et S3, une faible variabilité du rendement photosynthétique a été observée durant les deux périodes d'étude (printemps et été) toutes fractions étudiées (TOT, <20 μm et <5 μm ; CV : 3%). Sur l'ensemble des stations, l'état physiologique des communautés phytoplanctoniques était bon (> 0,5) voir même très bon à MEW. La station S1 fait exception aux résultats obtenus au printemps avec un rapport Fv/Fm proche de 0,4. Les valeurs mesurées suggèrent un état de stress du phytoplancton à cette station.

4.3. Réponses nutritives des communautés phytoplanctoniques à T24

Les résultats présentés sur les réponses des communautés phytoplanctoniques à 24 heures ne concernent que les mesures de l'activité photosynthétique. Les calculs de croissance sont en cours.

- Activité photosynthétique

Printemps

Au terme des 24h d'incubation, les microalgues ont eu un rendement maximal potentiel (Fv/Fm) qui a varié de 0,18 à S1 pour la fraction <5 μm (ultraphytoplancton) et l'enrichissement -P à 0,64 à MEW pour la fraction <20 μm (nanophytoplancton) et l'enrichissement -P (Fig. 11).

Aux stations S3 et MEW (stations eutrophisées), les rendements quantiques moyens (enrichissements et fractions confondus) sont respectivement de 0,58 (CV: 2%) et 0,59 (CV: 7%). Ces mesures révèlent le bon état physiologique des microalgues et l'absence de stress lié à une limitation en nutriments.

A INN (station mésotrophe), les valeurs du Fv/Fm ont peu varié durant les expérimentations (CV : 6%) mais les rendements sont plus faibles (0,48) qu'à S3 et MEW. Ces résultats montrent un état physiologique bon à moyen (variant de 0,43 à 0,52, Fig. 11) des communautés phytoplanctoniques.

La station S1 s'est à nouveau démarquée des autres stations par des rendements plus faibles (moyenne : 0,38). L'efficacité maximale potentielle a permis de déceler que les cellules phytoplanctoniques étaient dans un état physiologique déficient, notamment pour les espèces appartenant à l'ultraphytoplancton (Fig. 11).

