

---

## **Impact de l'activité touristique sur la biodiversité des phytoplanctoniques méditerranéennes.**

**Auteur :** Negulescu, Maria-Anna

**Promoteur(s) :** Goffart, Anne

**Faculté :** Faculté des Sciences

**Diplôme :** Master en océanographie, à finalité approfondie

**Année académique :** 2019-2020

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/9147>

---

### *Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---

Faculté des Sciences  
Laboratoire d'Océanologie

# Impact de l'activité touristique sur le phytoplancton des eaux côtières méditerranéennes

Negulescu Maria-Anna

Promoteur : Docteur Anne Goffart

Mémoire de fin d'études présenté en vue  
de l'obtention du titre de Master en Océanographie,  
à finalité approfondie

Université de Liège

Juin 2020

« Conformément aux règles imposées à la rédaction, ce mémoire ne doit pas dépasser 50 pages, rédigées en Times 12 ou équivalent »

## Remerciements

Je remercie ma promotrice, le Docteur Anne Goffart de m'avoir accueillie dans son laboratoire et d'avoir pris le temps de m'encadrer durant la réalisation de ce travail. Je tiens à la remercier pour ses nombreux conseils, relectures et corrections.

Ce travail a été réalisé grâce à des données issues du programme STARECAPMED financé par la Collectivité territoriale de Corse et l'Agence de l'Eau RMC, du programme DCE, financé par l'Ifremer et, avec le soutien financier de l'Agence française pour la biodiversité. Je tiens à remercier le Docteur Anne Goffart d'avoir mis ces données à ma disposition.

Je remercie Jacob Price, Morgan Duerinckx, Athina Somerhausen, Olivia De Hertog et Quentin Juette pour leur soutien et leur aide.



## Résumé

Negulescu M-A., 2020. *Impact de l'activité touristique sur le phytoplancton des eaux côtières méditerranéennes*. Travail de fin d'études, Faculté des Sciences, Université de Liège, 47 pages.

Afin de mettre en évidence d'éventuelles modifications des communautés phytoplanctoniques des eaux côtières corses en réponse aux forces de pression touristique, deux zones ont été étudiées : la baie de Calvi où des suivis ont été réalisés en 2013 et 2014, et sur la côte nord-est, les zones de Bastia et Tamarone où les suivis ont été réalisés en 2017. Le phytoplancton a été utilisé en tant qu'indicateur biologique de la qualité de l'eau. Son échantillonnage a été réalisé à différentes stations afin d'étudier l'évolution temporelle et spatiale de la biomasse et des communautés. Le logiciel CHEMTAX a été employé pour déterminer la composition des communautés à partir des données pigmentaires. En raison de la crise sanitaire liée au COVID-19 la composition des communautés a été déterminée à partir de données déjà existantes.

La variation saisonnière de la population sur l'île peut potentiellement être responsable de nombreux impacts susceptibles d'apporter des éléments nutritifs dans les eaux de surface. L'augmentation de la production d'eaux usées peut, dans le cas où sa gestion fait défaut, entraîner des changements au sein du compartiment phytoplanctonique détectable par les indicateurs biologiques.

Deux zones de références (Calvi et Bastia) ont d'abord été comparées. Aucune différence significative n'a pu être observée entre les deux zones. L'évolution de la biomasse suit la saisonnalité caractéristique des eaux méditerranéennes oligotrophes non impactées. La composition et l'évolution temporelle des communautés phytoplanctoniques sont les mêmes aux deux stations. À l'échelle annuelle, les groupes dominants sont les prymnésiophyces, les *Synechococcus* et les diatomées.

Par la suite, deux stations balnéaires populaires (baies de Calvi et de Tamarone) ont été comparées à leur zone de référence respective. En baie de Calvi, l'évolution de la biomasse et de la composition des communautés du phytoplancton n'était pas changée par les activités touristiques récréatives. Par contre, en période estivale, en baie de Tamarone, la concentration de la biomasse était augmentée et les communautés phytoplanctoniques présentes étaient changées par rapport à la station de Bastia. Quand les prymnésiophyces et *Synechococcus* dominaient à Bastia, les *Synechococcus*, prasinophycées et diatomées s'étaient développés à Tamarone.

De nombreux facteurs, tels que les politiques de gestion ou les caractéristiques hydrologiques de la zone, peuvent influencer l'importance de l'impact de la pression touristique. La station Mouillage Calvi est localisée relativement loin de la plage tandis que la station Tamarone au cœur de la zone de baignade rendant ainsi quantifiable l'impact de l'activité touristique.

## Abstract

Negulescu M-A., 2020. *Impact of tourism on phytoplankton in Corsican waters*. Master thesis, Faculty of Sciences, University of Liège, 47 pages

To investigate modifications that might take place in Corsican coastal waters' phytoplankton community as a result of tourism, two areas have been studied: Calvi Bay, monitored in 2013 and 2014, and in the Bastia and Tamarone areas on the North-East coast in 2017.

The phytoplankton has been used as a biological indicator of the water's quality. It has been monitored at different stations in order to study temporal and spatial evolution of the biomass and community. The CHEMTAX software has been used to define communities' composition. Due to the global pandemic linked to COVID-19, this had to be carried out using existing data.

Seasonal variations of Corsica's population could potentially be responsible for numerous impacts that might supplement surface coastal waters with nutrients. The increase of wastewater, in the case of mismanagement, might cause changes within phytoplankton that can be detected biological indicators.

Firstly, two areas of reference (Calvi and Bastia) have been compared. No significant difference could be observed. Biomass' evolution follows the characteristic seasonal evolution of unimpacted oligotrophic Mediterranean waters. The composition and temporal evolution of phytoplankton's communities are similar at the two stations. On an annual scale, the dominant groups are the prymnesiophytes, *Synechococcus* and diatoms.

Second, two popular seaside sites (Bays of Calvi and Tamarone) have been compared to their reference zone. In Calvi Bay, the evolution of biomass and phytoplankton communities' composition were not changed by leisure activities. On the other hand, during summertime, at Tamarone Bay, biomass' concentration was increased and the phytoplankton communities were changed in comparison to Bastia's station. When prymnesiophytes and *Synechococcus* were dominant in Bastia, *Synechococcus*, prasinophytes and diatoms had developed at Tamarone.

Numerous factors, such as management policy or hydrological characteristics of the site, can emphasize the impact of touristic stressors. Calvi's seaside station's localisation is relatively far from the shore whereas Tamarone's station is in the middle of the bathing area therefore making measurable impact of leisure activities.

# Table des matières

<b>TABLE DES MATIERES</b> .....	<b>1</b>
<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS</b> .....	<b>VI</b>
<b>TABLE DES TABLEAUX</b> .....	<b>VIII</b>
<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ÉTAT DE L'ART</b> .....	<b>2</b>
2.1. LE TOURISME .....	2
2.1.1. <i>Le tourisme mondial</i> .....	2
2.1.2. <i>Le tourisme en Europe et en Méditerranée</i> .....	3
2.1.3. <i>Le tourisme en Corse</i> .....	3
2.2. LES PRESSIONS ANTHROPIQUES SUR LE LITTORAL .....	4
2.3. LE PHYTOPLANCTON .....	7
2.3.1. LE PHYTOPLANCTON AU LARGE DANS LE BASSIN NORD-OUEST DE LA MEDITERRANEE .....	7
2.3.2. LE PHYTOPLANCTON DANS LES MILIEUX COTIERS PEU PERTURBES .....	10
2.3.3. LE PHYTOPLANCTON DANS LES MILIEUX COTIERS PERTURBES .....	11
2.4. DIRECTIVES EUROPEENNES ET QUALITE DE L'EAU .....	12
2.5. OBJECTIFS .....	14
<b>3. MATERIEL ET METHODES</b> .....	<b>15</b>
3.1. ZONES D'ETUDE .....	15
3.1.1. <i>Baie de Calvi</i> .....	15
3.1.2. <i>Côte orientale : stations Tamarone et référence Bastia</i> .....	16
3.2. PRELEVEMENTS .....	17
3.2.1. <i>Baie de Calvi</i> .....	17
3.2.2. <i>Côte orientale : stations Tamarone et référence Bastia</i> .....	17
3.3. ANALYSES DES PIGMENTS PHYTOPLANCTONIQUES.....	17
3.3.1. <i>Chémotaxonomie</i> .....	18
3.3.2. <i>Pigments et groupes du phytoplancton</i> .....	18
<b>4. RESULTATS</b> .....	<b>21</b>
4.1. BIOMASSE TOTALE DU PHYTOPLANCTON .....	21
4.1.1. <i>Baie de Calvi 2013</i> .....	21
4.1.2. <i>Baie de Calvi 2014</i> .....	21
4.1.3. <i>Côte nord-est de la Corse en 2017</i> .....	22
4.2. LES COMMUNAUTES PHYTOPLANCTONIQUES .....	23
4.2.1. DESCRIPTION DES GROUPES DOMINANTS ET MINEURS DU PHYTOPLANCTON .....	23
4.2.1.1. <i>BAIE DE CALVI 2013</i> .....	23
4.2.1.2. <i>BAIE DE CALVI 2014</i> .....	25
4.2.1.3. <i>COTE NORD-EST DE LA CORSE EN 2017</i> .....	26

4.2.2.	<i>Description de l'évolution temporelle de la biomasse des grands groupes fonctionnels</i>	27
4.3.	INDICE ICPP MEDIT	40
4.3.1.	<i>Station mouillage Calvi en 2013</i>	40
4.3.2.	<i>Station mouillage Calvi 2014</i>	40
4.3.3.	<i>Station Tamarone 2017</i>	40
<b>5.</b>	<b>DISCUSSION</b>	<b>41</b>
5.1.	ÉVOLUTION TEMPORELLE DE LA CONCENTRATION DE LA BIOMASSE DE SURFACE DU PHYTOPLANCTON	41
5.2.	ÉVOLUTION TEMPORELLE DE LA COMPOSITION ET DE L'ABONDANCE DES GROUPES FONCTIONNELS DU PHYTOPLANCTON	42
<b>6.</b>	<b>CONCLUSION</b>	<b>47</b>
<b>7.</b>	<b>REFERENCES</b>	<b>48</b>

## Table des illustrations

Figure 1. Dix premières destinations en termes d'arrivées de touristes en 2018 (WTO, 2019) .....	2
Figure 2. Évolution des arrivées de touristes internationaux dans le Monde (WTO, 2020) .....	3
Figure 3. Variation quotidienne de la population saisonnière de Corse. Source : Observatoire régional des transports de la Corse.....	4
Figure 4. Occupation du territoire corse (INSEE, 2018) .....	6
Figure 5. Capacité d'accueil des campings, hôtels et autres hébergements collectifs touristiques par commune, en août 2017 (INSEE, 2018).....	6
Figure 6. Cartes mensuelles de la distribution en chl a. Données d'imagerie satellitaire (Bosc et al., 2004)...	8
Figure 7. Résumer de l'évolution saisonnière du phytoplancton. La largeur de la barre renseigne sur l'abondance approximative du groupe. (Bustillos-Guzman et al., 1995 ; Marty et al., 2002 ; Charles et al., 2005 ; Siokou-Frangou et al., 2010 ; Gasol et al., 2016 ; Numes et al., 2018) .....	9
Figure 8. Concentration Chl a en mer Ligure et mer Tyrrhénienne. L'axe des ordonnées est variable entre les deux graphiques et a pour unité Chl a ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) Données issues de l'imagerie satellitaire (Bosc et al., 2004) .....	10
Figure 9. Situation géographique des stations étudiées. ....	15
Figure 10. Baie de Tamarone, août 2018 (google.com/maps).....	16
Figure 11. Grille de qualité pour les indices et sous-indices ICPP Médit. ....	20
Figure 12. Évolution spatio-temporelle de la biomasse du phytoplancton.....	21
Figure 13. Évolution spatio-temporelle de la biomasse du phytoplancton.....	22
Figure 14. Évolution spatio-temporelle de la biomasse du phytoplancton.....	22
Figure 15. Concentrations moyennes de la biomasse par station et par période.....	23
Figure 16. Proportions des groupes fonctionnels en période non touristique en baie de Calvi en 2013 .....	24
Figure 17. Proportions des groupes fonctionnels en période touristique en baie de Calvi en 2013 .....	24
Figure 18. Proportions des groupes fonctionnels en période non touristique en baie de Calvi en 2014 .....	25
Figure 19. Proportions des groupes fonctionnels en période touristique en Baie de Calvi en 2014.....	26
Figure 20. Proportions des groupes fonctionnels en période non touristique sur la côte nord-est en 2017 ...	27
Figure 21. Proportions des groupes fonctionnels en période touristique sur la côte nord-est en 2017.....	27
Figure 22. Évolution temporelle de la concentration de la biomasse des grands groupes fonctionnels en baie de Calvi en 2013. Les graphiques sont présentés dans l'ordre de la survenue du bloom à la station de référence. L'échelle de l'axe des ordonnées change d'un graphique à l'autre. ....	31
Figure 23. Évolution temporelle de la concentration de la biomasse des grands groupes fonctionnels en Baie de Calvi en 2014. Les graphiques sont présentés dans l'ordre de la survenue du bloom à la station de référence. L'échelle de l'axe des ordonnées change d'un graphique à l'autre. ....	35

Figure 24 Évolution temporelle de la concentration de la biomasse des grands groupes fonctionnels à la côte nord-est en 2017. Les graphiques sont présentés dans l'ordre de la survenue du bloom à la station de référence. L'échelle de l'axe des ordonnées change d'un graphique à l'autre. ....	39
Figure 25. Évolution temporelle de l'ICPP Médit à la station mouillage Calvi en 2013. L'axe des ordonnées représente l'échelle de l'ICPP. ....	40
Figure 26. Évolution temporelle de l'ICPP Médit à la station mouillage Calvi en 2013. L'axe des ordonnées représente l'échelle de l'ICPP. ....	40
Figure 27. Évolution temporelle de l'ICPP Médit à la station Tamarone en 2017. L'axe des ordonnées représente l'échelle de l'ICPP. ....	40
Figure 28. Courant de surface en baie de Calvi lors d'une tempête en décembre 1999 (Skiris et al., 2004).	45
Figure 29 Évolution temporelle de la température de surface de l'eau en baie de Tamarone au cours de l'année 2017. Données issues de l'imagerie satellitaire (Giovanni Nasa, 2020). ....	45

## Table des tableaux

Tableau 1. Répartition du nombre de passagers transportés en 2018 en fonction du moyen de déplacement (Tirroloni et al., 2019).....	3
Tableau 2. Correspondance taxonomique entre les pigments et les groupes phytoplanctoniques marins. (Roy et al., 2012; synthèse réalisée par Goffart, 2019).....	19
Tableau 3. Distribution spatio-temporelle de la survenue des blooms pour les différents groupes du phytoplancton. Pour chaque groupe, la concentration de la biomasse (ng équivalent Chl a L <sup>-1</sup> ) ainsi que le mois du bloom sont donnés. "-" signifie que le bloom n'est pas détectable avec les données disponibles. Á la station mouillage Calvi, en 2013, le bloom des prymnésiofycées survient en dehors de la période non touristique. ....	29
Tableau 4. Mois durant lesquels la concentration de la biomasse (ng équivalent Chl a L <sup>-1</sup> ) des groupes du phytoplancton est constante. "-" signifie que la concentration de la biomasse varie régulièrement. "cf. Notes" indique une évolution temporelle particulière de la concentration de la biomasse qui est décrite en détail...	30
Tableau 5. Résultats obtenus pour les groupes dominants par station en période non touristique. ....	43
Tableau 6. Résultats obtenus pour les groupes dominants par station en période touristique. Les groupes dominants diffèrent à la station Tamarone par rapport aux autres stations (rouge).....	43

## 1. Introduction

Notre planète est recouverte à 70% d'eau constituant les mers et océans. Cette répartition est inégale entre les hémisphères nord et sud. La surface de l'hémisphère nord est recouverte approximativement à 60% d'océans, tandis que celle de l'hémisphère sud à 80% (International Hydrographic Organization, 1953 ; *Eakins & Sharman, 2010*). Les océans jouent un rôle crucial dans la régulation du climat. Notamment, ils permettent d'absorber une partie du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) de l'atmosphère lors de la croissance du phytoplancton (Freeman & Hayes, 1992). Le  $\text{CO}_2$  est un gaz à effet de serre et est un des principaux acteurs du changement climatique que nous connaissons (Rind et al., 1990). Ce gaz est produit, entre autres, par les activités anthropiques, en particulier suite à la combustion d'énergies fossiles (Revelle & Suess, 1957).

Le phytoplancton utilise du  $\text{CO}_2$ , des sels nutritifs et de l'énergie lumineuse pour produire sa matière organique par le processus de photosynthèse. À l'échelle de la planète, le compartiment phytoplanctonique fixe quotidiennement plus de 100 millions de tonnes de  $\text{CO}_2$  (Behrenfeld et al., 2006). Le phytoplancton est un important producteur primaire à la base de la chaîne trophique marine. L'abondance et la nature des taxons phytoplanctoniques présents déterminent le type d'aliments disponibles pour les maillons supérieurs de la chaîne alimentaire (Fenchel, 1988). Remontant la chaîne trophique, le phytoplancton, par l'intermédiaire du zooplancton, sert d'aliments à l'ichtyoplancton. La morphologie variable et spécifique des larves de différentes espèces réduit les relations proies-prédateurs à un nombre restreint d'interactions. Ainsi lorsque la proie phytoplanctonique ou zooplanctonique d'une espèce ichtyoplanctonique disparaît, l'écosystème peut subir d'importantes modifications. La dynamique du phytoplancton, par sa biomasse et la nature des grands groupes fonctionnels, conditionne la présence des niveaux trophiques supérieurs présents dans l'écosystème (Field et al., 1998).

En raison de la valeur patrimoniale naturelle de l'écosystème méditerranéen, le bassin méditerranéen attire de nombreux touristes chaque année. Ainsi, les forces des pressions anthropiques sont en constante augmentation (Cuttelod et al., 2008). Lorsque la gestion des activités anthropiques liées au tourisme fait défaut, celles-ci peuvent être source de perturbations pour le milieu aquatique (Lootvoet & Roddier-Quefelec, 2009). Le tourisme entraîne d'importantes variations saisonnières de plusieurs paramètres sociétaux qui peuvent aboutir à la dégradation de la qualité des eaux côtières.

Ce travail vise à mieux comprendre comment le phytoplancton des eaux côtières de Corse répond à l'augmentation des pressions qui s'exercent sur le littoral en période estivale. Le phytoplancton sera utilisé comme indicateur du statut de santé de l'écosystème marin. Toutes variations de la dynamique du phytoplancton, par rapport à celles observées dans un milieu considéré préservé, permettent d'estimer l'impact anthropique lié aux activités touristiques (Navarro et al., 2014).

## 2. État de l'art

### 2.1. Le tourisme

#### 2.1.1. Le tourisme mondial

Selon Sezgin & Yolal (2012), le tourisme prend racine au XVIII<sup>ème</sup> siècle. À cette époque, il n'était pratiqué que par l'élite des civilisations. Il faut attendre le début du XX<sup>ème</sup> siècle et la Révolution Industrielle pour que le développement des transports permette l'apparition du tourisme de masse. À partir des années 1930, l'industrie automobile prend son envol. Les ménages ayant à disposition un moyen de transport commode, le tourisme de proximité devient plus accessible. Durant l'entre-deux-guerres, suite aux avancées technologiques, les avions commencent timidement à être utilisés pour le transport de particuliers. Un second facteur ayant permis le développement du tourisme est la lutte des syndicats poussant graduellement les gouvernements à mettre en place les congés payés. En 1939, la majorité des pays européens avaient adopté cette mesure vis-à-vis de leurs travailleurs (Jones, 1986). À cette époque, les trains et les bateaux étaient les moyens de transports les plus populaires pour les destinations lointaines (Walton, 1997). Cependant, la lenteur de ces transports n'était pas compatible avec la durée des congés payés accordés aux salariés et le développement du tourisme s'en trouvait freiné.

L'industrie du tourisme de masse connaît son âge d'or entre les années 1950 et la fin des années 1980. Le terme « tourisme de masse » regroupe les voyages récréatifs d'un large groupe de personnes organisés par des agences de voyages. Dans les années 1990, le tourisme individuel se développe avec la popularisation d'Internet. Les foyers peuvent désormais organiser eux-mêmes leurs vacances grâce à la communication facilitée avec les compagnies de transport et hôtelières (Sezgin & Yolal, 2012).