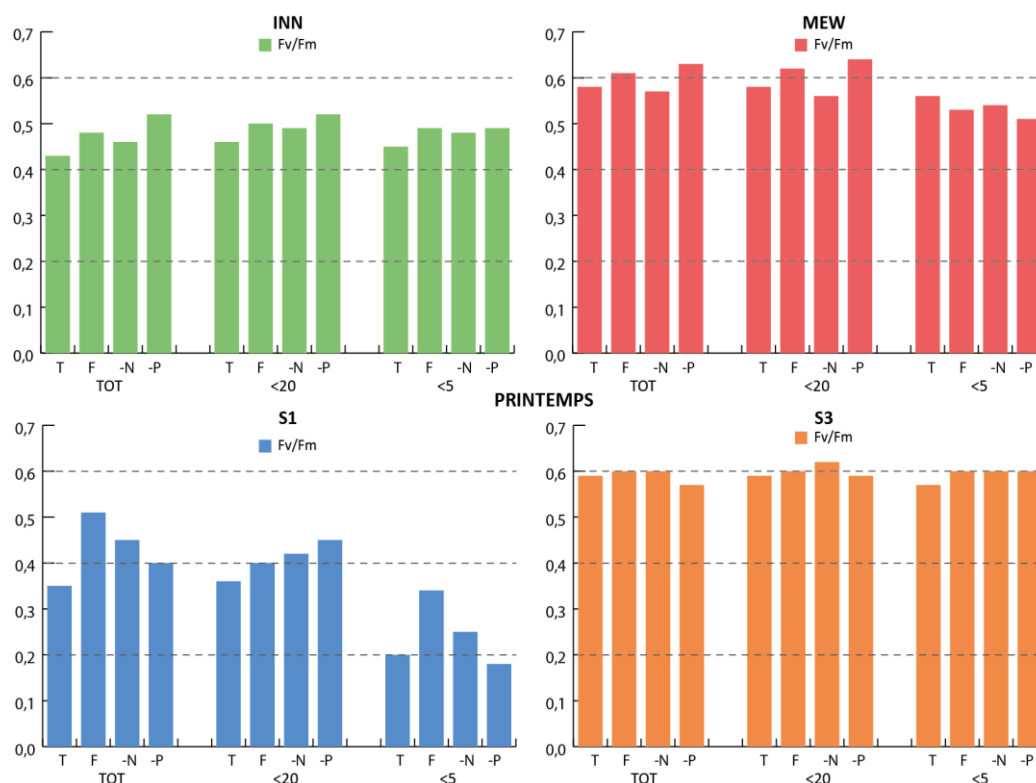


Figure 11. Rendement maximal de fluorescence du photosystème II (Fv/Fm) des communautés phytoplanctoniques mesuré à T24 pour les 3 classes de taille soumises aux 4 traitements nutritifs dans les 4 stations au printemps 2014.

Cependant, les valeurs très faibles mesurées à S1 doivent être interprétées avec prudence. La composition spécifique (diatomées, algues vertes, cyanobactéries etc...) des fractions et le mode trophique des organismes associés (auto- ou mixotrophie) permettront ultérieurement de valider ou non l'hypothèse d'un état physiologique mauvais et/ou médiocre.

Eté

L'efficacité maximale du photosystème II a varié de 0,31 à MEW pour les fractions TOT et <20 µm et les traitements non enrichis (T) à 0,58 à INN pour la fraction <20 µm soumise à l'enrichissement complet H (Fig. 12).

D'une manière générale, les rendements enregistrés en été ont été plus faibles que durant le printemps (0,45 et 0,50, respectivement en été et printemps). A S1, la variabilité du Fv/Fm entre les fractions et les traitements est plus faible (CV : 8%) que dans les autres stations (CV MEW : 15% ; CV INN : 12% et CV S3 : 11%).

Pour l'ensemble des stations, les trois fractions semblent sensibles à l'absence d'enrichissement (Traitement T) durant les 24 h d'incubation (Fig. 12). Les valeurs de Fv/Fm sont systématiquement plus faibles aux traitements T.

A MEW (lagune hypereutrophe), la réponse physiologique du phytoplancton (TOT, <20 µm et <5 µm) est apparue sensible à une privation de nutriment azotée (-N). Pour cette lagune, le Fv/Fm est resté inférieur à 0,40 pour les enrichissements sans azote ajouté (Fig. 12).

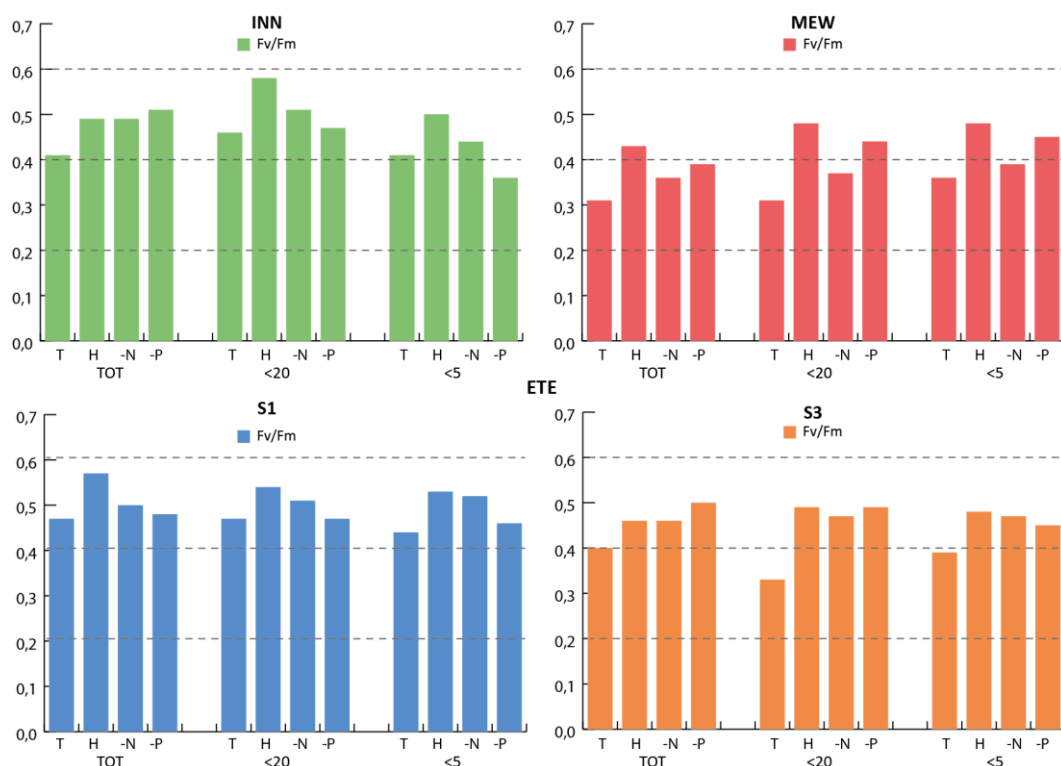


Figure 12. Rendement maximal de fluorescence du photosystème II (Fv/Fm) des communautés phytoplanctoniques mesuré à T24 pour les 3 classes de taille soumises aux 4 traitements nutritifs dans les 4 stations en été 2014.

5. Discussion

Les lagunes du complexe palavasien et de Corse sont caractérisées par un **gradient de salinité marqué**, d'eaux oligo-mésahalines (< 11) dans la lagune de Biguglia à des eaux marines dans la lagune d'Ingril (>37). Les apports d'eau douce important dans la lagune de Biguglia entraînent des apports nutritifs excessifs, en particulier au printemps où le lessivage du bassin versant aboutit à des flux azotés majoritairement sous la forme de NO₃. Ces apports nutritifs traduisent la **pression anthropique exercée sur le bassin versant** de la lagune. Dans les lagunes du complexe palavasien, les concentrations en azote et phosphore sont moins importantes et traduisent, par la dominance de l'ammonium, l'influence **des rejets de station d'épuration et la reminéralisation de la matière organique stockée dans les sédiments**. Ces flux sédimentaires sont augmentés en été avec l'augmentation de la température, se traduisant à MEW par une augmentation de la concentration en PO₄. Les concentrations de nutriments mesurées dans la colonne d'eau ne sont cependant pas représentatives du niveau d'eutrophisation des différentes lagunes.

Les biomasses phytoplanctoniques vont de 1 µgChla/L à INN (lagune mésotrophe) à 36 µgChla/L à MEW (lagune hypereutrophe). Dans cette lagune, une très forte augmentation de la biomasse est observée en été et soutenue par les flux sédimentaires. Cette **forte biomasse consomme en flux tendu les apports nutritifs** et maintient les concentrations en nutriments à des niveaux relativement faibles par rapport à l'état écologique dégradé de lagune de MEW. A l'inverse, dans la lagune de Biguglia, les biomasses phytoplanctoniques sont modérées (< 6 µgChla/L) aux deux stations, comparativement aux concentrations nutritives mesurées au printemps. Les biomasses phytoplanctoniques sont du même ordre de grandeur aux deux stations de la lagune corse.