Ces dernières années, les recettes annuelles de l'industrie touristique s'élèvent à environ 1700 milliards de

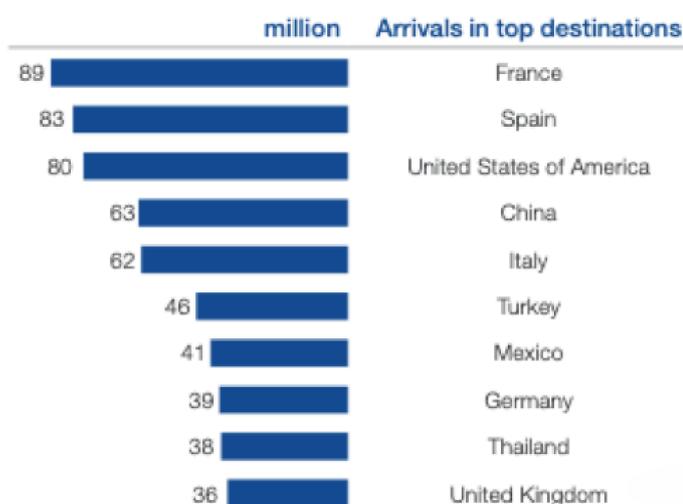
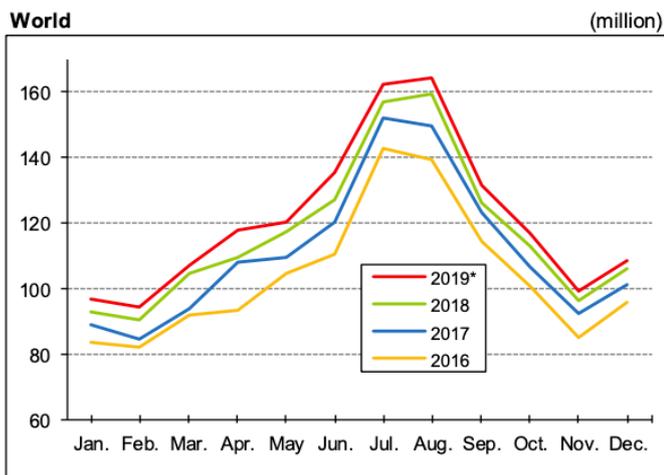


Figure 1. Dix premières destinations en termes d'arrivées de touristes en 2018 (WTO, 2019)

dollars américains (USD) (WTO, 2019). Ce qui équivaut à presque 5 milliards d'USD par jour. Au cours des dernières années, le transport de passagers représente 29% des services de transport. Selon l'Organisation Mondiale du Tourisme (2019), le transport de passagers représente la 3<sup>ème</sup> catégorie d'exportation après les produits chimiques et le carburant. Il se place devant le transport de produits automobiles et d'aliments. Les 10 destinations les plus populaires reçoivent 40% des voyages internationaux.



Source: World Tourism Organization (UNWTO) ©

Figure 2. Évolution des arrivées de touristes internationaux dans le Monde (WTO, 2020)

En 2019, dans le monde, 1,5 milliard de voyages ont été recensés par l'Organisation Mondiale du Tourisme dont 160 millions au cours des mois de juillet et d'août (figure 2). Cela représente une augmentation de 54 millions de voyages par rapport à l'année précédente (World Tourism Organization, 2020).

Environ 58% des voyages internationaux sont aériens, 37% sont routiers, 4% sont maritimes et enfin 2% sont ferroviaires (UNWTO, 2018).

### 2.1.2. Le tourisme en Europe et en Méditerranée

L'Europe accueille environ 500 millions de voyageurs chaque année. Parmi eux, 61% des touristes dédient leur voyage aux loisirs, à des activités récréatives et aux vacances. Les déplacements professionnels représentent environ 15% des voyageurs se rendant en Europe au cours d'une année. Enfin, 24% des voyageurs ont pour but de rendre visite à des proches, d'effectuer des retraites spirituelles ou se déplacent pour bénéficier de traitements pour des raisons de santé.

La popularité de l'Europe méditerranéenne en tant que destination touristique est en constante augmentation. Ces dernières années, cette région du monde connaît une augmentation annuelle de 5% de sa fréquentation touristique (World Tourism Organization, 2018). Selon Spörel & Täube (2008), la côte sud de la Méditerranée reçoit, environ 60 millions de touristes par an tandis que la côte nord en accueille environ 381 millions.

### 2.1.3. Le tourisme en Corse

La Corse se situe en Mer Ligure et est la 3<sup>ème</sup> plus grande île méditerranéenne avec une superficie de 8722 km<sup>2</sup>.

Son relief est montagneux et ses 1000 km de côte sont découpés.

Cette île est peuplée d'environ 339 000 résidents permanents (INSEE 2020 ; Eurostat 2020). La population se regroupe sur le littoral, en particulier dans les villes d'Ajaccio et Bastia. Ces deux villes regroupent un peu moins de la moitié des résidents insulaires.

Tableau 1. Répartition du nombre de passagers transportés en 2018 en fonction du moyen de déplacement (Tirroloni et al., 2019)

Ports et (ou) aéroports	Maritime		Aérien Lignes régulières et charter	Total
	Lignes régulières	Croisières		
Ajaccio	988 650	838 100	1 673 200	3 499 900
Bastia	2 169 200	19 400	1 524 900	3 713 500
Bonifacio	274 200	23 500	///	297 700
Calvi	///	37 900	335 150	373 100
Figari	///	///	756 000	756 000
L'Île-Rousse	405 300	5 500	///	410 800
Porto-Vecchio	194 150	12 500	///	206 600
Propriano	65 500	40 200	///	105 700
<b>Ensemble</b>	<b>4 097 000</b>	<b>977 200</b>	<b>4 289 300</b>	<b>9 363 500</b>
Evolution 2018/2017	- 1,1 %	5,5 %	6,5 %	2,9 %

Source : Observatoire régional des transports de la Corse, Dreal

Selon Tirroloni et al. (2019), en 2018, la Corse accueillait 9,36 millions de touristes. Parmi ceux-ci, 4,29 millions avaient voyagé par voie aérienne et 5,07 millions avaient emprunté les voies maritimes. Comme indiqué dans le tableau 1, les villes d'Ajaccio et de Bastia sont les principaux points de transits. Selon Graveline et al. (2010), la fréquentation touristique est répartie à environ 48% durant les mois de juillet et août, à 37% durant les mois d'avril,

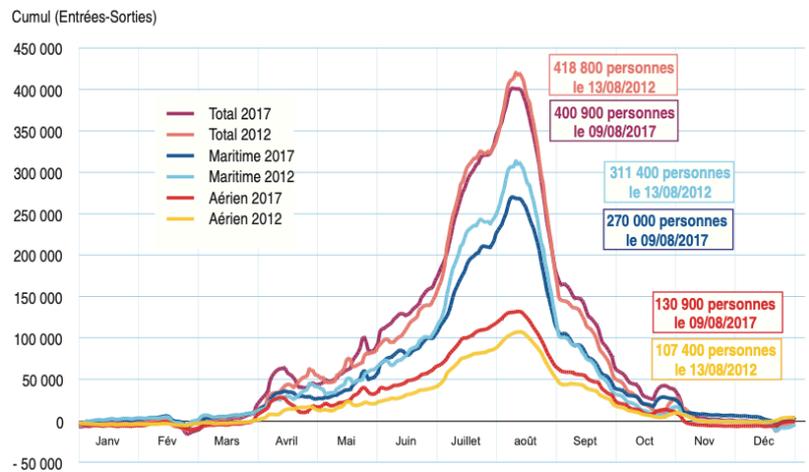


Figure 3. Variation quotidienne de la population saisonnière de Corse. Source : Observatoire régional des transports de la Corse.

mai, juin, septembre et octobre et les 15% restant, hors saison touristique. Comme observé sur la figure 3, le pic d'août 2017 a amené 400 900 touristes sur l'île, ce nombre était inférieur à la capacité d'accueil quotidienne de l'île qui est d'environ 558 000 personnes (Tirroloni A. et al., 2018).

Les touristes rejoignent la Corse soit pour profiter de son littoral, soit de ses montagnes. Cependant, les proportions de la fréquentation de ces deux espaces n'est pas connue. La capacité d'accueil des établissements touristiques est le seul indicateur capable de donner une estimation de la répartition des voyageurs. L'offre d'hébergement est constituée, pour la majorité, de petites structures familiales, d'une capacité d'accueil d'une trentaine de lits (Graveline et al., 2010). Les touristes de montagne se rendent dans les campings et les établissements hôteliers. À proximité des côtes, les structures d'accueil des touristes sont les ports, les mouillages et les établissements touristiques (hôtels, auberges, secondes résidences, campings...). Selon Luciani (2019), la Corse comporte 27 ports de plaisance et 16 mouillages organisés. Ils sont, le plus souvent gérés par les communes des territoires sur lesquelles ils se trouvent. Ensemble, les ports et mouillages offrent 10 700 postes d'amarrage. Ce sont les gestionnaires de ces structures qui sont, notamment, chargés d'informer les plaisanciers du tri des déchets. Les plages, les loisirs nautiques tournés vers le sport et la promenade en mer tels que la voile, la plongée et le kayak ainsi que la navigation de plaisance, sont les principales attractions du tourisme balnéaire de l'île (Luciani A., 2019).

## 2.2. Les pressions anthropiques sur le littoral

Il existe de nombreuses pressions anthropiques s'exerçant sur le littoral, ces forces de pression sont communes à l'ensemble des eaux côtières. Un certain nombre des pressions anthropiques ne sont pas en lien direct avec le sujet de ce travail. Il s'agit, par exemple, de la surpêche (Duarte, 2014), de l'agriculture (Kroeze & Seitzinger, 1998), de l'aquaculture (Odum, 1974), du transport aérien et maritime de marchandises (Walker et al., 2018), de la population littorale permanente (Lootvoet & Roddier Quefelec, 2009 ; Savage et al, 2010) et des apports d'eau douce par les cours d'eau (Andromède Océanographie, 2018). Les impacts des pressions cités précédemment sont, par exemple :

- Pour la surpêche, la mortalité des espèces pêchées et des espèces capturées accidentellement. Certains outils de pêche dégradent physiquement les fonds marins, perturbant ainsi les écosystèmes benthiques (Goñi, 1998).
- Concernant l'agriculture, Beman et al. (2005) ont observé des proliférations importantes du phytoplancton synchronisées aux l'épandages de fertilisants agricoles sur bassin versant du Golfe de Californie. Ces proliférations peuvent mener à l'eutrophisation et/ou l'hypoxie des eaux côtières dans certains cas (Durate, 2014).
- Selon Odum (1974), l'aquaculture produit des déchets organiques. La quantité de déchets produits dépend de la gestion du nourrissage des stocks, de l'espèce élevée et de la qualité de l'aliment distribué. Ces déchets enrichissent alors le milieu en sels nutritifs qui impactent la dynamique des communautés phytoplanctoniques (Sara et al. 2011).
- Comme l'expliquent Colvile et al. (2001), le transport commercial de marchandise, par bateau ou par avion, utilise comme source d'énergie la combustion d'énergies fossiles liquides. Cette combustion produit du CO<sub>2</sub> et de l'eau mais peut également produire des coproduits (notamment du dioxyde de soufre ou SO<sub>2</sub>) lorsque des impuretés sont présentes dans le carburant. Le CO<sub>2</sub> est connu pour participer à l'acidification des océans (Durate, 2014). Les températures élevées dues aux fonctionnements des moteurs de propulsion peuvent provoquer l'oxydation du diazote (N<sub>2</sub>) atmosphérique produisant du monoxyde d'azote (NO) et, en plus faibles quantités, de dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>). Certains de ces produits peuvent enrichir le milieu côtier en sels nutritifs et influencer ainsi les communautés phytoplanctoniques (Gallisai et al., 2014).
- La population littorale a des besoins en énergie, en eau douce (Graveline et al., 2010) et en aliments, qui pèsent sur les ressources naturelles et sur l'environnement côtier. Ces besoins produisent des perturbations pour le milieu littoral, notamment, par la production d'eaux usées, de gaz à effet de serre et de l'urbanisation (Lootvoet & Roddier Quefelec, 2009 ; Savage et al, 2010). Les eaux usées peuvent être source de sels nutritifs et de perturbation microbienne lorsqu'elles sont déversées dans le milieu aquatique.
- Selon Bernardi Aubry et al. (2004), les cours d'eau transportent des perturbateurs d'origines anthropiques vers le milieu marin. L'impact de ce transport peut résulter en l'enrichissement des eaux côtières en microorganismes ou en sels nutritifs.

Dans les eaux côtières corses, une force de pression anthropique ayant des conséquences potentielles sur le compartiment phytoplanctonique est l'augmentation saisonnière de la population due au tourisme. Cette force de pression principale entraîne des pressions secondaires telles que l'augmentation du trafic aérien, terrestre et maritime (Luciani, 2019). L'augmentation saisonnière de la population entraîne une production accrue de

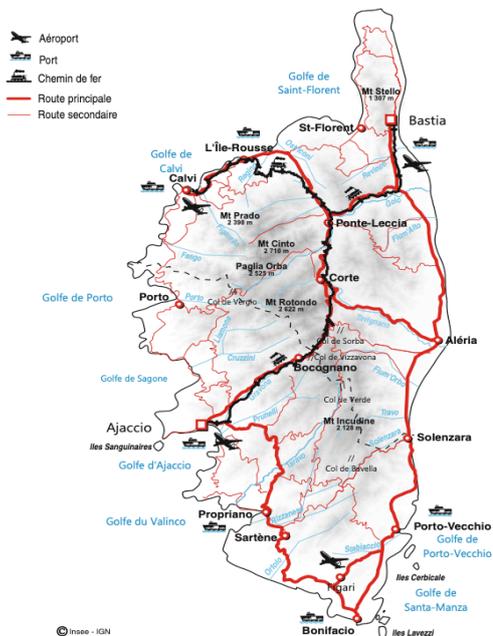
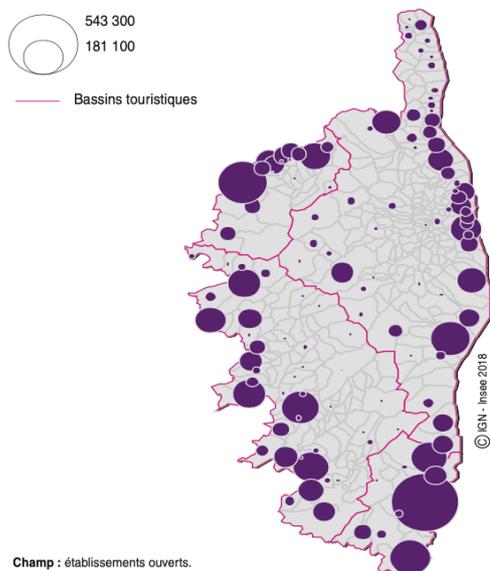


Figure 4. Occupation du territoire corse (INSEE, 2018)



Champ : établissements ouverts.

Source : Insee - DGE, Enquêtes de fréquentation touristique

Figure 5. Capacité d'accueil des campings, hôtels et autres hébergements collectifs touristiques par commune, en août 2017 (INSEE, 2018)

déchets et d'eau usée par rapport à la saison hivernale (Lootvoet & Roddier Quefelec, 2009 ; Graveline et al., 2010; Luciani, 2019, Andromède Océanologie, 2018 ; BLUEISLAND, 2020). Graveline et al. (2010) ont estimé que la consommation d'eau double en saison touristique par rapport à la saison hivernale. Ceci s'explique par l'augmentation des besoins en eau due à l'élévation de la température au cours de l'été et à l'augmentation de la démographie. Pour cette raison, la production d'eaux usées double également. Le projet BLUEISLANDS (2020) a observé que la production de déchets, en période estivale, est multipliée par deux. Ce sont les déchets organiques qui constituent la principale fraction des déchets municipaux, suivis, dans des proportions similaires, par les plastiques, les verres et les papiers. La production de déchets est particulièrement accrue au niveau des plages. Selon BLUEISLANDS (2020), le taux d'accumulation des déchets sur les plages touristiques des îles méditerranéennes (Majorque, Sicile, Rab, Malte, Crète, Mykonos, Rhodes et Chypre), en période estivale, est d'environ 300 objets/ 1000 m<sup>2</sup>/ jour, ce qui correspond à une augmentation d'environ 320% par rapport à la saison non touristique. Presque 95% des objets collectés lors de campagnes de nettoyage des plages sont des objets partiellement ou totalement en plastique (mégots, couverts à usage unique, bouchons et emballages alimentaires). La quantité de déchets augmente de juin à août pour ensuite diminuer jusqu'en novembre, parallèlement à l'évolution de la démographie liée au tourisme. Les déchets et l'eau usée peuvent être source de matière organique pour le milieu littoral et entraîner un enrichissement des eaux en sels nutritifs.

Une autre pression liée à l'augmentation de la population saisonnière est la multiplication des activités récréatives tel que la navigation de plaisance, la navigation de croisière, les activités portuaires et la fréquentation des plages. La navigation de plaisance génère une pression de mouillage qui par l'intermédiaire de l'ancre, et a pour impact la dégradation des écosystèmes benthiques, notamment des herbiers de posidonie (Andromède Océanographie, 2018). Les bateaux sont responsables également de rejets d'eau usées issue de la toilette des plaisanciers ou du nettoyage du bateau.

Les forces de pression anthropique correspondant à l'augmentation de la population estivale qui s'exercent sur le littoral ont souvent pour impact d'enrichir le milieu marin en sels nutritifs (Guadayol et al., 2009). Les sels nutritifs sont un des éléments clés de la croissance du phytoplancton et ainsi un lien peut être suspecté

entre les impacts anthropiques liés au tourisme et une croissance anormale du phytoplancton (Guadayol et al., 2009 ; Graveline et al., 2010 ; Luciani, 2019). La figure 4 (Torroloni et al., 2019) montre l'aménagement de la Corse avec la localisation des principaux ports, aéroports et villes de l'île. La figure 5 (Torroloni et al., 2019) montre, quant à elle, la capacité d'accueil des établissements touristiques en août 2017. Le croisement de ces données devrait permettre d'avoir une idée des zones côtières subissant le plus de pressions liées au tourisme. L'importance des impacts des forces de pression dépend des caractéristiques environnementales des lieux où elles s'exercent (*e.g.* courants, topographie des côtes) et de la performance de la gestion de ces pressions.

### 2.3. Le phytoplancton

Le phytoplancton joue un rôle dans les cycles biochimiques globaux (Field et al., 1998) et participe à la régulation du climat mondial (Behrenfeld et al. 2006 ; Sabine et al., 2004).

Le suivi de l'évolution temporelle et spatiale de la biomasse et composition des groupes fonctionnels du phytoplancton dans une masse d'eau, permet, dans certains cas, de mesurer les impacts de l'activité anthropique sur le milieu marin côtier (Navarro et al., 2017 ; Nunes et al. 2018). D'après Reynolds et al. (2002), un groupe fonctionnel phytoplanctonique couvre l'ensemble des espèces qui partagent des caractéristiques morphologiques, écologiques et physiologiques semblables. Cette association est indépendante de l'origine taxonomique des espèces. La concentration de la chlorophylle a (chl a) de surface est un bon indicateur de la biomasse globale du phytoplancton. L'augmentation de la biomasse du phytoplancton est favorisée lorsque la concentration en sels nutritifs de la couche photique est importante et que l'éclairement est suffisante pour permettre la photosynthèse (Sverdrup, 1953 ; Legendre, 1990 ; Mann & Lazier, 1996). Le suivi de la variation spatiale ou temporelle de la composition des communautés renseigne sur les effets de potentielles perturbations naturelles ou anthropiques (Nunes et al., 2018).

#### 2.3.1. Le phytoplancton au large dans le bassin nord-ouest de la Méditerranée

##### *Nutriments et biomasse*

Dans le bassin ouest-méditerranéen, les eaux sont oligotrophes (Krom et al., 1991) malgré les contributions externes relativement riches en nutriments essentiels (Rhône et Ebre) (Ludwig et al., 2009 ; Huertas et al., 2012). En hiver, les sels nutritifs issus des couches d'eau plus profondes sont rendus disponibles dans les eaux de surface par le mélange vertical de la colonne d'eau suite au forçage du vent et à la diminution de la température des eaux de surface (Zingone et al., 1995 ; Estrada, 1996). Au printemps et en été, la colonne d'eau devient progressivement stratifiée et une thermocline apparaît. Cette barrière physique s'oppose à la remontée des nutriments depuis les couches d'eau plus profondes et la concentration de la biomasse totale (chl a) est très basse suite à l'épuisement des sels nutritifs (Goffart et al., 2015).

La croissance du phytoplancton est régulée par le forçage climatique (ex. vent, précipitation, transport de poussières...), les conditions physiques du milieu (ex. température, turbulence, turbidité, mélange vertical de la colonne d'eau, advection horizontale, ensoleillement) et par la disponibilité des sels nutritifs (Cushing, 1975 ; Margalef, 1978 ; Mann & Lazier, 1996 ; Goffart et al., 2002). Au large, le vent est le principal forçage dirigeant le développement du phytoplancton (D'Ortenzio & Ribera d'Alcalà, 2009 ; Olita et al., 2011 ; Goffart et al., 2015). Á l'échelle annuelle, un gradient de la concentration en Tchl a diminuant d'Ouest en Est et du Nord au Sud est observé (Turley et al., 2000 ; Uitz et al. 2012)

Dans le bassin occidental de la Méditerranée, l'évolution annuelle de la distribution du Chl a suit la succession typique des régions tempérées, caractérisée par une augmentation de la biomasse à la fin de l'hiver et au début du printemps (bloom), une diminution au cours des mois d'été et, parfois, une 2<sup>me</sup> augmentation de la biomasse, plus faible, en automne (Siokou-Frangou et al., 2010 ; Sammartino et al., 2015 ; Salgado-Hernanz et al., 2019). Au printemps, lorsque la biomasse est importante, la diversité des communautés phytoplanctoniques est réduite. Le bloom survient généralement entre le mois de février et de mai (Morel & André, 1991 ; Goffart et al., 2015 ; Bosc et al., 2004) lorsque l'ensoleillement augmente la température de l'eau de surface entraînant la stabilisation de la colonne d'eau (Estrada, 1996 ; Duarte et al., 1999). En été, lorsque la biomasse diminue, la diversité des taxons augmente (Goffart, 2010 ; Latasa et al., 2010).

Vers la fin de l'hiver et au début du printemps, la biomasse du phytoplancton augmente suite aux conditions favorables et la concentration de Tchl a est en général comprise entre 250 et 400 ng Tchl a L<sup>-1</sup> mais peut parfois atteindre jusqu'à 2500 ng Tchl a L<sup>-1</sup> (avec les plus grandes valeurs entre décembre et mars) (figure 6) (Bosc et al., 2004 ; earthobservatory.nasa.gov, 2020 ; Siokou-Frangou et al., 2010 ; Marty et al., 2002 ; Salgado-Hernanz et al., 2019).

Le reste de l'année, la concentration de la Tchl a est faible et d'environ 70 ng Tchl a L<sup>-1</sup> (avec les valeurs les plus faibles entre juin et septembre) (Bosc et al., 2004 ; Siokou-Frangou et al., 2010 ; Marty et al., 2002) (figure 6).

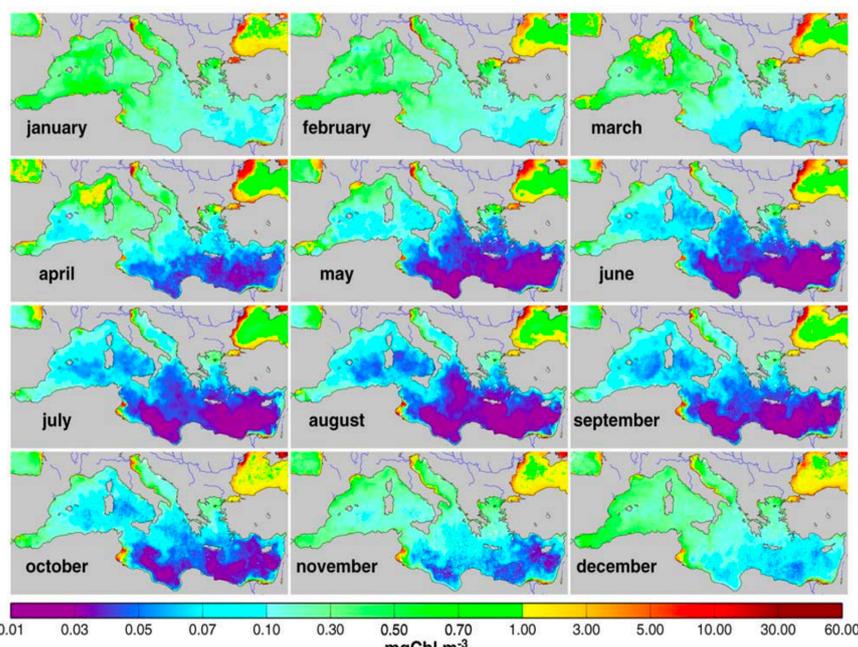


Figure 6. Cartes mensuelles de la distribution en chl a. Données d'imagerie satellitaire (Bosc et al., 2004)

## Communautés du phytoplancton

Les groupes fonctionnels du phytoplancton présents dans le bassin occidental de la Méditerranée sont les diatomées, les prasinophycées, les cryptophycées, les prymnésiofycées, les pélagophycées les *Prochlorococcus*, les *Synechococcus* et les dinoflagellés (Bustillos-Guzman et al., 1995 ; Latasa et al., 2005 ; Marty et al., 2008 ; Gutiérrez-Rodríguez et al., 2010 ; Numes et al., 2018). Selon Latasa et al. (2010), les cryptophycées, les dinoflagellés, les prasinophycées et les diatomées se développent préférentiellement dans des eaux où les sels nutritifs sont non limitants ; les *Synechococcus*, les pélagophycées et les prymnésiofycées se développent mieux dans des eaux avec une concentration en sels nutritifs modérées tandis que les *Prochlorococcus* se développent au niveau du maximum profond de chlorophylle, dans des eaux pauvres en sels nutritifs.

En Méditerranée occidentale, à l'échelle annuelle, les groupes fonctionnels dominants sont les prymnésiofycées, les prasinophycées et les diatomées qui sont dominantes principalement en période de bloom (Numes et al., 2018). Les *Synechococcus* sont quant à eux dominants en période de stratification de la colonne d'eau (Navarro et al., 2017) .

L'importance de l'abondance des communautés du phytoplancton évolue au cours du temps formant ainsi une succession annuelle (figure 7). De décembre à mars, les prasinophycées, les cryptophycées et les pélagophycées contribuent de manière dominante à la biomasse totale (Numes et al., 2018). L'abondance des pélagophycées reste, dans certains cas, assez importante jusqu'au mois de mai (Marty et al., 2002 ; Gasol et al., 2016). Les diatomées sont dominantes en période de bloom (Bustillos-Guzman et al., 1995 ; Charles et al., 2005 ; Siokou-Frangou et al., 2010) et sont parfois accompagnées de cryptophycées (Marty et al., 2002). Les prymnésiofycées montrent une concentration maximale en automne, hiver et au printemps (Gasol et al., 2016) mais l'évolution de leur dominance est moins marquée

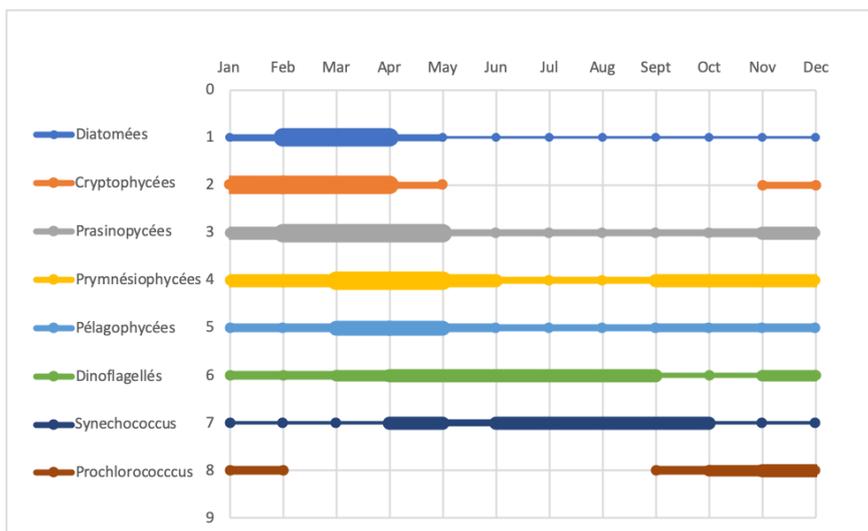


Figure 7. Résumer de l'évolution saisonnière du phytoplancton. La largeur de la barre renseigne sur l'abondance approximative du groupe. (Bustillos-Guzman et al., 1995 ; Marty et al., 2002 ; Charles et al., 2005 ; Siokou-Frangou et al., 2010 ; Gasol et al., 2016 ; Numes et al., 2018)

(Numes et al., 2018). Le groupe des dinoflagellés est relativement présent en hiver, au printemps et en été, et sa concentration est minimale de septembre à novembre (Numes et al., 2018). Les *Prochlorococcus* se développent à la fin de l'été voire au début de l'automne et sont présents tout au long de l'hiver (Bustillos-Guzman et al., 1995). Ce groupe est presque absent entre le mois de février et le mois d'août (Numes et al.,

2018). Les *Synechococcus* se développent au fur et à mesure que la stratification s'installe (Bustillos-Guzman et al., 1995) et présentent une forte contribution en avril et entre le mois de juillet et d'octobre (Nunes et al., 2018).

### 2.3.2. Le phytoplancton dans les milieux côtiers peu perturbés

#### *Nutriments et biomasse*

Selon Goffart et al. (2015), les eaux côtières méditerranéennes présentent une variabilité interannuelle de leur enrichissement en sels nutritifs. Certaines années présentent un régime subtropical caractérisé par une faible saisonnalité de la concentration en sels nutritifs, tandis que d'autres années suivent un régime tempéré caractérisé par une augmentation marquée des sels nutritifs durant la transition entre l'hiver et le printemps. En région estuarienne ou lorsque la bathymétrie est faible, plusieurs études rapportent des concentrations en sels nutritifs plus conséquentes (Walker & Rabalais, 2006 ; Arístegui et al., 1997 ; Siokou-Frangou et al., 2010). Une hypothèse émise pour l'expliquer est la diffusion entre le sédiment et la colonne d'eau de faible hauteur (Blackburn & Henriksen, 1983 ; Kemp & Boynton, 1992 ; Denis et al., 2001 ; Guadayol et al., 2009). Les eaux du plateau continental de la côte occidentale de la Corse sont, quant à elles, plus oligotrophiques que les eaux du large (Sournia et al., 1990 ; Pinca & Dallot, 1995). Pendant les conditions de mélange hivernales, la concentration en sels nutritifs est la plus importante (Goffart, 1992 ; Goffart et al., 2002 ; Sebastia & Rodilla, 2011). Durant la période de stratification, les nutriments sont appauvris sur toute la colonne d'eau (Goffart et al., 2015).

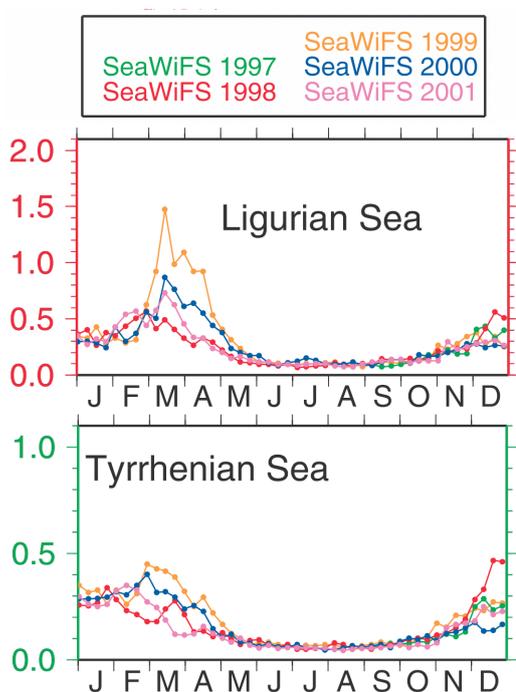


Figure 8. Concentration Chl a en mer Ligurie et mer Tyrrhénienne. L'axe des ordonnées est variable entre les deux graphiques et a pour unité Chl a (mg.m<sup>-3</sup>) Données issues de l'imagerie satellitaire (Bosc et al., 2004)

Les changements de la biomasse planctonique en milieu côtier sont importants et rapides, avant de s'amortir (Goffart, 2010). De plus, ce milieu est caractérisé par une grande variabilité régionale par rapport au large (Salgado-Hernanz et al., 2019).

Le bloom survient en février-mars (Antoine et al., 1995 ; Herrera & Margalef, 1961 ; Walker & Rabalais, 2006) mais la variabilité du moment de sa survenue est plus importante qu'au large (Goffart et al., 2015). Un deuxième bloom automnal, de moindre amplitude, est parfois observé (Herut et al., 2000, Siokou-Frangou et al., 2010 ; Sammartino et al., 2015). Le bloom peut être plurimodale, c'est-à-dire que la concentration en Tchl a varie rapidement et de manière importante de manière répétée (Goffart et al., 2015 ; Salgado-Hernanz et al., 2019).

Dans les eaux côtières de la mer Ligurie, en période de bloom, la concentration de la Tchl a varie entre environ 300 et 1500 ng Tchl

a L<sup>-1</sup> (figure 8) (Bosc et al., 2004 ; Garrido et al., 2014 ; Giovanni Nasa, 2020). Dans les eaux côtières de la mer Tyrrhénienne, la concentration de la Tchl a est comprise entre environ 200 et 450 ng Tchl a L<sup>-1</sup> (Bosc et al., 2004) (figure 8). En Baie de Calvi, la concentration de la Tchl a varie entre <50 et ≈2 000 ng L<sup>-1</sup> au cours de l'année (Goffart et al., 2015).

Le reste de l'année, lors de la période de stratification progressive, les eaux côtières voient leurs concentrations en Chl a diminuée. En surface, la biomasse est faible, voire nulle, après l'épuisement des sels nutritifs. En mer Ligurie, la concentration de la biomasse diminue pour atteindre des valeurs comprises entre environ 100 et 200 ng Tchl a L<sup>-1</sup> (Bosc et al., 2004 ; Giovanni Nasa, 2020) et entre environ 50 et 150 ng Tchl a L<sup>-1</sup> en mer Tyrrhénienne (Bosc et al., 2004) (figure 8).

### *Communautés du phytoplancton*

Selon Navarro et al. (2017), en milieu côtier peu perturbé, les prymnésiofycées font partie des groupes dominants tout au long de l'année, ils sont accompagnés des prasinofycées et des diatomées en période de bloom (Nunes et al., 2018) et des *Synechococcus* en période estivale. Les coccolithophoridés sont présents, de manière constante, dans les deltas et estuaires. Leur biomasse atteint sa plus haute concentration au cours de l'hiver (Navarro et al., 2017). Autrement, la succession des groupes du phytoplancton est similaire en milieu côtier et au large (Navarro et al., 2017 ; Nunes et al., 2018), mais la variabilité est forte dans la succession des maxima de chaque groupe (Nunes et al., 2018).

Selon Goffart et al. (in preparation), en baie de Calvi, les groupes dominants du phytoplancton à l'échelle annuelle sont les prymnésiofycées, les cyanobactéries et les diatomées. Les prymnésiofycées sont dominants tout au long de l'année (Nunes et al., 2018).

### 2.3.3. Le phytoplancton dans les milieux côtiers perturbés

#### *Nutriments et biomasse*

Dans les milieux côtiers subissant les perturbations anthropiques, selon Goffart (2010), une augmentation de la concentration en sels nutritifs est souvent observée. Cet enrichissement peut être l'effet de condition climatique et/ou de pressions anthropiques (Mozetic et al., 2010 ; Nincevic Gladan et al., 2010). Cependant il est difficile de distinguer l'action des activités humaines de celle des forçages naturels (Goffart et al., 2015). De cette augmentation en sels nutritifs résulte une augmentation de la Tchl a par rapport aux environnements côtiers peu perturbés. L'apport supplémentaire en sels nutritifs peut, dans certains cas, accroître la fréquence, l'intensité et la durée des blooms du phytoplancton (Nunes et al., 2018).

Parfois, la prolifération importante du phytoplancton peut entraîner l'eutrophisation du milieu. L'eutrophisation survient lors de l'augmentation importante et rapide de la biomasse du phytoplancton associée à un enrichissement de sels nutritifs avec des conséquences néfastes sur l'environnement marin (de Jonge et al., 2002 ; Devlin et al., 2007).

## *Communautés du phytoplancton*

En milieu côtier perturbé, selon Goffart (2010) la modification de l'apport des principaux sels nutritifs (azote, phosphore, silice et fer) suite à des rejets anthropiques peut entraîner des conséquences néfastes sur l'environnement marin. Les rejets anthropiques peuvent comporter, par exemple, les eaux usées issues de l'augmentation saisonnière de la population (Graveline et al., 2010), des déchets d'aquaculture (Ruiz et al., 2010), des rejets industriels, etc. Selon Nunes et al. (2018), l'installation d'une station de traitement des eaux usées peut être responsable de l'oligotrophication progressive de la baie de Blanes. Dans certains cas, la modification du rapport des sels nutritifs favorise le développement d'espèces phytoplanctoniques productrices de toxines (Vila & Maso, 2008). La prolifération démesurée des groupes phytoplanctoniques peut, sans production de toxine, entraîner l'eutrophisation du milieu. Apparaissent alors des bloom d'espèces toxiques ou nuisibles (Gokul et al., 2019), des perturbations de la chaîne trophique, de la mortalité parmi les espèces benthiques et halieutiques, de l'anoxie (Stirn, 1988), la régression des herbiers de Posidonies (Marbà et al., 1996) et la prolifération de macroalgues opportunistes. En zone côtière, un surplus d'azote favorise le développement d'espèces non siliceuses au détriment de diatomées (Sebastià & Rodilla, 2012), dont la croissance est limitée par l'absence de silice dissoute. La dystrophie qualifie le déséquilibre des rapports entre les sels nutritifs (azote, phosphore et silice) suite à un enrichissement anthropique du milieu. L'enrichissement du milieu en sels nutritifs entraîne généralement une augmentation de la biomasse phytoplanctonique et les changements dans les proportions de ses communautés.

## 2.4. Directives européennes et qualité de l'eau

### *Directive-cadre sur l'eau et indicateur phytoplanctonique*

La directive-cadre sur l'eau (DCE 2000/60/CE) a été publiée par le Parlement européen et le Conseil de l'Union Européenne au mois d'octobre 2000. Son objectif est de conserver ou restaurer le bon état des eaux superficielles (eaux douces et eaux côtières) et des eaux souterraines. Il s'agit notamment de réduire la pollution de l'eau, de l'utiliser de manière durable et de protéger et restaurer les écosystèmes aquatiques. Cette politique d'évaluation de la qualité des eaux et de leur état écologique utilise entre autres le phytoplancton comme indicateur clé en raison de sa sensibilité aux apports anthropiques de sels nutritifs (Soudant & Belin, 2009).

Un indicateur est composé de plusieurs indices permettant d'évaluer la qualité d'un élément (Soudant & Belin, 2009). Il existe différents types d'indices, dont les indices de changement. Ces indices sont sensibles à une perturbation (ex. l'apport anthropique en sels nutritifs) et permettent d'évaluer l'impact de cette perturbation sur le compartiment étudié (ex. phytoplancton). Différents indicateurs biologiques utilisant le phytoplancton ont été développés. Un indicateur phytoplanctonique idéal permet de spécifier l'état de la masse d'eau et de suivre son évolution quant à l'amplitude, la nature, et l'échelle temporelle des changements qu'elle subit. L'indicateur doit être adapté à chaque région en tenant compte des spécificités des communautés

phytoplanctoniques, notamment en termes de diversité, d'abondance des différentes espèces, des classes de taille et de la succession saisonnière (Goffart, 2010). L'indicateur biologique phytoplanctonique est un indice bioindicateur constitué à partir des groupes du phytoplancton réagissant aux pressions s'exerçant dans les masses d'eau étudiées (Sebastia & Rodilla, 2011 ; Belin & Daniel, 2013 ; Goffart, 2019). Il apporte des informations sur la saisonnalité des perturbations. Le temps de réponse du phytoplancton à une perturbation varie de quelques heures à quelques jours. Un pigment diagnostique doit satisfaire deux conditions, à savoir être un traceur faible d'un groupe phytoplanctonique bien identifié et être sensible à la force de pression anthropique étudié (Birk et al., 2012). En d'autres mots, le groupe phytoplanctonique doit réagir à l'impact de la force de pression étudiée.

La DCE impose de caractériser les communautés phytoplanctoniques de zones de référence, peu impactées par l'activité humaine, et de suivre et de caractériser le phytoplancton des autres masses d'eau afin de mettre en place les mesures nécessaires à la conservation et/ou à la restauration du bon état écologique.

Dans le cadre de la DCE, l'indicateur phytoplanctonique est composé de 3 indices qui sont la biomasse, l'abondance et la composition des communautés du phytoplancton. Le paramètre choisi pour l'évaluation de la biomasse est la chlorophylle *a*. Sa métrique est le percentile 90. Cette métrique est également l'indice de la biomasse (Soudant et Belin, 2010). Dans les eaux côtières méditerranéennes, le paramètre « abondance » n'a pas été retenu. Un indice de composition phytoplanctonique basé sur la relation pressions-pigments diagnostiques (ICPP Médit) a été développé en intégrant les spécificités des communautés phytoplanctoniques méditerranéennes (Goffart 2019).

La directive européenne concernant la gestion de la qualité des eaux de baignade (2006/7/CE) impose la protection des eaux de surface qui sont considérées comme des ressources renouvelables dont la capacité de restauration après des effets négatifs résultant d'activités humaines est limitée. Pour cette raison, des politiques communautaires de l'environnement devraient viser un niveau élevé de protection et contribuer à des objectifs de préservation, de protection et d'amélioration de la qualité de l'environnement ainsi que de protection de la santé des personnes. La communauté européenne impose l'utilisation d'indicateurs permettant de prévoir un risque microbiologique pour la santé. Un indice utilisé est l'évolution des concentrations des bactéries *Escherichia coli* et d'autres entérocoques intestinaux dans les eaux de baignade. Les résultats de la surveillance en saison balnéaire à l'intérieur et aux abords des zones de baignade sont diffusés au public afin de prévenir les risques de pollution à court terme ou des situations anormales. À la suite de l'évaluation, les eaux de baignades sont classées comme ayant une qualité insuffisante, suffisante, bonne ou excellente. Les états doivent veiller à ce que leurs eaux de baignades soient au moins de qualité « suffisante » et doivent prendre des mesures pour accroître le nombre d'eaux de baignade « excellentes » ou « bonnes ».

## 2.5. Objectifs

L'objectif de ce mémoire est de contribuer à la compréhension de la réponse du phytoplancton des zones côtières méditerranéennes aux pressions exercées par l'augmentation saisonnière de la population et les activités récréatives durant la période estivale. Il s'agira plus spécifiquement d'étudier les fluctuations de la biomasse phytoplanctonique et les changements dans des sites soumis, ou non, à l'influence du tourisme saisonnier. Enfin, deux zones géographiques distinctes (côte occidentale et côte orientale de la Corse) ont été comparées. Cette démarche suit celles utilisées au niveau européen afin d'évaluer la qualité des eaux du littoral à l'aide d'indicateurs pour permettre la mise en place de mesures de préservation et restauration de l'environnement.

### 3. Matériel et méthodes

Ce travail a été réalisé dans les eaux côtières de Haute Corse au niveau de deux zones géographiques distinctes, à savoir la Baie de Calvi sur la côte occidentale en mer Ligure et la Baie de Tamarone sur la côte orientale en mer Tyrrhénienne (figure 9).