Aux 4 stations, la structure de taille des communautés phytoplanctoniques est caractérisée par **une nette dominance de l'ultraphytoplancton** (< 5 µm) sur les deux périodes étudiées. Les plus fortes contributions de cette fraction sont observées en été aux 4 stations. Le phytoplancton de petite taille est favorisé en été, et représente la **production primaire régénérée** c'est-à-dire la production se développant à partir des flux nutritifs (NH₄ et PO₄) issus des sédiments. A l'inverse, le phytoplancton de grande taille est favorisé au printemps où les épisodes pluvieux favorisent des apports élevés de nutriments dans les lagunes et une augmentation de la disponibilité nutritive pour le phytoplancton. Ceci est particulièrement observé dans la lagune de Biguglia. Ainsi, l'évolution de la **structure de taille du phytoplancton traduit le fonctionnement nutritif des lagunes** étudiées.

La composition et la diversité pigmentaire des communautés phytoplanctoniques s'expliquent également par ce fonctionnement nutritif et le gradient d'eutrophisation des lagunes. La lagune la moins eutrophisée (INN) est caractérisée par une **forte diversité pigmentaire associée à la faible biomasse phytoplanctonique**. De nombreux groupes phytoplanctoniques y sont présents sur les deux périodes. Les faibles variations des paramètres environnementaux (salinité et concentrations nutritives) dans la lagune d'INN permettraient à un plus grand nombre d'espèces phytoplanctoniques (en termes de diversité) de s'y développer. *A contrario*, la lagune la plus eutrophisée (MEW) est dominée par **un groupe phytoplanctonique, les algues vertes, associé à la forte biomasse phytoplanctonique**. A l'échelle annuelle, la variabilité des conditions environnementales, en particulier de la salinité, et la dominance de l'ammonium dans les apports azotés favoriseraient le développement de petites algues vertes adaptées à ces conditions particulières. Dans la lagune de Biguglia, les **caractéristiques oligo-mésahalines des eaux conditionnent la composition phytoplanctonique**, de nombreuses espèces phytoplanctoniques présentes sont euryhalines (e.g. *Prorocentrum minimum*, *Gonyaulax spinifera* appartenant au groupe des Dinoflagellés) voire d'eau douce (*Staurastrum* sp).

L'étude de l'état physiologique des communautés phytoplanctoniques par le ratio de fluorescence Fv/Fm est une première approche pour analyser l'impact de stress environnementaux (e.g. disponibilité nutritive et/ou salinité) sur la structure des communautés phytoplanctoniques. Sur l'ensemble des stations et sur les deux périodes étudiées, **l'état physiologique des communautés phytoplanctoniques était bon** (> 0,5) voir même très bon dans la lagune hypereutrophe (MEW). Cependant, à la station Nord de la lagune de Biguglia (S1), les ratios de fluorescence mesurés au printemps suggèrent un **état de stress important** des communautés phytoplanctoniques. Des changements importants des conditions environnementales (**forte dessalure**) s'opèrent actuellement sur la lagune, particulièrement sur le bassin Nord où est située S1.

Au printemps, en présence d'ajouts nutritifs (N et P, saturant ou limitant), les communautés phytoplanctoniques montrent un **bon état physiologique et l'absence de stress lié à une limitation nutritive**. L'état physiologique du phytoplancton est bon dans les stations eutrophisées (MEW et S3, ratio > 0,6), bon à moyen dans la lagune mésotrophe. L'acclimatation physiologique apparaît satisfaisante pour le phytoplancton (e.g. conditions nutritives) dans les incubations effectuées dans ces lagunes. Les communautés phytoplanctoniques à la station S1 se sont démarquées par des rendements photosynthétiques faibles notamment pour l'ultraphytoplancton (<0,2-0,3). Ces valeurs faibles sont probablement liées à une carence en éléments nutritifs ou à une prédation importante. Les estimations des taux de croissance permettront de préciser si la limitation nutritive générée est potentiellement responsable de ces résultats.

En période estivale, les communautés phytoplanctoniques sont caractérisées par des rendements photosynthétiques plus faibles et une **sensibilité à l'absence d'enrichissement** (en particulier en azote pour la lagune hypereutrophe MEW), suggérant **une limitation nutritive**.