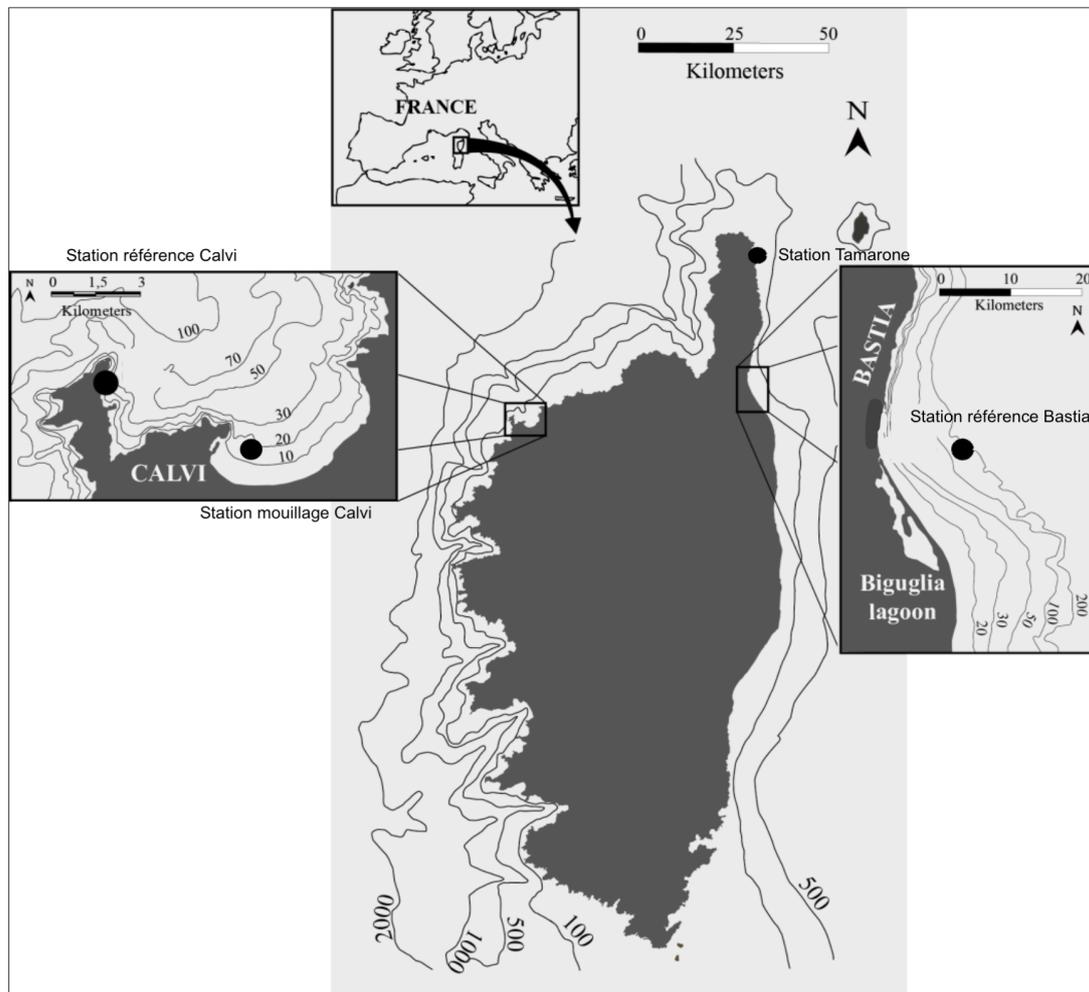


Figure 9. Situation géographique des stations étudiées.

#### 3.1. Zones d'étude

##### 3.1.1. Baie de Calvi

La baie de Calvi est située sur la côte nord-ouest de la Corse en France. Il s'agit d'une baie méditerranéenne typique avec un plateau continental étroit qui facilite le mélange entre les eaux côtières et celles du large (Goffart et al., 1992 ; Skliris et al., 2001). Par sa topographie, la baie de Calvi est divisée en deux. Sa partie ouest abrite entre autres, la Station de Recherche Sous-marine Océanographique (STARESO) et un mouillage forain. La partie est de la baie contient une ferme aquacole, les embouchures du Fiume Secco et de la Figarella (Richelot & Strel, 1985), un émissaire en mer, un mouillage organisé, le port de Calvi, une plage touristique populaire (Michel et al., 2012) et la ville de Calvi avec une population d'environ 5500 résidents permanents (INSEE, 2020). Tous ces éléments sont susceptibles d'avoir un impact sur le milieu marin et sur le compartiment planctonique en particulier. Dans le cadre de ce travail, les caractéristiques de communautés

phytoplanctoniques se développant dans la partie est de la baie (à la station mouillage Calvi) seront comparées à celles de la station de référence de Calvi.

#### *3.1.1.1. Station de référence de Calvi*

Dans le cadre de la DCE, un site de référence pour le suivi à long terme du phytoplancton est situé dans la partie ouest de la baie de Calvi (Belin et al., 2014 ; Goffart, 2015) et a pour coordonnées géographiques 42°34.85'N, 08°43.71'E avec une profondeur de la colonne d'eau de 38 m (figure 1).

#### *3.1.1.2. Station mouillage Calvi*

Cette station est localisée dans la partie est de la baie afin d'évaluer les éventuels impacts de l'activité anthropique dans cette partie de la baie. Cette station est située à environ 300 m du port de Calvi, 440 m de la plage, et à proximité du mouillage organisé. Dans le cadre de ce travail, cette station sera utilisée afin d'évaluer l'impact potentiel de la force de pression liée au tourisme. Les caractéristiques de communautés phytoplanctoniques se développant à la station mouillage Calvi seront comparées à celles de la station de référence de Calvi.

### *3.1.2. Côte orientale : stations Tamarone et référence Bastia*

La côte orientale de la Corse est exposée à une forte houle venant du sud-est. Le plateau continental de cette façade de l'île est large et est recouvert majoritairement par des fonds sableux (Garrido et al., 2014).

#### *3.1.2.1. Station référence Bastia*

Le point de référence DCE de cette zone a pour coordonnées 42°62447'N 9°49115'E (Ifremer Atlas DCE) (figure 1). Il fait l'objet d'un suivi à long terme des paramètres phytoplanctoniques.

#### *3.1.2.2. Station Tamarone*



Figure 10. Baie de Tamarone, août 2018 (google.com/maps)

La Baie de Tamarone se situe au nord-est du Cap de Corse. Elle fait partie du Parc naturel marin du Cap de Corse et de l'Agriate (aires-marines.fr) Ses alentours ne sont pas urbanisés (figure 10). L'arrière plage accueille une paillote-restaurant autonome quant à l'assainissement de ses eaux usées. Cette baie est très prisée en période estivale par les plagistes et la petite plaisance et est très peu fréquentée en période hivernale. La station de mesure du phytoplancton de la baie a pour coordonnées géographiques 42°58.568'N

9°27.489'E. Elle est localisée dans la partie nord-est de la baie, particulièrement exposée à la houle du sud-est, à proximité des rochers où les baigneurs sont présents en été. Dans le cadre de ce travail, les caractéristiques de communautés phytoplanctoniques se développant à la station Tamarone seront comparées à celles de la station de référence Bastia.

## 3.2. Prélèvements

Les prélèvements ont été groupés par période non touristique et période touristique. La période non touristique a été définie comme s'étendant du 1<sup>er</sup> janvier au 31 mars et du 1<sup>er</sup> novembre au 31 décembre. La période touristique commence le 1<sup>er</sup> avril et se termine le 31 octobre. Ce choix a été fait car 85% de la fréquentation touristique de la Corse a lieu entre le début du mois d'avril et la fin du mois d'octobre (Graveline et al., 2010).

### 3.2.1. Baie de Calvi

En baie de Calvi, les prélèvements de surface (1m) destinés à l'analyse du phytoplancton ont été réalisés en 2013 et 2014 par l'équipe de STARESO dans le cadre des projets « DCE phytoplancton Calvi » financés par l'IFREMER et « Starecapmed » financé par la Collectivité territoriale de Corse et l'Agence de l'Eau RMC. L'échantillonnage a été réalisé au site de référence (figure 9) où les échantillons ont été prélevés soit à la station PHYTOCLY, nommée dans ce travail « station référence Calvi », de manière hebdomadaire (42°34.85'N, 08°43.71'E), soit plus proche de la côte une à deux fois par semaine. La distance entre la station PHYTOCLY et la côte est d'environ 300m. Des études scientifiques ont montré une forte similitude entre la chlorophylle a et les nitrates échantillonnés en même temps à la station PHYTOCLY et aux stations plus proches de la côte (Goffart et al., 2015). Les échantillons prélevés à la station PHYTOCLY et aux stations plus proches de la côte ont par la suite été groupés. Ils sont référencés comme échantillons prélevés à la station référence Calvi. À la station mouillage Calvi, la fréquence de prélèvement était mensuelle d'octobre à avril, lorsque la fréquentation touristique était faible ou inexistante, et bimensuelle de mai à septembre en période touristique.

### 3.2.2. Côte orientale : stations Tamarone et référence Bastia

Les prélèvements d'eau destinés à l'analyse du phytoplancton ont été réalisés en surface par l'équipe de l'Ifremer et par le Dr Goffart dans le cadre des suivis DCE et REPHY et des projets « Indices de composition phytoplanctonique ». Initialement, il était prévu de travailler sur des données acquises lors de la période 2019-2020. En raison de la crise liée au Covid-19, l'échantillonnage a dû être interrompu depuis le mois de mars 2020. Dans ce cadre, le Dr Goffart a mis à disposition des données existantes acquises au cours de l'année 2017. Aux stations Bastia et Tamarone, les fréquences de prélèvement étaient mensuelles.

## 3.3. Analyses des pigments phytoplanctoniques

Afin de réaliser les analyses pigmentaires, un litre d'eau a été collecté et préfiltré à travers un filet-écran de 200 µm afin d'isoler le phytoplancton du mésozooplancton. Les échantillons d'eau ont ensuite été filtrés sur un filtre Whatman GF/F de 25 mm. Les filtres ont été stockés au surgélateur dans du papier aluminium jusqu'à analyse par Chromatographie Liquide à Haute Performance (HPLC). Dans le cadre particulier de la crise liée au Covid-19, les dosages des pigments ont été réalisés par le Dr Goffart. Avant que l'accès aux locaux de l'université soit interdit, j'avais commencé à travailler sur les dosages à l'HPLC de l'année 2019 et 2020.

### 3.3.1. Chémotaxonomie

La chémotaxonomie permet d'identifier et de classer les organismes du phytoplancton sur base de différences et similitudes par rapport aux molécules biochimiques caractéristiques qu'ils contiennent (Sieburth et al., 1978 ; Jeffrey et al. 1997 ; Lamper, 2014). Souvent, ces molécules biochimiques sont des pigments (chlorophylles, caroténoïdes et xanthophylles) (Lampert, 2014). Les organismes phytoplanctoniques sont rassemblés en grands groupes fonctionnels relativement homogènes au point de vue pigmentaire (Jeffrey et al., 1997; Lamper, 2014 ). L'extraction des échantillons pour analyse pigmentaire débute par sonication dans du méthanol (Jeffrey et al., 1997). Les extraits pigmentaires sont ensuite séparés et quantifiés, indépendamment des classes de taille du phytoplancton, par HPLC selon la technique de Zapata et al. (2000). Le logiciel Empower® de Waters permet de traiter les données délivrées par HPLC. Le niveau d'information ainsi obtenu est suffisant pour satisfaire les exigences de la DCE.

### 3.3.2. Pigments et groupes du phytoplancton

Les pigments diagnostiques sont utilisés pour reconnaître les groupes fonctionnels du phytoplancton. Certains pigments sont communs à plusieurs groupes tandis que d'autres sont retrouvés dans un seul groupe (Nunes et al., 2018) (tableau 2). Le manque de pigment diagnostique spécifique pour chaque groupe rend difficile l'estimation de l'abondance de chacun des groupes (Nunes et al., 2018). Les pigments chlorophylliens et caroténoïdes sont couramment utilisés afin d'étudier l'évolution de la biomasse phytoplanctonique et l'évolution de l'enchaînement des communautés du phytoplancton (Lamper, 2014). La Chl a est présente dans tous les groupes du phytoplancton à l'exception des prochlorophytes pour lesquels la Chl a est remplacée par le divinyl-Chl a. Ainsi, la mesure de la Chl a et de la divinyl-Chl a permet d'estimer la biomasse totale du phytoplancton (Tchl a) (Roy et al. 2012). Les caroténoïdes varient d'un groupe phytoplanctonique à l'autre (tableau 1). Ces pigments permettent d'identifier les groupes et de quantifier leurs concentrations. Chaque région marine est spécifique quant aux groupes phytoplanctoniques qu'elle contient et quant au rapport entre les pigments diagnostiques et la Chl a (*e.g.* Jeffrey et al., 1997 ; Roy et al., 2012). Dès lors, il est important de définir les groupes présents in situ et d'étudier leurs compositions pigmentaires afin de faire les bonnes associations pigment(s)-groupe(s) (Mackey et al., 1997).

Tableau 2. Correspondance taxonomique entre les pigments et les groupes phytoplanctoniques marins. (Roy et al., 2012; synthèse réalisée par Goffart, 2019)

	<u>Pigments</u>	<u>Groupes du phytoplancton</u>	<u>Références</u>
Chlorophylles	Chl a	Phytoplancton autotrophe à l'exception des prochlorophytes	Roy et al., 2012
	Divinyl-Chl a	Prochlorophytes	
	Chl a + divinyl-Chl a ou Chl a Totale (Tchl a)	Biomasse autotrophe totale	
Caroténoïdes	Alloxanthine	Cryptophycées	Jeffrey et al., 1997 ; Vidussi et al., 2000
	Butanoylfucoxanthine	Pélagophycées	Latasa et al., 2010
	Cis-néoxanthine	Prasinophycées Chlorophycées	Jeffrey et al., 1997 ; Latasa et al., 2010
	Fucoxanthine	Diatomées Prymnésiophycées (haptophycées) Silicoflagelés (dictyophycées) Pélagophycées	Claustre 1994; Bustillos-Guzman et al. 1995 ; Roy et al., 2012
	Péridinine	Dinoflagellés photosynthétiques	Jeffrey et al., 1997 ; Roy et al., 2012
	Prasinoxanthine	Prasinophycées	Jeffrey et al., 1997 ; Latasa et al., 2010
	Zéaxanthine	Cyanobactéries	Guillard et al. 1985; Vidussi et al. 2000

### 3.3.3. CHEMTAX

CHEMical TAXonomy (CHEMTAX) est un programme développé par Mackey et al. (1996) basé sur la chimotaxonomie phytoplanctonique. CHEMTAX permet de calculer la concentration de la biomasse de communautés du phytoplancton à partir des mesures de concentrations pigmentaires obtenues par HPLC et de la composition des communautés du phytoplancton de la zone d'étude ainsi que de leur rapport pigment diagnostique-chlorophylle (Mackey et al., 1996, 1977 ; Whright et al., 1996 ; Sebastia & Rodilla, 2011 ; Roy et al., 2012 ; Lamper, 2014). Le programme utilise une matrice initiale de rapports pigment-chl a pour tous les groupes phytoplanctoniques envisagés et optimise la matrice des rapports pour déduire la fraction de Chl a comptabilisée par chaque groupe du phytoplancton (Numes et al., 2018). Les concentrations des différents groupes sont exprimées en équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

### 3.3.4. Indices phytoplanctoniques

L'indice de composition du phytoplancton ICPP Méditerranéen (Goffart 2019) a été appliqué. Les quatre pigments retenus pour construire l'indice de composition ICPP Méditerranéen sont ceux qui répondent positivement aux proxys de pression : la péridinine, la fucoxanthine, la prasinoxanthine et l'alloxanthine. En Méditerranée, ces pigments diagnostiques identifient respectivement les dinoflagellés photosynthétiques, les diatomées, les

prasinophycées et les cryptophycées. Ainsi, l'indice de composition ICPP Médit est constitué de quatre sous-indices. Chaque sous-indice est associé à un pigment diagnostique qui répond aux pressions et dont la concentration est proportionnelle à la biomasse du groupe dont il est le traceur. Pour chaque sous-indice, une courbe de référence est établie. Les courbes de références utilisées dans le cadre de ce travail ont été fournies par le Dr Goffart. Les mesures acquises dans les sites ou les masses d'eau à évaluer sont positionnées sur les courbes de référence, puis la fréquence et l'importance des écarts éventuels sont mesurées. Les métriques sont ensuite transformées en *Ecological Quality Ratios* (EQR) selon les procédures décrites par Soudant & Belin (2009) pour la biomasse et Goffart (2019) pour la composition. Il en résulte une qualité variant entre 0 (mauvais état) et 1 (très bon état). Le seuil de 0,7, correspondant à un état écologique des masses d'eau « bon », est défini. Les zones avec un score ICPP Médit inférieur au seuil requièrent la mise en place de politiques de gestion afin d'améliorer la qualité des eaux. Les résultats obtenus aux zones étudiées sont ensuite comparés à la grille de qualité établie pour la Méditerranée.

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

Figure 11. Grille de qualité pour les indices et sous-indices ICPP Médit.

## 4. Résultats

### 4.1. Biomasse totale du phytoplancton

#### 4.1.1. Baie de Calvi 2013

Évolution temporelle de la biomasse durant la **période non touristique** (de janvier à fin mars et de novembre à fin décembre) :

À la station référence Calvi (figure 12), durant le mois de janvier et jusqu'à la fin du mois de mars la concentration de la biomasse augmente. À partir du mois de novembre, la concentration augmente à nouveau. Durant la période non touristique, la concentration moyenne est de  $380 \pm 269$  (figure 15).

À la station mouillage Calvi (figure 12), de janvier à février la concentration de la biomasse augmente. À partir du mois de novembre, la concentration augmente à nouveau. Durant la période non touristique, la concentration moyenne est de  $397 \pm 233$  (figure 15).

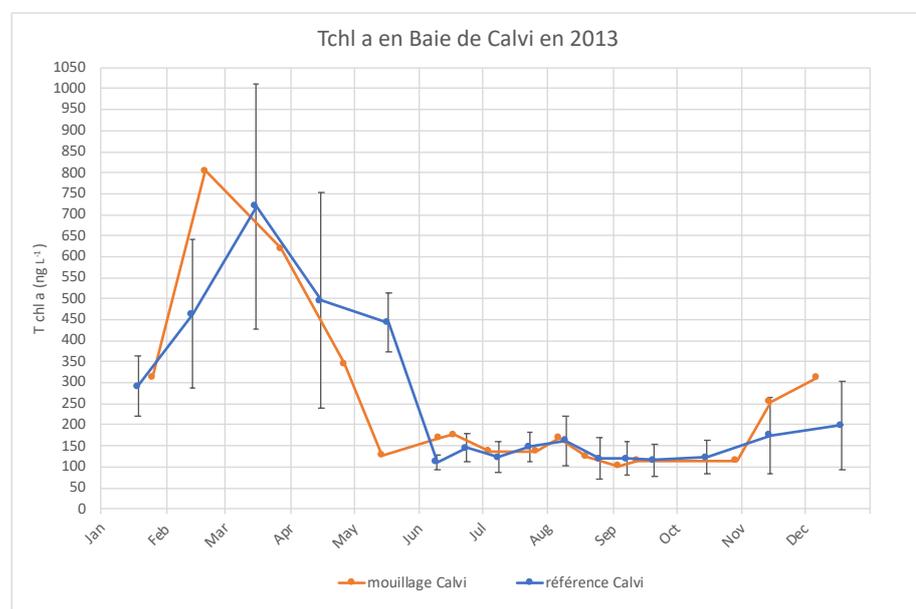


Figure 12. Évolution spatio-temporelle de la biomasse du phytoplancton.

Évolution temporelle de la biomasse durant la **période touristique** (du 1<sup>er</sup> avril au 31 octobre) :

À la station référence Calvi (figure 12), entre avril et mai, la concentration diminue. Entre le mois de juin et le mois d'octobre, la concentration reste stable. Durant cette période, la concentration moyenne est de  $177 \pm 151$  ng Tchl a L<sup>-1</sup> (figure 15).

À la station mouillage Calvi (figure 12), entre le mois d'avril et le mois de mai, la concentration de la biomasse diminue. Entre le mois de juin et le mois d'octobre, la concentration de la biomasse reste stable. Durant cette période, la concentration moyenne est de  $138 \pm 27$  ng Tchl a L<sup>-1</sup> (figure 15).

#### 4.1.2. Baie de Calvi 2014

Évolution temporelle de la biomasse durant la **période non touristique** (de janvier à fin mars et de novembre à fin décembre) :

À la station référence Calvi (figure 13), entre le mois de janvier et le mois de mars, la concentration de la biomasse totale augmente. Durant cette période, la concentration moyenne est de  $237 \pm 126$  ng Tchl a L<sup>-1</sup> (figure 15).

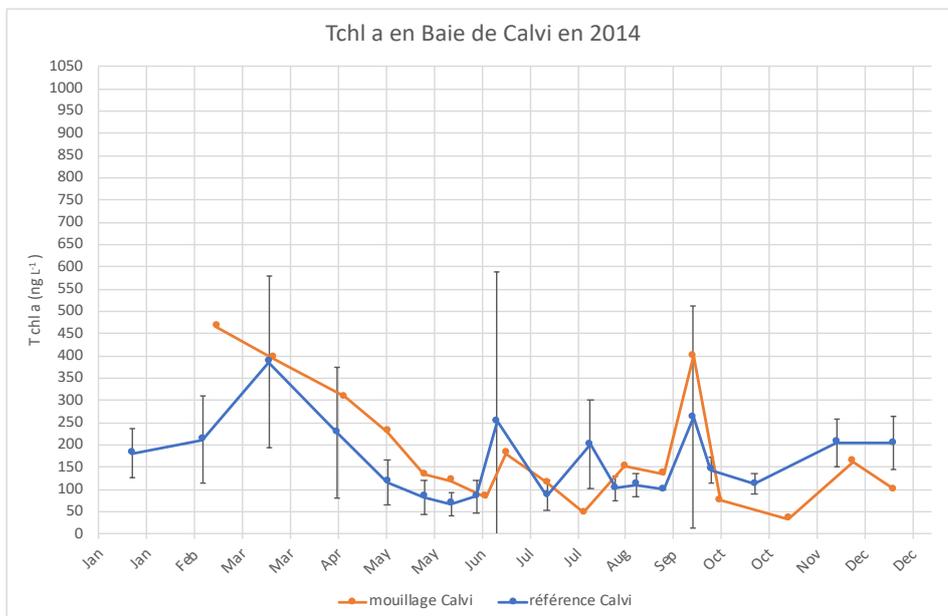


Figure 13. Évolution spatio-temporelle de la biomasse du phytoplancton.