Conclusion

Le projet de recherche a permis la caractérisation de la diversité taxonomique et fonctionnelle des communautés phytoplanctoniques dans deux lagunes du complexe palvasien présentant des niveaux contrastés d'eutrophisation (Ingril nord, mésotrophe, et Méjean, hypereutrophe) et dans la lagune corse de Biguglia, au cours de deux saisons contrastées d'un point de vue environnemental (e.g. température, lumière, origine et concentrations des éléments nutritifs).

La composition, la biomasse, la structure de taille et l'état physiologique des communautés phytoplanctoniques apparaissent étroitement reliés au fonctionnement nutritif de ces écosystèmes lagunaires (Fig. 13). Concernant l'impact des enrichissements nutritifs sur le phytoplancton, les résultats sur les estimations des taux de croissance valorisés dans le cadre de la thèse d'A. Leruste ont montré la **vulnérabilité des lagunes palvasiennes** en cours de restauration écologique face aux apports nutritifs pulsés. Les analyses en cours sur les taux de croissance des communautés phytoplanctoniques de la lagune de Biguglia permettront d'étudier la réponse, en termes de stratégies adaptatives, du phytoplancton dans cet environnement soumis à des apports nutritifs excessifs. Ces résultats devront également être mis en relation avec le contexte particulier de **forte dessalure observée dans la lagune de Biguglia**. La faible salinité pourrait influencer sur la structure et la diversité du phytoplancton aussi fortement que le fonctionnement nutritif de cet écosystème lagunaire.

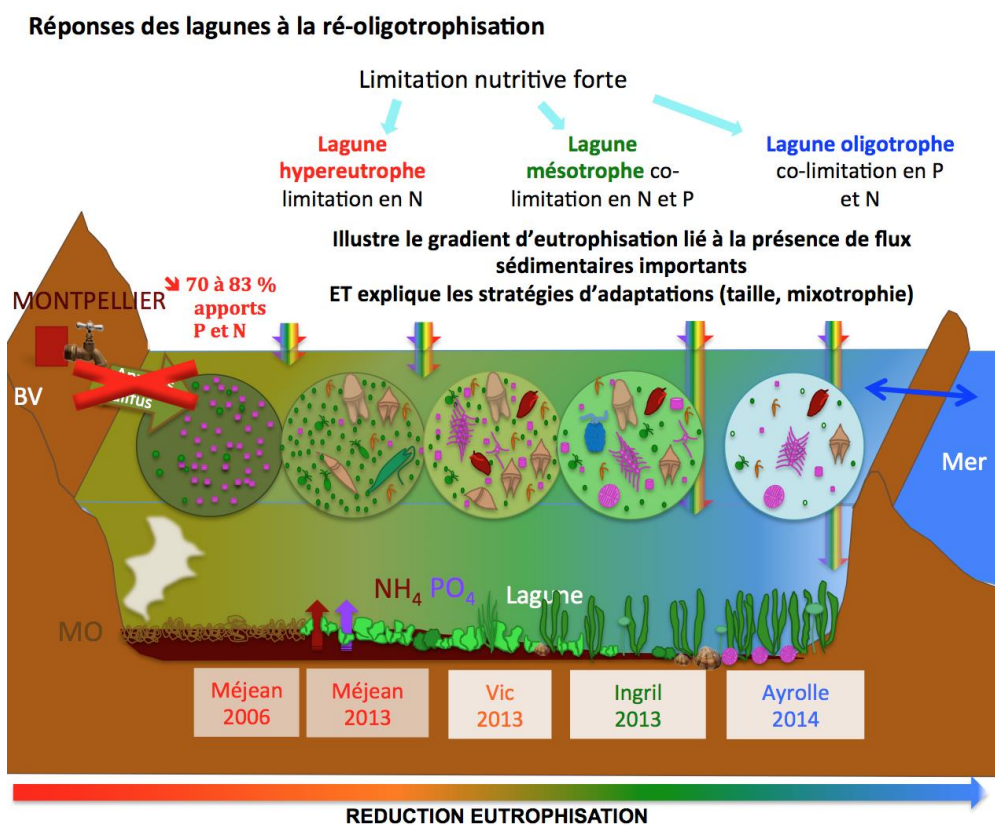


Figure 13. Structuration des communautés phytoplanctoniques le long du gradient d'eutrophisation des lagunes du complexe palvasien (A. Leruste, 2016)

Communications nationales et internationales

Séminaire annuel de l'OHM Littoral méditerranéen:

De Wit R (2014) Réponses fonctionnelles du phytoplancton dans les lagunes méditerranéennes soumises à la pression urbaine, 24-25 mars 2014, Marseille

Bec B (2015) Réponses fonctionnelles du phytoplancton dans les lagunes méditerranéennes soumises à la pression urbaine, 30-31 mars 2015, Marseille

Communications orales :

Leruste A., Malet N., Garrido M., Pasqualini V., De Wit R., Bec B. (2015) Phytoplankton responses to nutrient enrichment and limitation in two Mediterranean lagoons under contrasting trophic status and nutrient discharge reduction since 9 years. ECSA 55 - 55th Conference of Estuarine Coastal Sciences Association. 6-9 septembre 2015, London.

Leruste A. (2015) Réponses du phytoplancton à un enrichissement nutritif dans deux lagunes méditerranéennes aux niveaux trophiques contrastés et soumises à une réduction nutritive depuis 9 ans - Comparaison avec une lagune oligotrophe. Colloque annuel RESOMAR 2015, 16-19 novembre 2015, Sète.

Leruste A., Villéger S., Malet N., De Wit R., Bec B (2016) Multidimensional functional diversity indices improve understanding of phytoplankton ecology in coastal lagoons 7th European coastal lagoons symposium. 1-4 mars 2016, Murcia, Espagne.

Poster :

Garrido M., Malet N., Cecchi P., Bec B., Pasqualini V. (2015) Is FluoroProbe® an efficient tool for the quantification and the taxonomic discrimination of phytoplankton in lagoon environment (Mediterranean Sea)? ECSA 55, 55th Conference of Estuarine Coastal Sciences Association. 6-9 septembre 2015, London Excel, United Kingdom.

Lettre des lagunes :

Novembre 2013

Leruste A. (2013) Evolution des communautés phytoplanctoniques en réponse à la restauration écologique des lagunes méditerranéennes, Pole-Relais lagunes méditerranéennes.

<http://www.pole-lagunes.org/actualites/infos-des-lagunes/suivi-en-milieu-lagunaire/evolution-des-communautes-phytoplanctoniques->

Mars 2016

Leruste A. (2016) Trajectoires d'évolution des communautés phytoplanctoniques au cours de la restauration écologique des lagunes, Pole-Relais lagunes méditerranéennes.

<http://www.pole-lagunes.org/actualites/infos-des-lagunes/suivi-en-milieu-lagunaire/trajec-toires-d-evolution-des-communautes-phyt>

Publications en préparation:

Leruste A., Villéger S., Malet N., De Wit R., Bec B. Changes in functional diversity of phytoplankton communities along a trophic gradient in coastal lagoons. *in prep.*

Leruste A., Guilhaumon F., Malet N., De Wit R., Collos Y., Bec B. Phytoplankton strategies to exploit nutrients in coastal lagoons with different trophic status and during re-oligotrophication processes ? *in prep.*