À la station mouillage Calvi (figure 13), entre le mois de janvier et le mois d'avril, la concentration de la biomasse diminue. À partir de novembre, la concentration de la biomasse augmente légèrement pour ensuite diminuer en décembre. Durant cette période, la concentration moyenne est de  $280 \pm 177$  ng Tchl a L<sup>-1</sup> (figure 15).

Évolution temporelle de la biomasse durant la **période touristique** (du 1<sup>er</sup> avril au 31 octobre) :

À la station référence Calvi (figure 13), à partir du mois d'avril jusqu'au mois de mai, la concentration de la biomasse diminue. Entre le mois de juin et le mois de novembre, la concentration de la biomasse est variable. Durant cette période, la concentration moyenne est de  $142 \pm 128$  ng Tchl a L<sup>-1</sup> (figure 15).

À la station mouillage Calvi (figure 13), d'avril à mai, la concentration de la biomasse diminue. Entre le mois de juin et le mois de novembre, la concentration de la biomasse est variable. Durant cette période, la concentration moyenne est de  $155 \pm 105$  ng Tchl a L<sup>-1</sup> (figure 15).

#### 4.1.3. Côte nord-est de la Corse en 2017

Évolution temporelle de la biomasse durant la **période non touristique** (de janvier à fin mars et de novembre à fin décembre) :

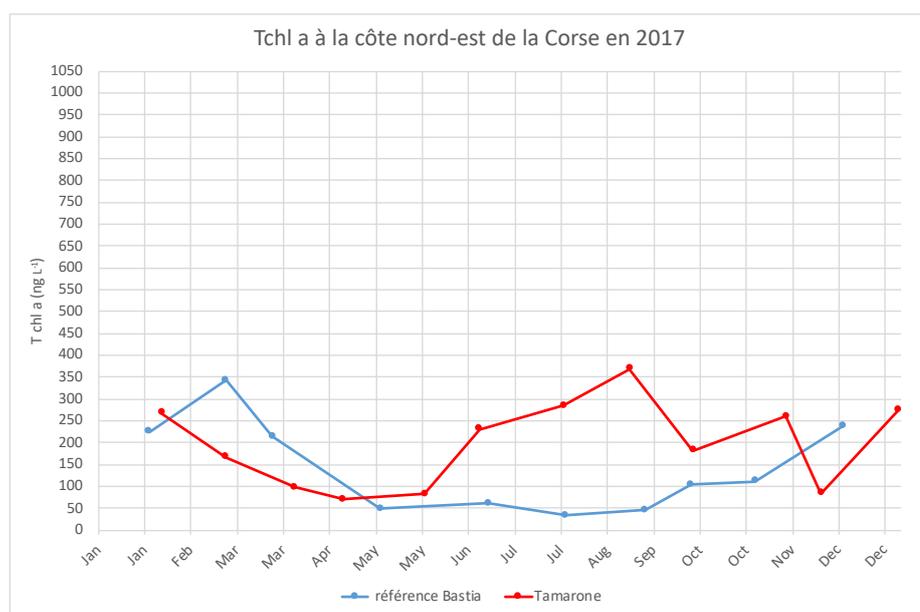


Figure 14. Évolution spatio-temporelle de la biomasse du phytoplancton.

À la station référence Bastia (figure 14), entre le mois de janvier et de février, la concentration de la biomasse augmente. Pendant le mois de mars, la concentration diminue. À partir du mois de novembre et jusqu'à la fin de l'année, la concentration augmente à nouveau. Durant cette période, la concentration moyenne est de  $255 \pm 59$  ng Tchl a L<sup>-1</sup> (figure 15).

À la station Tamarone (figure 14), du mois de janvier jusqu'à la fin du mois de mars, la concentration de la biomasse diminue. Et durant le mois de novembre, la concentration de la biomasse diminue avant d'augmenter pendant le mois de décembre. Durant cette période, la concentration moyenne est de  $210 \pm 84$  ng Tchl a L<sup>-1</sup> (figure 15).

Évolution temporelle de la biomasse durant la **période touristique** (du 1<sup>er</sup> avril au 31 octobre) :

À la station sud de Bastia (figure 14), à partir du mois d'avril et jusqu'au mois de mai, la concentration de la biomasse diminue. Du mois de juin jusqu'au mois d'août, la concentration reste stable. Au cours de cette période, la concentration moyenne est de  $67 \pm 32$  ng Tchl a L<sup>-1</sup>. À partir du mois de septembre et jusqu'au mois d'octobre, la concentration de la biomasse augmente à nouveau. Durant cette période, la concentration moyenne est de  $67 \pm 32$  ng Tchl a L<sup>-1</sup> (figure 15).

À la station Tamarone (figure 14), entre le mois d'avril et le mois de mai, la concentration de la biomasse est stable. Pendant ces 2 mois, la concentration moyenne est de  $82 \pm 13$  ng Tchl a L<sup>-1</sup>. À partir du mois de juin et jusqu'au mois d'août, la concentration de la biomasse augmente. Un pic est atteint au courant du mois d'août avec une concentration de 368 ng Tchl a L<sup>-1</sup>. Durant le mois de septembre, la concentration de la biomasse diminue avant d'augmenter à nouveau au cours du mois d'octobre. Durant cette période, la concentration moyenne est de  $229 \pm 108$  ng Tchl a L<sup>-1</sup> (figure 15).

## 4.2. Les communautés phytoplanctoniques

### 4.2.1. Description des groupes dominants et mineurs du phytoplancton

#### 4.2.1.1. Baie de Calvi 2013

Évolution temporelle de la composition des communautés du phytoplancton durant la **période non touristique** (de janvier à fin mars et de novembre à fin décembre)(figure 16) :

À la station référence Calvi, les groupes dominants du phytoplancton sont les diatomées (avec une concentration moyenne sur la période de  $108 \pm 133$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les prymnésiphytes ( $78 \pm 52$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les prasinophytes ( $72 \pm 58$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>) et les *Synechococcus* ( $46 \pm 40$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>).

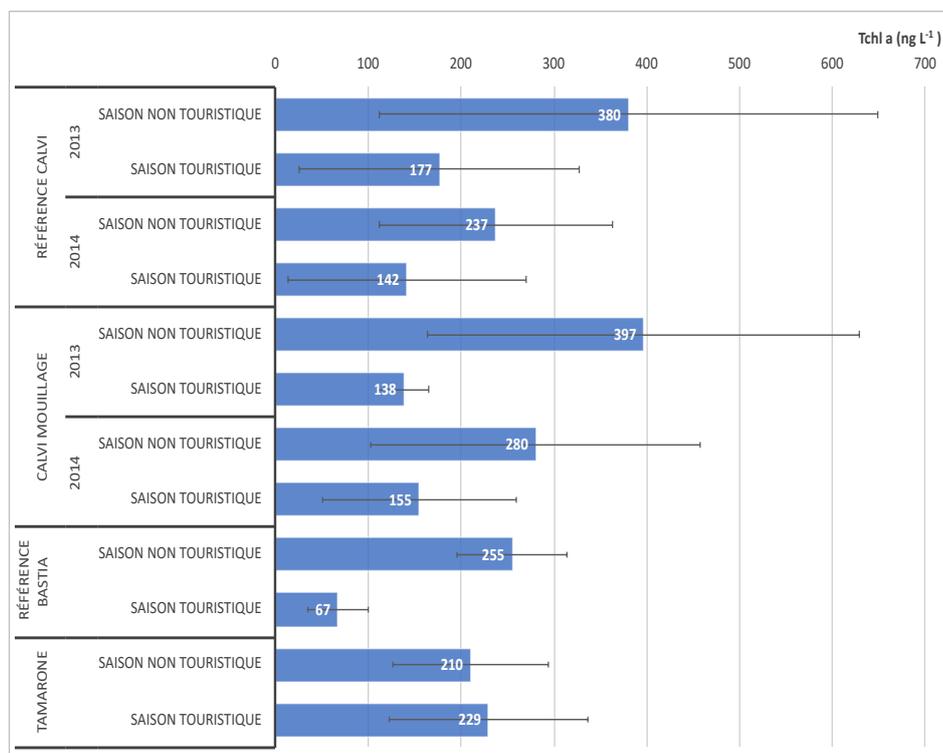


Figure 15. Concentrations moyennes de la biomasse par station et par période.

Les groupes mineurs du phytoplancton sont les dinoflagellés ( $20 \pm 55$  ng équivalent Chl a  $L^{-1}$ ), les cryptophycées ( $18 \pm 27$  ng équivalent Chl a  $L^{-1}$ ), les pélagophycées ( $20 \pm 14$  ng équivalent Chl a  $L^{-1}$ ) et les *Prochlorococcus* ( $17 \pm 14$  ng équivalent Chl a  $L^{-1}$ ).

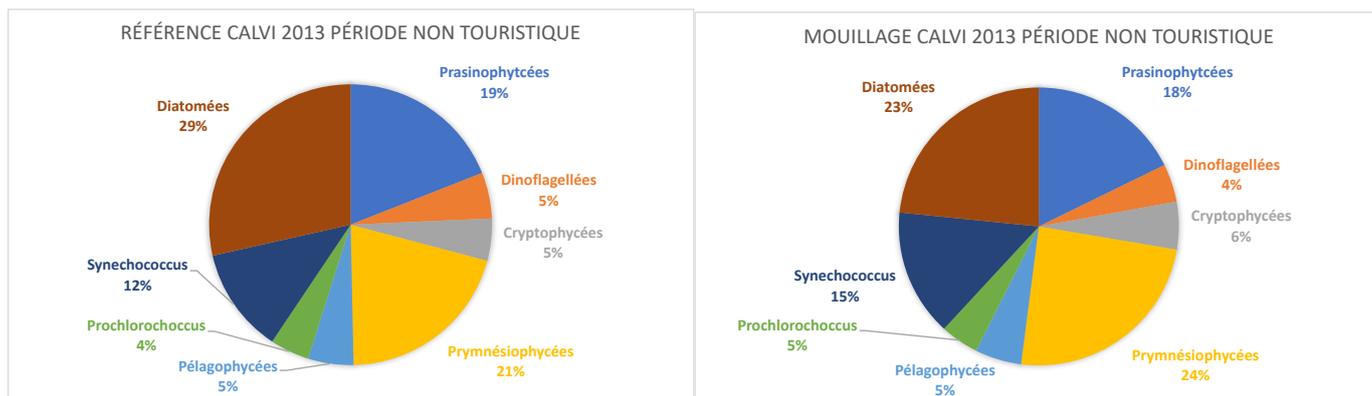


Figure 16. Proportions des groupes fonctionnels en période non touristique en baie de Calvi en 2013

À la station mouillage Calvi, les groupes dominants du phytoplancton sont les prymnésiofycées ( $112 \pm 60$  ng équivalent Chl a  $L^{-1}$ ), les diatomées ( $108 \pm 158$  ng équivalent Chl a  $L^{-1}$ ), les prasinophycées ( $82 \pm 73$  ng équivalent Chl a  $L^{-1}$ ) et les *Synechococcus* ( $68 \pm 49$  ng équivalent Chl a  $L^{-1}$ ).

Les groupes mineurs du phytoplancton sont les cryptophycées ( $26 \pm 26$  ng équivalent Chl a  $L^{-1}$ ), les pélagophycées ( $25 \pm 5$  ng équivalent Chl a  $L^{-1}$ ), les *Prochlorococcus* ( $20 \pm 16$  ng équivalent Chl a  $L^{-1}$ ) et les dinoflagellés ( $20 \pm 33$  ng équivalent Chl a  $L^{-1}$ ).

Évolution temporelle de la composition des communautés du phytoplancton durant la **période touristique** (du 1<sup>er</sup> avril au 31 octobre) (figure 17) :

À la station référence Calvi, les groupes dominants du phytoplancton sont les Prymnésiophycées ( $63 \pm 50$  ng équivalent Chl a  $L^{-1}$ ), les *Synechococcus* ( $44 \pm 29$  ng équivalent Chl a  $L^{-1}$ ), les prasinophycées ( $57 \pm 31$  ng équivalent Chl a  $L^{-1}$ ) et les diatomées ( $34 \pm 18$  ng équivalent Chl a  $L^{-1}$ ).

Les groupes mineurs du phytoplancton sont les pélagophycées ( $10 \pm 10$  ng équivalent Chl a  $L^{-1}$ ), les cryptophycées ( $5 \pm 10$  ng équivalent Chl a  $L^{-1}$ ), les *Prochlorococcus* ( $4 \pm 6$  ng équivalent Chl a  $L^{-1}$ ) et les dinoflagellés ( $2 \pm 5$  ng équivalent Chl a  $L^{-1}$ ).

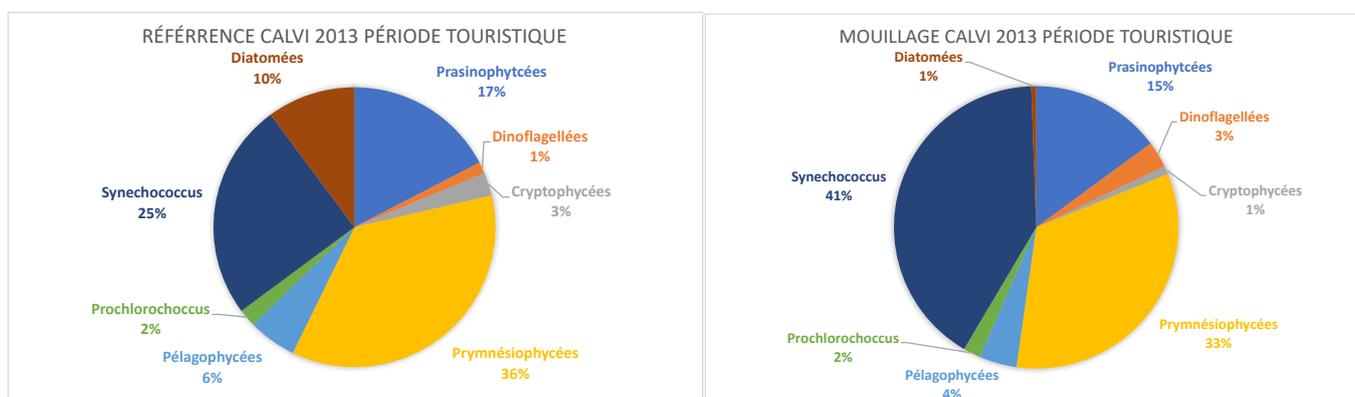


Figure 17. Proportions des groupes fonctionnels en période touristique en baie de Calvi en 2013

À la station mouillage Calvi, les groupes dominants du phytoplancton sont les *Synechococcus* ( $64 \pm 27$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les prymnésiofycées ( $52 \pm 54$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>) et les prasinophycées ( $23 \pm 14$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>).

Les groupes mineurs du phytoplancton sont les pélagophycées ( $7 \pm 9$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les dinoflagellés ( $5 \pm 8$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les *Prochlorococcus* ( $3 \pm 4$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>) et les diatomées ( $1 \pm 1$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>).

#### 4.2.1.2. Baie de Calvi 2014

Évolution temporelle de la composition des communautés du phytoplancton durant la **période non touristique** (de janvier à fin mars et de novembre à fin décembre) (figure 18) :

À la station référence Calvi, les groupes dominants du phytoplancton sont les prymnésiofycées ( $109 \pm 70$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les *Synechococcus* ( $38 \pm 24$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>) et les prasinophycées ( $31 \pm 23$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>).

Les groupes mineurs du phytoplancton sont les diatomées ( $22 \pm 24$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les *Prochlorococcus* ( $19 \pm 9$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les pélagophycées ( $15 \pm 8$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les cryptophycées ( $8 \pm 10$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>) et les dinoflagellés ( $3 \pm 3$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>).

À la station mouillage Calvi, les groupes dominants du phytoplancton sont les prymnésiofycées ( $112 \pm 70$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les *Synechococcus* ( $59 \pm 45$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>) et les prasinophycées ( $36 \pm 50$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>).

Les groupes mineurs du phytoplancton sont les *Prochlorococcus* ( $24 \pm 17$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les diatomées ( $18 \pm 30$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les pélagophycées ( $13 \pm 6$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les cryptophycées ( $13 \pm 17$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>) et les dinoflagellés ( $5 \pm 6$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>).

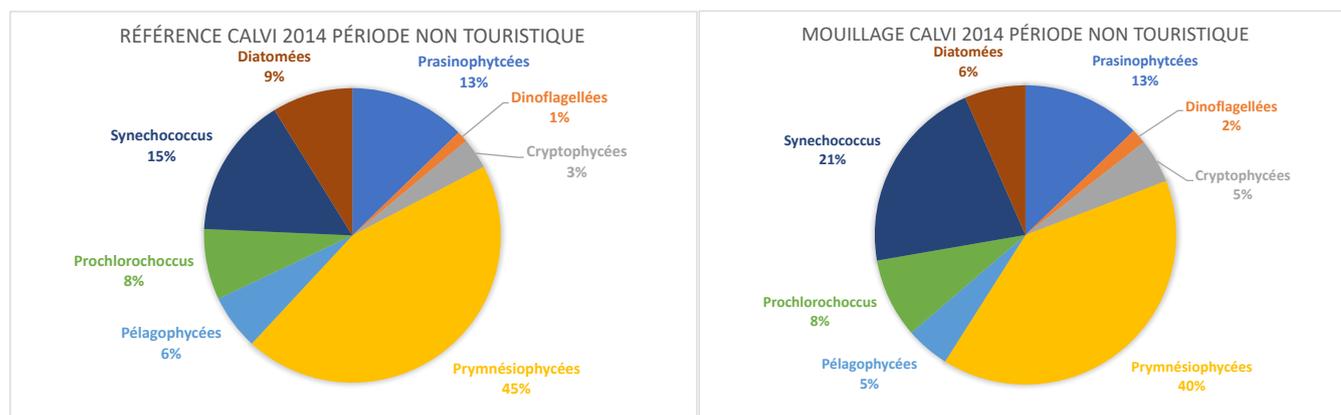


Figure 18. Proportions des groupes fonctionnels en période non touristique en baie de Calvi en 2014

Évolution temporelle de la composition des communautés du phytoplancton durant la **période touristique** (du 1<sup>er</sup> avril au 31 octobre)(figure 19) :

À la station référence Calvi, les groupes dominants du phytoplancton sont les prymnésiofycées ( $53 \pm 47$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les *Synechococcus* ( $35 \pm 21$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>) et les prasinophycées ( $24 \pm 71$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>).

Les groupes mineurs du phytoplancton sont les pélagophycées ( $7 \pm 6$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les *Prochlorococcus* ( $2 \pm 3$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les cryptophycées ( $2 \pm 3$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>) et les dinoflagellés ( $1 \pm 3$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>).

À la station mouillage Calvi, les groupes dominants du phytoplancton sont les *Synechococcus* ( $50 \pm 35$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les prymnésiofycées ( $46 \pm 44$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les diatomées ( $23 \pm 55$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>) et les prasinophycées ( $14 \pm 8$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>).

Les groupes mineurs du phytoplancton sont les pélagophycées ( $6 \pm 7$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les dinoflagellés ( $5 \pm 9$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les cryptophycées ( $2 \pm 4$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>) et les *Prochlorococcus* ( $3 \pm 2$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>).

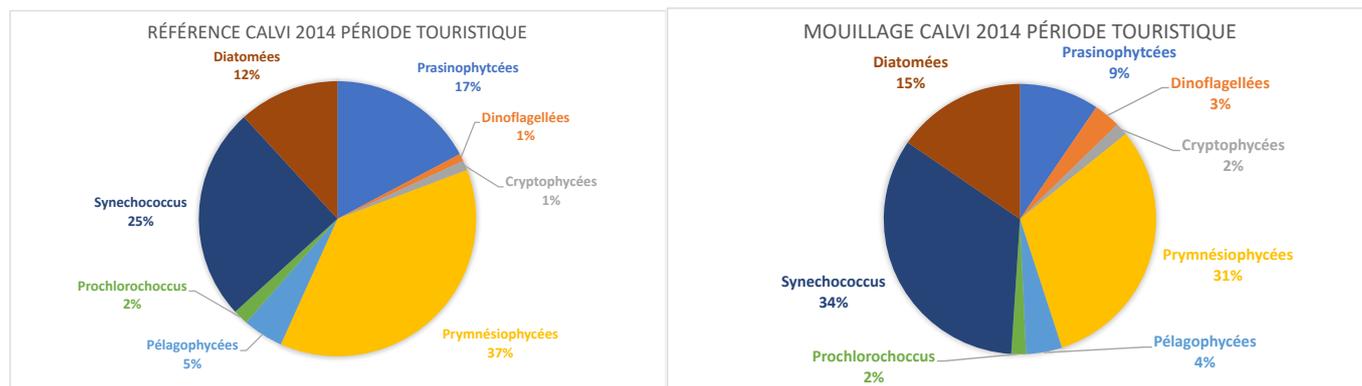


Figure 19. Proportions des groupes fonctionnels en période touristique en Baie de Calvi en 2014

#### 4.2.1.3. Côte nord-est de la Corse en 2017

Évolution temporelle de la composition des communautés du phytoplancton durant la **période non touristique** (de janvier à fin mars et de novembre à fin décembre) (figure 20) :

À la station de référence Bastia, les groupes dominants du phytoplancton sont les prymnésiofycées ( $110 \pm 52$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>) et les *Synechococcus* ( $52 \pm 40$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>).

Les groupes mineurs du phytoplancton sont les prasinophycées ( $22 \pm 10$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les *Prochlorococcus* ( $22 \pm 12$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les pélagophycées ( $15 \pm 8$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les diatomées ( $12 \pm 11$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les cryptophycées ( $13 \pm 4$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>) et les dinoflagellés ( $8 \pm 9$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>).

À la station Tamarone, les groupes dominants du phytoplancton sont les *Synechococcus* ( $58 \pm 33$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les prymnésiofycées ( $38 \pm 39$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les diatomées ( $33 \pm 27$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>) et les prasinophycées ( $8 \pm 8$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>).

Les groupes mineurs du phytoplancton sont les *Prochlorococcus* ( $16 \pm 10$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les pélagophycées ( $7 \pm 7$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les dinoflagellés ( $8 \pm 18$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>) et les cryptophycées ( $8 \pm 8$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>).

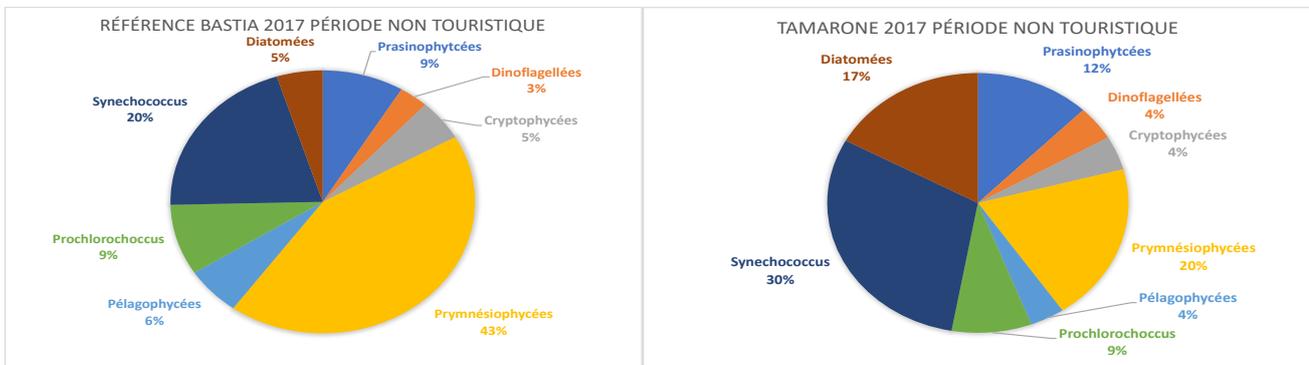


Figure 20. Proportions des groupes fonctionnels en période non touristique sur la côte nord-est en 2017

Évolution temporelle de la composition des communautés du phytoplancton durant la **période touristique** (du 1<sup>er</sup> avril au 31 octobre) (figure 21) :

À la station de référence Bastia, les groupes dominants du phytoplancton sont les *Synechococcus* ( $26 \pm 12$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>) et les prymnésiofycées ( $25 \pm 12$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>).

Les groupes mineurs du phytoplancton sont les prasinophycées ( $6 \pm 3$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les *Prochlorococcus* ( $5 \pm 7$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les pélagophycées ( $2 \pm 2$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les diatomées ( $1 \pm 1$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les dinoflagellés ( $1 \pm 2$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>) et les cryptophycées ( $0$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>).

À la station Tamarone, les groupes dominants du phytoplancton sont les *Synechococcus* ( $89 \pm 59$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les prasinophycées ( $40 \pm 24$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les diatomées ( $36 \pm 29$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>) et les dinoflagellés ( $23 \pm 34$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>).

Les groupes mineurs du phytoplancton sont les prymnésiofycées ( $7 \pm 6$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les cryptophycées ( $4 \pm 3$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>), les pélagophycées ( $2 \pm 2$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>) et les *Prochlorococcus* ( $1 \pm 4$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>).

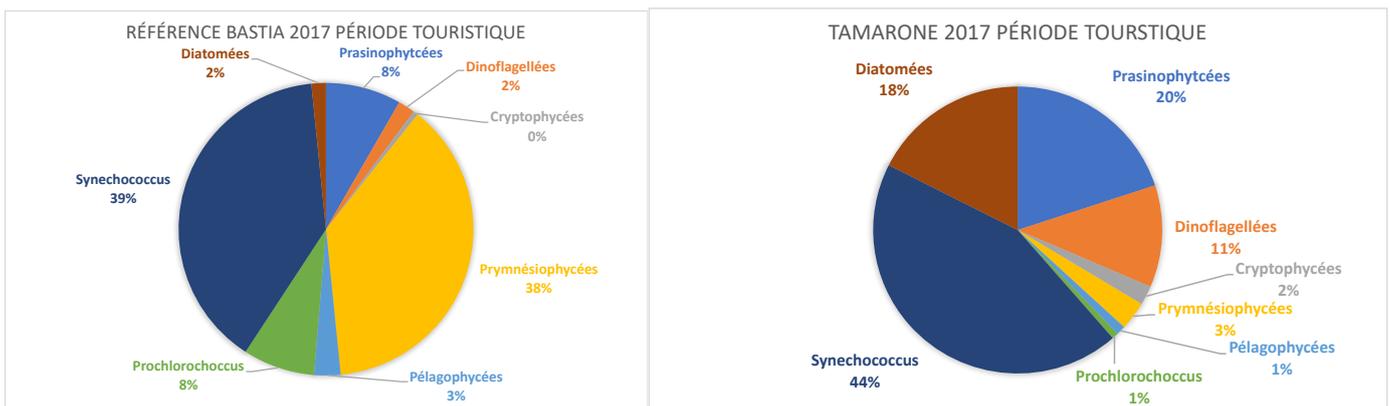


Figure 21. Proportions des groupes fonctionnels en période touristique sur la côte nord-est en 2017

#### 4.2.2. Description de l'évolution temporelle de la biomasse des grands groupes fonctionnels

##### 4.2.2.1. Baie de Calvi 2013

Évolution temporelle de la composition des communautés du phytoplancton durant la **période non touristique** (de janvier à fin mars et de novembre à fin décembre) (tableau 3 et figure 22) :

##### Diatomées

À la station référence Calvi, les diatomées voient leur concentration augmenter à partir de janvier et jusqu'à mars. De novembre à décembre, leur concentration reste stable, au cours de cette période, la concentration moyenne est de  $14 \pm 5$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

À la station mouillage Calvi, entre janvier et février, la concentration de diatomées augmente. Au cours du mois de mars, la concentration de ce groupe diminue. En novembre et décembre, leur concentration reste stable et est d'environ  $3 \pm 5$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

#### Dinoflagellés

À la station référence Calvi, de janvier jusqu'à mars, la concentration de ce groupe augmente. En novembre et décembre, leur concentration reste stable, et est en moyenne de  $1,1 \pm 0,6$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

À la station mouillage Calvi, en janvier et février, la concentration des dinoflagellés augmente. En mars, la concentration de ce groupe diminue. En novembre et décembre, la concentration de ce groupe du phytoplancton reste stable et nulle.

#### Cryptophycées

À la station référence Calvi, de janvier jusqu'à mars, la concentration de ce groupe augmente. En novembre et décembre, la concentration reste stable, et est en moyenne de  $2 \pm 1,4$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

À la station mouillage Calvi, entre janvier et février, la concentration de ce groupe du phytoplancton augmente. En novembre et décembre, la concentration de ce groupe est stable, et en moyenne de  $3 \pm 5$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

#### Pélagophycées

À la station référence Calvi, entre janvier et mars, leur concentration augmente. Au cours des mois de novembre et de décembre, la concentration de ce groupe du phytoplancton augmente.

À la station mouillage Calvi, de janvier à mars, la concentration de ce groupe du phytoplancton augmente. De novembre à décembre, la concentration augmente également.

#### Synechococcus

À la station référence Calvi, de janvier à mars, leur concentration augmente. De novembre à décembre, leur concentration est stable, et est en moyenne de  $27 \pm 3$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

À la station mouillage Calvi, de janvier à mars, la concentration des *Synechococcus* augmente. Pendant les mois de novembre et de décembre, la concentration de ce groupe reste stable, et est en moyenne de  $51 \pm 5$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

#### Prasinophycées

À la station référence Calvi, de janvier à mars, leur concentration augmente. De novembre jusqu'à décembre, la concentration de ce groupe reste stable et est, en moyenne, de  $21 \pm 1$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

À la station mouillage Calvi, entre janvier et février, leur concentration augmente. Au cours du mois de mars, la concentration de ce groupe diminue. De novembre à décembre, leur concentration reste stable et est de  $9 \pm 12$  ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup> en moyenne.

#### Prymnésiophycées

À la station référence Calvi, de janvier à février, la concentration des prymnésiphytes diminue. Au mois de mars, leur concentration augmente. De novembre à décembre, leur concentration augmente également.

À la station mouillage Calvi, de janvier à mars, la concentration de ce groupe diminue. De novembre à décembre, leur concentration augmente.

### Prochlorococcus

À la station référence Calvi, à partir du mois de janvier et jusqu'à la fin du mois de mars, la concentration des *Prochlorococcus* diminue. Depuis le mois de novembre et jusqu'au mois de décembre, la concentration de ce groupe du phytoplancton augmente.

À la station mouillage Calvi, de janvier à mars, la concentration du groupe phytoplanctonique diminue. De novembre à décembre, la concentration de ce groupe augmente.

Tableau 3. Distribution spatio-temporelle de la survenue des blooms pour les différents groupes du phytoplancton. Pour chaque groupe, la concentration de la biomasse (ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>) ainsi que le mois du bloom sont donnés. "-" signifie que le bloom n'est pas détectable avec les données disponibles. À la station mouillage Calvi, en 2013, le bloom des prymnésiphytes survient en dehors de la période non touristique.

		Diatomées	Dinoflagellés	Cryptophycées	Pélagophycées	Synechococcus	Prasinophycées	Prymnesiophycées	Prochlorococcus	
Période non touristique	référence Calvi	2013	251 ± 140 ; mars	72 ± 103 ; mars	46 ± 41 ; mars	30 ± 19 ; mars	105 ± 47 ; mars	-	-	
		2014	43 ± 32 ; mars	-	18 ± 18 ; mars	20 ± 11 ; mars	67 ± 13 ; mars	51 ± 19 ; février	172 ± 123 ; mars	23 ± 10 ; février
	mouillage Calvi	2013	362 ; février	75 ; février	57 ; février	-	149 ; mars	174 ; février	194 ; avril	-
		2014	-	-	-	-	123 ; mars	-	207 ; mars	-
	référence Bastia		-	-	17 ; février	-	109 ; mars	35 ; mars	175 ; février	39 ; février
	Tamarone		-	-	-	-	-	-	-	27 ; février

Évolution temporelle de la composition des communautés du phytoplancton durant la **période touristique** (du 1<sup>er</sup> avril au 31 octobre) (tableau 4 et figure 22) :

### Diatomées

À la station référence Calvi, d'avril à juin, la concentration de ce groupe diminue.

À la station mouillage Calvi, en avril, leur concentration diminue.

### Dinoflagellés

À la station référence Calvi, d'avril à mai, la concentration des dinoflagellés diminue.

À la station mouillage Calvi, au mois d'avril, la concentration de ce groupe diminue. Au cours des mois de mai, juillet, août, septembre et octobre, leur concentration est stable, et en moyenne égale à 2 ± 3 ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>. Au mois de juin, la concentration augmente pour atteindre 26 ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

### Cryptophycées

À la station référence Calvi, en avril et en mai, leur concentration diminue.

À la station mouillage Calvi, au mois d'avril, leur concentration diminue.

### Pélagophycées

À la station référence Calvi, du mois d'avril jusqu'à la fin du mois de juin, la concentration de ce groupe diminue.

À la station de mouillage Calvi, depuis le mois d'avril jusqu'à la fin du mois de juin, la concentration de ce groupe diminue.

## Synechococcus

À la station référence Calvi, d'avril à mai, la concentration des *Synechococcus* diminue. De juin jusqu'à août, leur concentration augmente et à partir de septembre et jusqu'à octobre, leur concentration diminue à nouveau.

À la station mouillage Calvi, d'avril à mai, la concentration de ce groupe diminue. Durant le mois de juin, leur concentration augmente pour atteindre 126 ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>. De juillet à octobre, la concentration des *Synechococcus* diminue.

## Prasinophycées

À la station référence Calvi, en avril et en mai, la concentration de ce groupe diminue.

À la station mouillage Calvi, en avril, la concentration de ce groupe diminue. En mai, juin, juillet, septembre et octobre, la concentration de ce groupe est stable, et en moyenne de 21 ± 12 ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>. En août, la concentration du groupe augmente jusqu'à atteindre 49 ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

## Prymnesiophycées

À la station référence Calvi, d'avril à juin, la concentration de ce groupe diminue.

À la station mouillage Calvi, en avril, la concentration de ce groupe augmente. Durant le mois d'avril, le bloom est atteint, avec une concentration de 194 ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>. De mai à juin, la concentration diminue.

## Prochlorococcus

À la station référence Calvi, pendant le mois d'avril, la concentration des *Prochlorococcus* diminue. De mai à juillet, leur concentration est stable, et en moyenne de 1 ± 0,4 ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>. Enfin d'août à novembre, leur concentration augmente.

À la station mouillage Calvi, de septembre à octobre leur concentration augmente.

Tableau 4. Mois durant lesquels la concentration de la biomasse (ng équivalent Chl a L<sup>-1</sup>) des groupes du phytoplancton est constante. "-" signifie que la concentration de la biomasse varie régulièrement. "cf. Notes" indique une évolution temporelle particulière de la concentration de la biomasse qui est décrite en détail.

		Diatomées	Dinoflagellées	Cryptophycées	Pélagophycées	Synechococcus	Prasinophycées	Prymnesiophycées	Prochlorococcus	
Période touristique	référence Calvi	2013	13 ± 6 ; juillet-octobre	1 ± 2 ; juin-octobre	1 ± 2 ; juin-octobre	5 ± 1 ; juin-octobre	-	19 ± 6 ; juin-octobre	41 ± 6 ; juillet-octobre	cf. Notes
		2014	7 ± 6 ; juillet-octobre	2 ± 2 ; août-octobre	1 ± 0,7 ; mai-octobre	5 ± 1 ; juillet-octobre	-	cf. Notes	44 ± 8 ; juillet-octobre	2 ± 2 ; avril-octobre
	mouillage Calvi	2013	1 ± 2 ; mai-octobre	cf. Notes	1 ± 2 ; mai-octobre	2 ± 2 ; juillet-octobre	-	cf. Notes	28 ± 13 ; juillet-octobre	2 ± 3 ; avril-août
		2014	cf. Notes	1 ± 1 ; août-octobre	1 ± 1 ; mai-octobre	3 ± 2 ; juillet-octobre	-	14 ± 8 ; avril-octobre	25 ± 11 ; juillet-octobre	3 ± 2 ; avril-octobre
	référence Bastia	1 ± 1 ; avril-octobre	1 ± 2 ; avril-octobre	0 ; avril-octobre	2 ± 2 ; avril-octobre	-	6 ± 3 ; mai-octobre	-	-	
	Tamarone	cf. Notes	cf. Notes	6 ± 1 ; juin-octobre	2 ± 2 ; avril-octobre	-	cf. Notes	7 ± 6 ; avril-octobre	-	

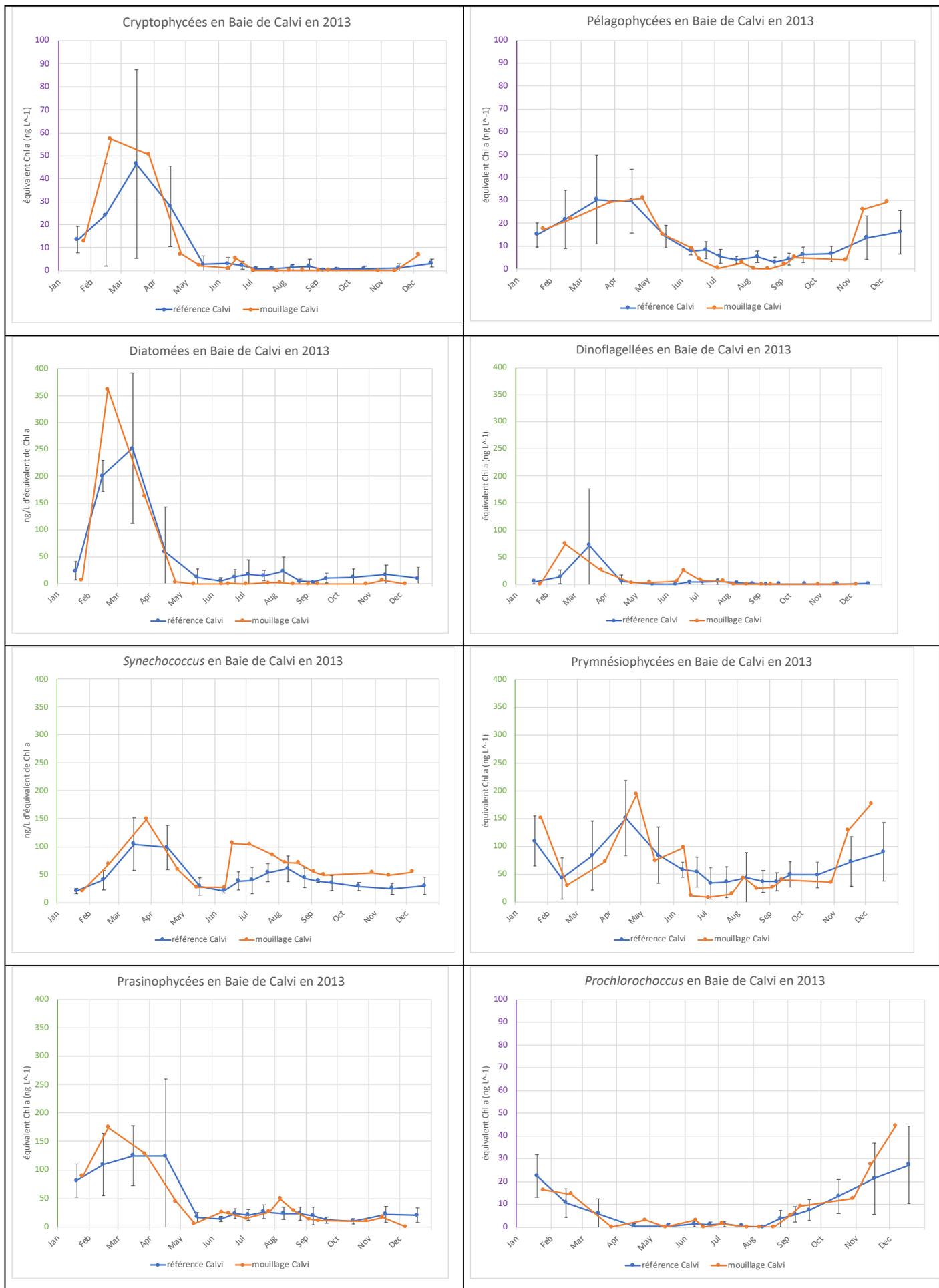


Figure 22. Évolution temporelle de la concentration de la biomasse des grands groupes fonctionnels en baie de Calvi en 2013. Les graphiques sont présentés dans l'ordre de la survenue du bloom à la station de référence. L'échelle de l'axe des ordonnées change d'un graphique à l'autre.

#### 4.2.2.2. Baie de Calvi 2014

Évolution temporelle de la composition des communautés du phytoplancton durant la **période non touristique** (du 1er novembre au 31 mars de l'année suivante)(tableau 3 et figure 23) :

##### Diatomées

À la station de référence Calvi, du mois de janvier jusqu'au mois de mars, la concentration de diatomées augmente. De novembre à décembre, la concentration de ce groupe est stable, et est en moyenne égale à  $10 \pm 2$  ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

À la station mouillage Calvi, du mois de février jusqu'au mois de mars, la concentration de ce groupe diminue. De novembre à décembre, la concentration est stable, et en moyenne de  $6 \pm 7$  ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

##### Dinoflagellés

À la station de référence Calvi, du mois de janvier jusqu'au mois de mars, la concentration de ce groupe du phytoplancton est stable, et en moyenne égale à  $3 \pm 2$  ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>. De novembre à décembre, la concentration est stable et est, cette fois égale, en moyenne, à  $3 \pm 0,06$  ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

Station mouillage Calvi, de février à mars, la concentration de ce groupe du phytoplancton diminue. De novembre à décembre, la concentration est stable, et en moyenne égale, à  $2 \pm 2$  ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

##### Cryptophycées

À la station de référence Calvi, de janvier à mars, la concentration de ce groupe du phytoplancton augmente. Au mois de novembre et de décembre, la concentration est stable, et est en moyenne égale à  $2 \pm 1$  ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

À la station mouillage Calvi, de février à mars, la concentration de ce groupe du phytoplancton diminue. De novembre à décembre, la concentration est stable, et en moyenne égale à 2 ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

##### Pélagophycées

À la station de référence Calvi, de janvier à mars, la concentration de ce groupe du phytoplancton augmente. Au mois de novembre et de décembre, la concentration augmente.

À la station mouillage Calvi, en février et en mars, la concentration est stable et est de 18 ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>. En novembre et en décembre, la concentration de ce groupe du phytoplancton augmente.