Bibliographie

- Barbier EB, Hacker SD, Kennedy Ch, Koch EW, Stier AC, Silliman BR, 2011. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs* 81, 169-193
- Brunet C, Casotti R, Vantrepotte V, 2008. Phytoplankton diel and vertical variability in photobiological responses at a coastal station in the Mediterranean Sea. *Journal of Plankton Research*, 30 (6), 645-654.
- Büechel C, Wilhelm C, 1993. *In vivo* analysis of slow chlorophyll fluorescence induction kinetics in algae: progress, problems, and perspectives. *Photochem. Photobiol*, 58, 137-148.
- Campbell D, Hurry A, Clarke AK, Gustafsson P, Öquist G, 1998. Chlorophyll fluorescence analysis of cyanobacterial photosynthesis and acclimation. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.*, 62, 667-683.
- Claquin P, Longphuir SN, Fouillaron P, Huonnic P, Ragueneau O, Klein C, Leynaert A, 2010. Effects of simulated benthic fluxes on phytoplankton dynamic and photosynthetic parameters in a mesocosm experiment (Bay of Brest, France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 86, 93-101.
- Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R, Paruelo J, Raskin RG, Sutton P, van den Belt M, 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253-260
- Dupré N, 2002. Rôle des rejets des stations d'épuration dans l'eutrophisation des lagunes du Languedoc-Roussillon. Exemple du complexe palavasien. Rapport de stage de Diplôme d'Etudes Supérieures. Université Montpellier II. 202 p.
- Garrido M, 2012. Structure et fonction des communautés phytoplanctoniques en milieux côtiers marin et lagunaire (Méditerranée – Corse) dans une optique de gestion. Thèse de doctorat, Université de Corse (France) et Université de Liège (Belgique), 219 p.
- Garrido M, Cecchi P, Vaquer A, Pasqualini V, 2013b. Effects of sample conservation on assessments of the photosynthetic efficiency of phytoplankton using PAM fluorometry. *Deep Sea Research Part I*, 71, 38-48.
- Garrido M, Gavini A, Pasqualini V, 2013a. Suivi spatio-temporel des communautés phytoplanctoniques de la Réserve Naturelle de l'Etang de Biguglia (Mai 2012 à Mai 2013). Contrat Conseil Général de la Haute-Corse et Université de Corse / UMR CNRS 6134 SPE / UMS CNRS 3514 Stella Mare, Corte, 44 p.
- Glibert PM, Boyer JN, Heil CA, Madden C, Sturgis B, Wazniak CS, 2010. Blooms in lagoons: different from those of river-dominated estuaries. In: Kennish M, Paerl H (eds) *Coastal lagoons: critical habitats of environmental change*. CRC Press, 91-113.
- Kolber ZS, Falkowski PG, 1993. Use of active fluorescence to estimate phytoplankton photosynthesis in situ. *Limnology and Oceanography*, 38, 1646-1665.
- Kolber ZS, Zehr J, Falkowski PG, 1988. Effects of Growth Irradiance and Nitrogen Limitation on Photosynthetic Energy Conservation in Photosystem II. *Plant Physiology*, 88, 923-929.
- Kromkamp JC; Peene J, 2005. Changes in phytoplankton biomass and primary production between 1991 and 2001 in the Westerschelde estuary (Belgium/The Netherlands). *Hydrobiologia*, 540 (1-3), 117-126.
- Leruste A, 2016. Trajectoires d'évolution des communautés phytoplanctoniques au cours du processus de restauration écologique des milieux lagunaires méditerranéens. Université de Montpellier, 314 pages.

Parkhill JP, Maillet G, Cullen JJ, 2001. Fluorescence-based maximal quantum yield for PSII as a diagnostic of nutrient stress. *J. Phycol*, 37, 517-529.

Souchu P, Bec B, Smith VH, Laugier T, Fiandrino A, Benau L, Orsoni V, Collos Y, Vaquer A, 2010. Patterns in nutrient limitation and chlorophyll-a along an anthropogenic eutrophication gradient in French Mediterranean coastal lagoons. *Can J Fish Aquat Sci* 67; 743-753.