##### Synechococcus

À la station de référence Calvi, en janvier, et jusqu'au mois de mars, la concentration augmente. De novembre à décembre, la concentration de ce groupe est stable, et en moyenne, de  $40 \pm 2$  ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

À la station mouillage Calvi, de février à mars, la concentration du groupe du phytoplancton augmente. De novembre à décembre, la concentration de ce groupe est stable, et en moyenne de  $27 \pm 4$  ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

##### Prasinophycées

À la station de référence Calvi, de janvier à février, la concentration de ce groupe du phytoplancton augmente. Durant les mois de novembre et de décembre, la concentration du groupe est stable et égale à  $16 \pm 1$  ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

À la station mouillage Calvi, de février à mars, la concentration diminue. Pendant le mois de novembre est le mois de décembre, la concentration de ce groupe du phytoplancton est stable, et en moyenne égal à  $2 \pm 2$  ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

#### Prymnésiophycées

À la station de référence Calvi, du mois de janvier jusqu'au mois de mars, la concentration de ce groupe du phytoplancton augmente. De novembre à décembre, la concentration augmente à nouveau.

À la station mouillage Calvi, pendant le mois de février et le mois de mars, la concentration de ce groupe du phytoplancton augmente. De novembre à décembre, la concentration augmente à nouveau.

#### Prochlorococcus

À la station de référence Calvi, de janvier à février, la concentration de ce groupe du phytoplancton augmente. Pendant le mois de mars, la concentration de ce groupe diminue. Enfin en novembre et en décembre, la concentration augmente à nouveau.

La station mouillage Calvi, en février et en mars, la concentration de ce groupe diminue. Par contre en novembre et en décembre, elle augmente.

Évolution temporelle de la composition des communautés du phytoplancton durant la **période touristique** (du 1<sup>er</sup> avril au 31 octobre) (tableau 4 et figure 23) :

#### Diatomées

À la station de référence Calvi, en août et en septembre, la concentration augmente jusqu'à atteindre 103 ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

À la station mouillage Calvi, en avril, mai, juin et octobre, la concentration des diatomées stable est égal en moyenne à  $1 \pm 2$  ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>. Au cours des mois de juin et septembre, la concentration augmente pour atteindre 208 ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

#### Dinoflagellés

À la station de référence Calvi, du mois d'avril jusqu'au mois de juillet, la concentration des dinoflagellés est variable.

À la station mouillage Calvi, d'avril à juin, la concentration des dinoflagellés est variable avec une augmentation maximale en juin (jusqu'à 32 ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.)

#### Cryptophycées

À la station de référence Calvi, en avril, la concentration des cryptophycées diminue.

À la station mouillage Calvi, en avril, la concentration des cryptophycées diminue.

#### Pélagophycées

À la station de référence Calvi, d'avril à juin, leur concentration diminue.

À la station mouillage Calvi, d'avril à juin, la concentration des pélagophycées diminue.

#### Synechococcus

À la station de référence Calvi, leur concentration est variable d'avril à octobre.

À la station mouillage Calvi, d'avril à mai, leur concentration diminue. De juillet à octobre, leur concentration est variable avec un pic en juin à 79 ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup> et un autre en septembre à 115 ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

#### Prasinophycées

À la station de référence Calvi, en avril, mai, août, septembre et octobre, la concentration de ce groupe est stable, et en moyenne de 15 ± 7 ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>. Pendant le mois de juin, la concentration augmente pour atteindre la valeur moyenne de 116 ± 235 ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

À la station mouillage Calvi, d'avril à octobre, la concentration est stable, et en moyenne de 14 ± 8 ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

#### Prymnésiophycées

À la station de référence Calvi, d'avril à mai, leur concentration diminue.

À la station mouillage Calvi, d'avril à juin, leur concentration diminue.

#### Prochlorococcus

À la station de référence Calvi, d'avril à octobre, leur concentration est stable, et en moyenne de 2 ± 2 ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

À la station mouillage Calvi, d'avril à octobre leur concentration est stable, et en moyenne de 3 ± 2 ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

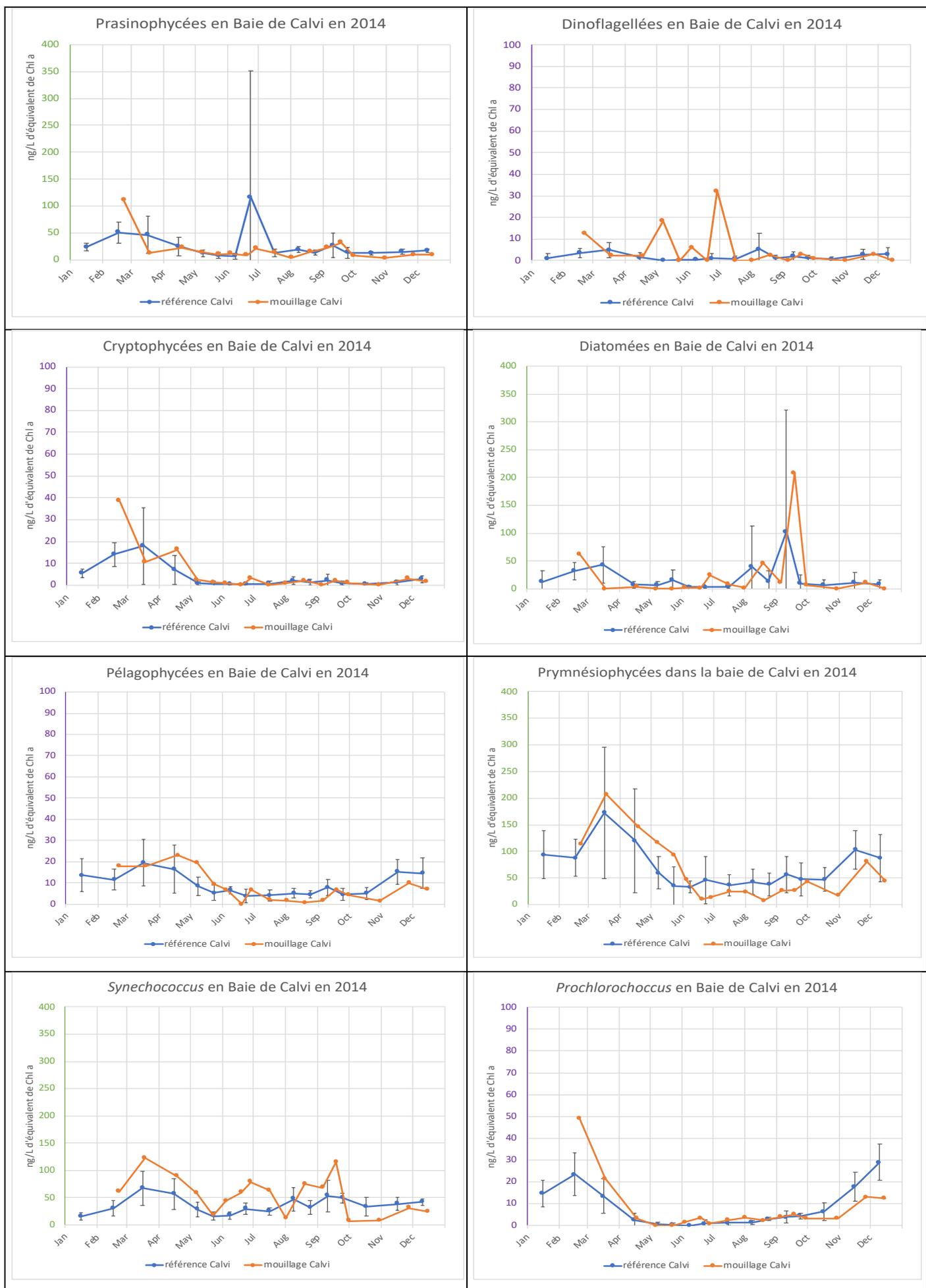


Figure 23. Évolution temporelle de la concentration de la biomasse des grands groupes fonctionnels en Baie de Calvi en 2014. Les graphiques sont présentés dans l'ordre de la survenue du bloom à la station de référence. L'échelle de l'axe des ordonnées change d'un graphique à l'autre.

#### 4.2.2.3. Côte nord-est de la Corse en 2017

Évolution temporelle de la composition des communautés du phytoplancton durant la **période non touristique** (du 1er novembre au 31 mars de l'année suivante)(tableau 3 et figure 24) :

##### Diatomées

À la station de référence Bastia, de janvier à mars, leur concentration diminue. De novembre à décembre, leur concentration augmente.

À la station Tamarone, de janvier à mars, leur concentration diminue. De novembre à décembre, leur concentration augmente.

##### Dinoflagellés

À la station de référence Bastia, leur concentration est stable de janvier à mars, et est en moyenne de  $4 \pm 0$  ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>. De novembre à décembre, leur concentration augmente.

À la station Tamarone, de janvier à mars, leur concentration est stable et nulle. De novembre à décembre, leur concentration diminue.

##### Cryptophycées

À la station de référence Bastia, de janvier à mars, ainsi que de novembre à décembre, leur concentration augmente.

À la station Tamarone, de janvier à mars, leur concentration diminue. De novembre à décembre, leur concentration augmente.

##### Pélagophycées

À la station de référence Bastia, de janvier à février, leur concentration est stable, et est en moyenne de  $20 \pm 0$  ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>. En mars, leur concentration diminue. En novembre et en décembre, leur concentration augmente.

À la station Tamarone, de janvier à mars, leur concentration diminue. De novembre à décembre, leur concentration augmente.

##### Synechococcus

À la station de référence Bastia, de janvier à mars, leur concentration augmente. De novembre à décembre, leur concentration est stable, et est de 35 ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

À la station Tamarone, de janvier à mars, leur concentration augmente. De novembre à décembre, la concentration diminue.

##### Prasinophycées

À la station de référence Bastia, de janvier à mars, leur concentration augmente. De novembre à octobre, leur concentration augmente.

À la station Tamarone, de janvier à mars, leur concentration est stable, et est en moyenne de  $20 \pm 8$  ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>. De novembre à décembre, leur concentration augmente.

##### Prymnésiophycées

À la station de référence Bastia, de janvier à février, leur concentration augmente. Pendant le mois de mars, la concentration diminue. De novembre à décembre, leur concentration augmente.

À la station Tamarone, de janvier à mars, leur concentration diminue. De novembre à décembre, leur concentration augmente.

#### Prochlorococcus

À la station de référence Bastia, de janvier à février, leur concentration augmente. Pendant le mois de mars, la concentration diminue. De novembre à décembre, leur concentration augmente.

À la station Tamarone, de janvier à février, leur concentration augmente. Au mois de mars, leur concentration diminue. De novembre à décembre, la concentration augmente.

Évolution temporelle de la composition des communautés du phytoplancton durant la **période touristique** (du 1<sup>er</sup> avril au 31 octobre) (tableau 4 et figure 24) :

#### Diatomées

À la station de référence Bastia, d'avril à octobre, leur concentration est stable, et est en moyenne de  $1 \pm 1$  ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

À la station Tamarone, d'avril à mai, leur concentration est stable, et est en moyenne de  $7 \pm 3$  ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>. De juin à juillet, leur concentration augmente avec un maximum de 81 ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>. D'août à octobre, leur concentration diminue.

#### Dinoflagellés

À la station de référence Bastia, d'avril à octobre, leur concentration est stable, et est en moyenne de  $1 \pm 2$  ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

À la station Tamarone, d'avril à mai, leur concentration est stable et nulle. De juin à juillet, la concentration augmente avec un maximum en juillet 89 ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>. En août, leur concentration diminue. De septembre à octobre, la concentration est stable avec une moyenne de  $20 \pm 1$  ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

#### Cryptophycées

À la station de référence Bastia, d'avril à octobre, leur concentration est stable, et est en moyenne nulle.

À la station Tamarone, d'avril à mai, la concentration est stable, et est nulle.

#### Pélagophycées

À la station de référence Bastia, d'avril à octobre, leur concentration est stable, et est en moyenne de  $2 \pm 2$  ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

À la station Tamarone, d'avril à octobre, leur concentration est stable, et est en moyenne de  $2 \pm 2$  ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

#### Synechococcus

À la station de référence Bastia, en avril, leur concentration diminue. De mai à octobre, leur concentration augmente.

À la station Tamarone, d'avril à octobre, leur concentration augmente avec un pic en juin (114 ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>) et août (189 ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>).

#### Prasinophycées

À la station de référence Bastia, de mai à octobre, leur concentration est stable, et est en moyenne de  $6 \pm 3$  ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

À la station Tamarone, d'avril à août, leur concentration augmente avec un maximum en août à 86 ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>. De septembre à octobre, la concentration diminue.

#### Prymnésiophycées

À la station de référence Bastia, d'avril à août, leur concentration diminue. De septembre à octobre, leur concentration augmente.

À la station Tamarone, d'avril à octobre, la concentration est stable, et est en moyenne de  $7 \pm 6$  ng d'équivalent Chl a L<sup>-1</sup>.

#### Prochlorococcus

À la station de référence Bastia, en avril, la concentration diminue. De mai à juillet, la concentration est stable, et est nulle. D'août à octobre, leur concentration augmente.

À la station Tamarone, d'avril août, la concentration est stable et nulle. De septembre à octobre, la concentration augmente.

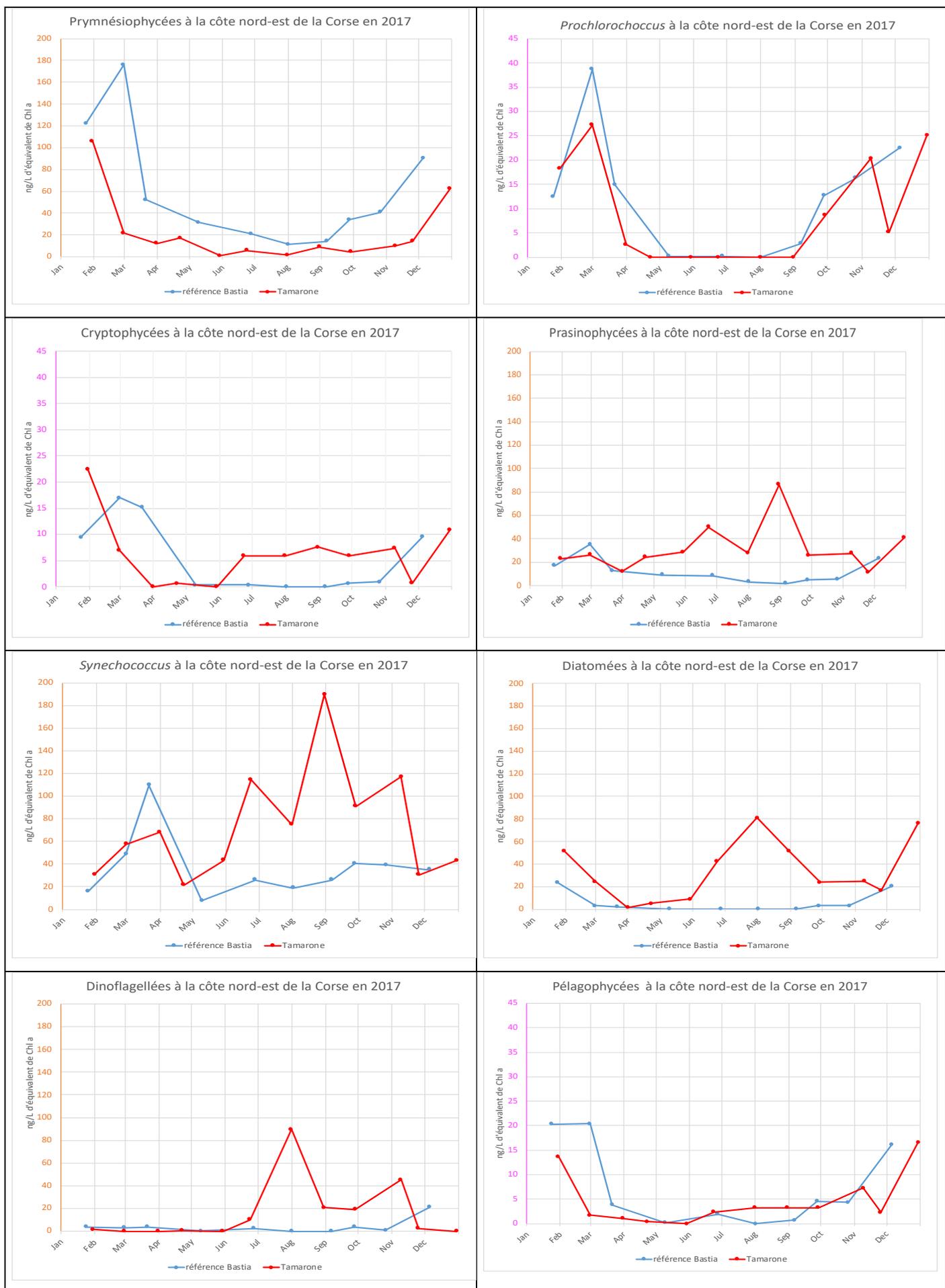


Figure 24 Évolution temporelle de la concentration de la biomasse des grands groupes fonctionnels à la côte nord-est en 2017. Les graphiques sont présentés dans l'ordre de la survenue du bloom à la station de référence. L'échelle de l'axe des ordonnées change d'un graphique à l'autre.

## 4.3. Indice ICPP Médit

### 4.3.1. Station mouillage Calvi en 2013

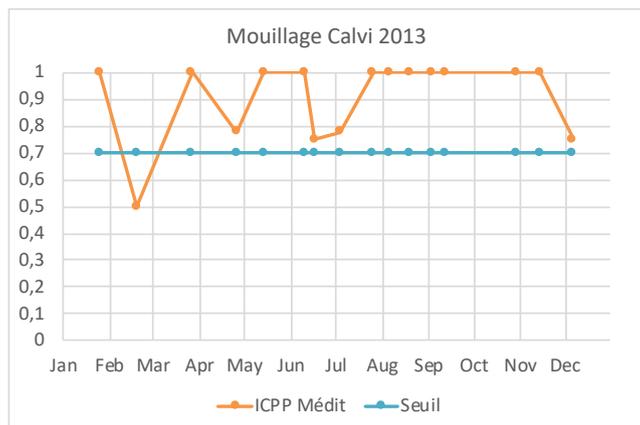


Figure 25. Évolution temporelle de l'ICPP Médit à la station mouillage Calvi en 2013. L'axe des ordonnées représente l'échelle de l'ICPP.

### 4.3.2. Station mouillage Calvi 2014

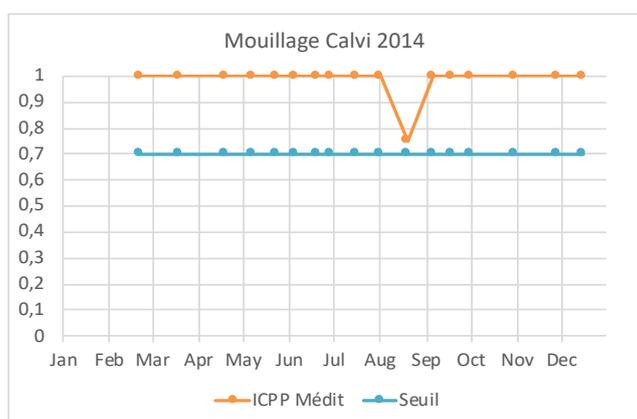


Figure 26. Évolution temporelle de l'ICPP Médit à la station mouillage Calvi en 2014. L'axe des ordonnées représente l'échelle de l'ICPP.

### 4.3.3. Station Tamarone 2017

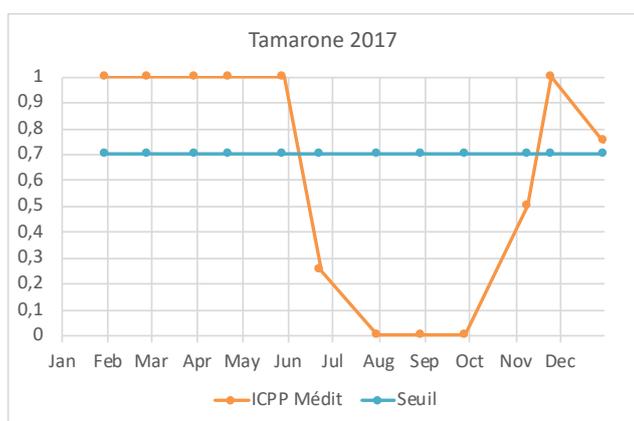


Figure 27. Évolution temporelle de l'ICPP Médit à la station Tamarone en 2017. L'axe des ordonnées représente l'échelle de l'ICPP.

À la station mouillage Calvi, l'ICPP ne passe pas sous la valeur seuil de 0,7 qu'en février. En dehors de ce mois, l'ICPP Médit est en moyenne de 0,94 qui correspond à une qualité de l'état « très bon ». Pendant la période non touristique, la valeur moyenne de l'ICPP Médit est de 0,85 et, durant la période touristique elle est de 0,94.

À la station mouillage Calvi, l'ICPP ne passe pas sous la valeur seuil de 0,7 au cours de l'année 2014. La moyenne annuelle de cet indice est de 0,99 ce qui correspond à une qualité de l'état « très bon ». Pendant la période non touristique, la valeur moyenne de l'ICPP Médit est de 1 et, durant la période touristique elle est de 0,98.

À la station Tamarone, l'ICPP Médit est supérieur à la valeur seuil de février à fin mai et en décembre. Ainsi, la qualité de l'état de l'eau est bonne à très bonne. Entre le mois de juin et le mois de novembre, l'ICPP Médit passe sous la valeur seuil, durant cette période, la qualité de l'état de l'eau varie entre le classement « mauvais » à « moyen ». Pendant la période non touristique, la valeur moyenne de l'ICPP Médit est de 0,95 et, durant la période touristique elle est de 0,38.

## 5. Discussion

### 5.1. Évolution temporelle de la concentration de la biomasse de surface du phytoplancton

En mer Ligure, la concentration de la biomasse de surface est comprise entre 300 et 1500 ng Tchl a L<sup>-1</sup> en période hivernale (Bosc et al., 2004 ; Garrido et al., 2014 ; Goffart et al., 2015 ; Earth Observatory Nasa, 2020). En baie de Calvi, elle peut atteindre jusqu'à 1880 ng Tchl a L<sup>-1</sup> (Goffart et al., 2015). Á la station référence Calvi en période non touristique, la concentration de la biomasse de surface était en moyenne de 380 ng Tchl a L<sup>-1</sup> en 2013, et de 240 ng Tchl a L<sup>-1</sup> en 2014. Le résultat obtenu pour l'année 2013 se situe dans la limite inférieure de la fourchette des valeurs de la littérature. En 2014, le résultat est inférieur à la gamme de concentration trouvée dans la littérature. Selon Goffart et al. (2002, 2015), la baie de Calvi présente une variabilité interannuelle notable de l'importance du bloom en raison du forçage météorologique hivernal. Les rafales et la température de l'eau de surface sont les facteurs clefs permettant l'apport de sels nutritifs d'origine profonde (Goffart et al., 2015). Ainsi, les résultats correspondent à l'hiver 2013 qui était modéré tandis que l'hiver 2014 doux (Goffart, communication personnelle).

En période estivale, la concentration moyenne de la biomasse est d'environ 180 ng Tchl a L<sup>-1</sup> en 2013, et de 150 ng Tchl a L<sup>-1</sup> en 2014, à la station de référence Calvi. La littérature scientifique donne une fourchette allant de 0 à 200 ng Tchl a L<sup>-1</sup> à la même période (Bosc et al., 2004 ; Garrido et al., 2014 ; Goffart et al., 2015, Earth Observatory Nasa, 2020). Les résultats obtenus sont en accord avec la littérature. Plusieurs études ont montré que les eaux de la baie de Calvi sont peu impactées par les activités humaines (Michel et al., 2012 ; Goffart et al., 2015).

Á la station de référence Bastia, la concentration de la biomasse est d'environ 260 ng Tchl a L<sup>-1</sup> en période non touristique. La littérature scientifique nous renseigne qu'en mer Tyrrhénienne, la concentration de la biomasse varie entre 200 et 450 ng Tchl a L<sup>-1</sup> en période hivernale (Bosc et al., 2004 ; Garrido et al., 2014). Les résultats de ce travail sont inclus dans la fourchette de valeurs trouvées dans les articles scientifiques.

En période estivale, la concentration de la biomasse diminue pour atteindre des valeurs comprises entre 50 à 100 ng Tchl a L<sup>-1</sup> (Bosc et al., 2004 ; Garrido et al., 2014). Notre résultat d'environ 70 ng Tchl a L<sup>-1</sup>, pour la période touristique, est bien conforme aux données de la littérature. La différence de l'ordre de grandeur de la biomasse entre la côte occidentale et orientale de la Corse peut être due aux conditions hydrologiques différentes aux deux stations. En effet, les stations de références sont situées dans deux mers différentes. De plus, la profondeur de la couche de mélange est également différente aux deux stations (Garrido et al., 2014). En baie de Calvi, en raison de la présence d'un canyon sous-marin, les échanges entre le large et le milieu côtier sont facilités (Monaco et al., 1999 ; Kampf & Fohrmann, 2000) Selon Guennoc et al. (2001), à la Revellata, la largeur de la plateforme continentale varie entre 2,5 et 5,5 km, sa pente moyenne de 5° à 7,5° et la profondeur du rebord de la plateforme est située entre 85 et 150 m de profondeur. Á Bastia, la largeur de la

plateforme est constante et d'environ 5,8 km, avec pente moyenne de 0,5° à 2° dont le rebord est situé à une profondeur d'environ 107 m.

L'évolution temporelle de la concentration en Tchl a dans les zones de référence de Calvi et Bastia suit des tendances similaires caractéristiques des cycles saisonniers des zones méditerranéennes oligotrophes (D'Ortenzio & D'Alcalà, 2009 ; Siokou-Frangou et al., 2010). La concentration en Tchl a est augmentée en hiver et au début du printemps et diminue en période estivale.

À la station mouillage Calvi, les résultats obtenus de la concentration de la biomasse de surface sont similaires à ceux obtenus à la station de référence Calvi et conformes à la fourchette de valeurs de la littérature, à savoir 500 à 1880 ng Tchl a L<sup>-1</sup> (Bosc et al., 2004 ; Garrido et al., 2014 ; Goffart et al., 2015 ; Earth Observatory Nasa, 2020). En période touristique, la concentration de la biomasse diminue pour atteindre la valeur approximative de 150 ng Tchl a L<sup>-1</sup> en 2013, et 160 ng Tchl a L<sup>-1</sup> en 2014. Ces résultats sont également similaires à ceux de la station de référence Calvi et conformes à la fourchette de valeurs de la littérature, à savoir 100 à 200 ng Tchl a L<sup>-1</sup>.

À la station Tamarone, en période non touristique, la concentration de la biomasse de surface est d'environ de 220 ng Tchl a L<sup>-1</sup>. Ce résultat est similaire à celui de la station de référence Bastia (environ 260 ng Tchl a L<sup>-1</sup>) et inclus dans la gamme de valeur de la littérature, à savoir 200 à 450 ng Tchl a L<sup>-1</sup> (Bosc et al., 2004 ; Garrido et al., 2014). En période touristique, la concentration de la biomasse est d'environ 230 ng Tchl a L<sup>-1</sup> à la station Tamarone. Ce résultat est supérieur à celui obtenu pour la station de référence Bastia (environ 70 ng Tchl a L<sup>-1</sup>) et également supérieur à la fourchette trouvée dans la littérature, à savoir 50 à 150 ng Tchl a L<sup>-1</sup> en mer Tyrrhénienne (Bosc et al., 2004 ; Garrido et al., 2014).

## 5.2. Évolution temporelle de la composition et de l'abondance des groupes fonctionnels du phytoplancton

La nature des groupes phytoplanctoniques présents dans les échantillons ainsi que les matrices initiales des rapports pigments diagnostiques/chlorophylle ont été déterminés par le Dr Goffart. Les grands groupes fonctionnels de notre zone d'étude sont les prymnésiophytes, les prasinophytes, les diatomées, les cryptophytes, les *Prochlorococcus*, les *Synechococcus*, les pélagophytes et les dinoflagellés.

Les résultats de la succession des communautés du phytoplancton obtenus à l'aide du logiciel CHEMTAX sont comparés à la succession décrite dans la littérature (figure 7). Aux stations de référence Calvi et Bastia, la succession des communautés est similaire à ce qui est décrit dans la littérature (figures 22, 23, 24). Seule la variation temporelle de la biomasse du groupe des dinoflagellés ne correspond pas exactement à ce qui est décrit dans la littérature. À la place, une augmentation de leur biomasse survient en mars (référence Calvi 2013), le reste de l'année, leur biomasse est constante et basse (référence Calvi 2013 et 2014, référence Bastia).

La biomasse de l'année 2014 est moins marquée que pour l'année 2013. (Même si les deux zones de références sont géographiquement distinctes, l'évolution des groupes du phytoplancton est similaire.

Plusieurs études ont montré que les résultats obtenus par analyse CHEMTAX sont, en général, similaires aux résultats obtenus par microscopies (Wright et al., 1996 ; Havskum et al., 2004 ; Llewellyn et al., 2005 ; Muylaert et al., 2006 ; Eker-Develi et al., 2011).

En baie de Calvi, les groupes dominants à l'échelle annuelle sont les prymnésiophycées, les diatomées et les cyanobactéries (Goffart 2019b). La biomasse des diatomées se développe en période de bloom. La concentration des cyanobactéries (dont les *Synechococcus*) se développe en période estivale. Enfin, la biomasse des prymnésiophycées constitue une fraction importante de la biomasse du phytoplancton toute l'année (Goffart et al., 2002 ; Garrido et al., 2014 ; Goffart 2019b).

Tableau 5. Résultats obtenus pour les groupes dominants par station en période non touristique.

	Période non touristique					
	Référence Calvi 2013	Référence Calvi 2014	Référence Bastia	Mouillage Calvi 2013	Mouillage Calvi 2014	Tamarone
Groupes dominants	Diatomées (29%) Prymnésiophycées (21%)	Prymnésiophycées (45%)	Prymnésiophycées (43%) Diatomées (20%)	Prymnésiophycées (24%) Diatomées (23%) Prasinophycées (18%) <i>Synechococcus</i> (15%)	Prymnésiophycées (40%) <i>Synechococcus</i> (21%)	<i>Synechococcus</i> (30%) Prymnésiophycées (20%) Diatomées (17%)

Ainsi, en période non touristique, les résultats sont conformes aux grandes tendances trouvées dans la littérature et ne permettent pas de mettre en évidence des impacts éventuels.

Tableau 6. Résultats obtenus pour les groupes dominants par station en période touristique. Les groupes dominants diffèrent à la station Tamarone par rapport aux autres stations (rouge).

	Période touristique					
	Référence Calvi 2013	Référence Calvi 2014	Référence Bastia	Mouillage Calvi 2013	Mouillage Calvi 2014	Tamarone
Groupes dominants	Prymnésiophycées (36%) <i>Synechococcus</i> (25%)	Prymnésiophycées (37%) <i>Synechococcus</i> (25%)	Prymnésiophycées (38%) <i>Synechococcus</i> (39%)	<i>Synechococcus</i> (41%) Prymnésiophycées (33%)	<i>Synechococcus</i> (34%) Prymnésiophycées (31%)	<i>Synechococcus</i> (44%) Prasinophycées (20%) Diatomées (18%)

En période touristique, aux stations de référence et à la station Mouillage Calvi, les résultats sont conformes aux grandes tendances trouvées dans la littérature et ne permettent pas de mettre en évidence des impacts éventuels.

À la station Tamarone, par rapport à la station référence Bastia, les diatomées, prasinophycées et dinoflagellés se sont développés au détriment des prymnésiophycées (figure 21). Selon Latasa et al. (2010), les prymnésiophycées se développent préférentiellement dans des eaux avec une concentration en sels nutritifs modérée. Les diatomées, prasinophycées et dinoflagellés se développent quant à eux mieux dans des eaux avec une concentration en sels nutritifs plus importante. Ceci peut suggérer un enrichissement en sels nutritifs en période estivale à la station Tamarone. Les quatre groupes fonctionnels phytoplancton réagissent de manière significative aux variations de concentration des sels nutritifs en Méditerranée sont les diatomées, les prasinophycées, les cryptophycées et les dinoflagellés (Ferreira et al., 2011 ; Garmendia et al., 2013 ; Goffart & Andral, 2014). Ceux-ci constituent les sous-indices de l'ICPP Médit (Goffart, 2019a). À la station

Tamarone, l'abondance de trois de ces groupes fonctionnels augmente par rapport à la station référence Bastia en période estivale.

Une autre méthode qui permet d'évaluer les forces de pression s'exerçant sur la masse d'eau étudiée est l'ICPP Méditerranéen développé par le Dr. Goffart. Cet indice a été calculé pour les stations Mouillage Calvi et Tamarone (figures 25, 26, 27). Le seuil de tolérance est fixé à un score de 0,7 correspondant à un état écologique de la masse d'eau « bon ». Sous le seuil, le site est considéré comme impacté et nécessite un plan de gestion de restauration pour satisfaire les exigences de la DCE.

À la station mouillage Calvi, en 2013, durant la période non touristique, l'ICPP Méditerranéen est de 0,85 ce qui correspond à un état écologique bon. Au cours du mois de février 2013, l'ICPP Méditerranéen tombe à 0,5 en raison des sous-indices issus des pigments péridinine et fucoxanthine correspondant respectivement aux dinoflagellés et diatomées. Cependant, étant donné que les touristes ne sont pas présents sur l'île à cette période de l'année, ce résultat ne peut pas être lié à un éventuel impact de la force de pression touristique. En période touristique (du 1<sup>er</sup> avril à la fin du mois d'octobre), l'ICPP Méditerranéen est de 0,94 ce qui montre que la composition des communautés du phytoplancton n'est pas dégradée. En 2014, l'ICPP Méditerranéen est de 1 pour la période non touristique et de 0,98 pour la période touristique. Ces résultats indiquent un état écologique très bon.

À la station Tamarone, en période non touristique, l'ICPP Méditerranéen est de 0,95. Ainsi, ce site a un état écologique très bon en période hivernale. En période touristique, l'ICPP diminue sous le seuil de tolérance et est de 0,38 ce qui correspond à un état écologique médiocre. Ce résultat est en accord avec la conclusion obtenue par l'analyse des groupes dominants à la même période. Cette dégradation de la composition des communautés du phytoplancton permet de supposer un enrichissement de la concentration des sels nutritifs en période estivale dû à l'activité touristique. Cette hypothèse est soutenue par l'occupation de la baie de Tamarone qui n'accueille, au cours de l'année, que des plagistes et petits bateaux de plaisance.

Le suivi de la qualité des eaux de baignade permet également d'évaluer les impacts des forces de pression anthropiques (DCE 2006/7). La directive européenne 2006/7/CE impose la caractérisation de la qualité des eaux de baignade. Les stations de suivi microbiologique étudient l'évolution des concentrations des bactéries *Escherichia coli* et d'autres entérocoques intestinaux. Elles sont situées directement sur les plages, aux mêmes endroits que les baigneurs. En baie de Calvi, en saison estivale, entre 2016 et 2019, les classements des stations varient entre « excellent » et « bon » (baignade.santé.gouv.fr, 2020). Cette variation de classement laisse supposer un certain impact en période estivale probablement dû à la force de pression touristique. La station Mouillage Calvi, étant située à environ 440 m de la plage, ne perçoit pas les forces de pressions anthropiques, à savoir l'augmentation de la population, des activités récréatives aquatiques, de la production d'eau usée et de déchets (Lootvoet & Roddier Quefelec, 2009 ; Graveline et al., 2010 ; Luciani, 2019) en période estivale.

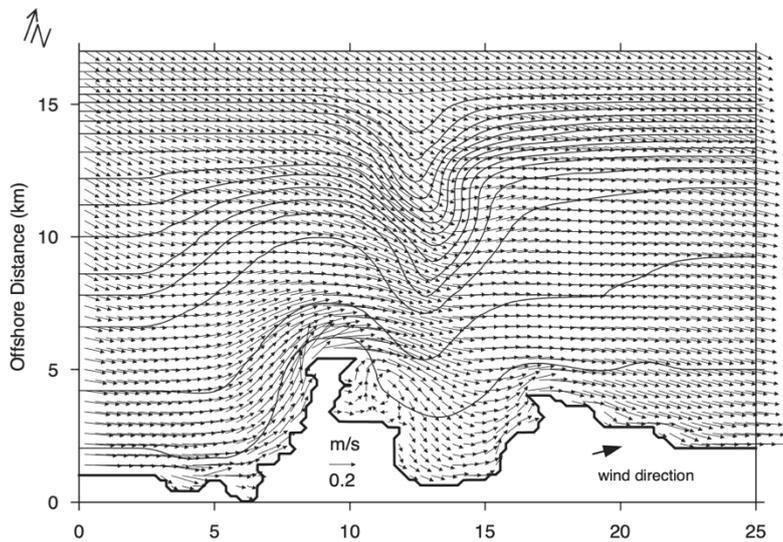


Figure 28. Courant de surface en baie de Calvi lors d'une tempête en décembre 1999 (Skliris et al., 2004)

En effet, en baie de Calvi, les courants et le vent permettent un taux de renouvellement de l'eau de la baie suffisant pour diluer l'enrichissement en sels nutritifs des eaux suite aux forces des pressions anthropiques (Skliris et al., 2004 ; Abadie et al., 2012). Selon Lejeune (2014), les forces de pression présentent en baie de Calvi sont :

- l'augmentation saisonnière de la population liée au tourisme. Elle impacte les rejets domestiques notamment via la station d'épuration et son émissaire en

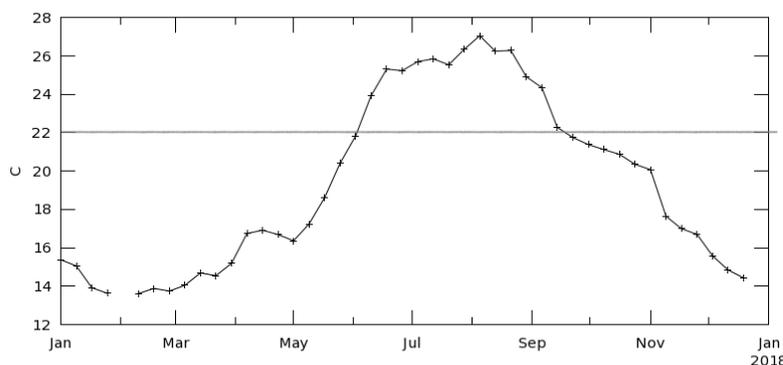
mer ;

- le développement de la viticulture sur le bassin versant qui impacte la baie par les eaux de ruissellement ;
- l'augmentation saisonnière des activités touristiques en mer (plaisance, croisière et activités portuaires) ;

Afin d'obtenir des mesures plus pertinentes pour quantifier l'impact de la force de pression touristique, il serait intéressant d'envisager de rapprocher la station Mouillage Calvi de la plage.

À la station Tamarone, il n'y a pas de station de suivi microbiologique de la qualité des eaux de baignade. Cependant, parmi les dinoflagellés échantillonnés en période touristique, une fraction significative appartient au genre *Ostreopsis* (Goffart, communication personnelle). Il s'agit d'un organisme benthique qui prolifère lorsque la température de l'eau augmente rapidement et dépasse 22°C (Sechet et al., 2012). En baie de Tamarone, en 2017, l'eau était supérieure à 22°C entre juin et septembre et la température de l'eau de surface est passée de 16°C en mai à 25°C en juin (Giovanni Nasa, 2020) (figure 29).

Time Series, Area-Averaged of Sea Surface Temperature at 11 microns (Day) 8-daily 4 km [MODIS-Aqua MODISA\_L3m\_SST\_8d\_4km vR2019.0] C over 2017-01-01 00:25:01Z - 2018-01-01 02:59:59Z, Region 9.4537E, 42.9421N, 9.5059E, 43.008N



- The user-selected region was defined by 9.4537E, 42.9421N, 9.5059E, 43.008N. The data grid also limits the analyzable region to the this point: 9.47918E, 42.9792N. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetted granules that went into making this visualization result.

Figure 29 Évolution temporelle de la température de surface de l'eau en baie de Tamarone au cours de l'année 2017. Données issues de l'imagerie satellitaire (Giovanni Nasa, 2020).

Suite au mélange de la colonne d'eau par le vent, *Ostreopsis* est retrouvé au niveau des eaux de surface étant ainsi au contact des baigneurs. Ce dinoflagellé provoque des dermatites et des troubles respiratoires chez l'Homme (Sechet

et al., 2012). Sa présence entraîne la fermeture des plages lorsque le seuil de 30000 cellules L<sup>-1</sup> est dépassé (Tichadou et al., 2010). La station de Tamarone est située dans le nord de la baie, dans la zone de baignade.

Cet endroit est particulièrement exposé à la houle de sud-ouest (Garrido et al., 2014) qui piège l'eau dans la baie et diminue son taux de renouvellement. De plus, le taux de renouvellement de la baie de Tamarone est défavorisé par le plateau continental et la présence d'un courant au niveau du talus continental qui s'oppose aux échanges avec le large, alors que c'est le cas en Baie de Calvi (Skloris et al., 2004). Ainsi, la diminution de la qualité des eaux et la constance de la durée du phénomène peuvent être néfastes pour la santé publique. De façon générale, il est dès lors important de mettre en place un programme de gestion de la fréquentation touristique du littoral afin de préserver le milieu côtier qui par le secteur touristique représente une source de richesse importante pour l'économie corse.

## 6. Conclusion

L'évolution saisonnière de la Tchla en baie de Calvi (en 2013 et 2014) et à la Bastia (en 2017) suit le cycle annuel typique des régions méditerranéennes oligotrophes peu impactées. À la baie de Tamarone (en 2017), l'évolution de la Tchla suit également un profil similaire aux sites peu impactés en période hivernale et printanière. Par contre, en période estivale, la concentration de la Tchla a augmenté et est supérieure aux minima estivaux constatés aux autres sites et dans la littérature scientifique.

L'évolution temporelle de la concentration de la biomasse des grands groupes du phytoplancton a été déterminée à l'aide du logiciel CHEMTAX. En période non touristique (de janvier à fin mars et de novembre à fin décembre), les groupes dominants sont les mêmes à toutes les stations. Ces groupes sont les diatomées, les prymnésiofycées et les *Synechococcus*. En période estivale (d'avril à fin octobre), les groupes dominants sont les mêmes dans toutes les stations à l'exception de la baie de Tamarone. Les groupes dominants sont les prymnésiofycées et les *Synechococcus*. En baie de Tamarone, les groupes dominants sont les *Synechococcus*, les prasinofycées et les diatomées.

L'ICPP Méditerranée indique que la qualité de la composition des communautés du phytoplancton varie entre « très bonne » et « bonne » à la station Mouillage Calvi (en 2013 et 2014) et de janvier à mai ainsi qu'en novembre et décembre à la station Tamarone (en 2017). Cependant, de juin à novembre, l'ICPP Méditerranée varie entre « moyen » et « mauvais » en baie de Tamarone.

Le suivi estival microbiologique de la qualité des eaux de baignade en baie de Calvi, entre 2016 et 2019, classe la qualité de l'eau comme étant « excellente » ou « bonne ». En baie de Tamarone, en période estivale, la présence de dinoflagellé *Ostreopsis* a été détectée. Cet organisme est connu pour être potentiellement dangereux pour l'Homme et l'écosystème.

L'évolution de la Tchla, de l'abondance relative des groupes dominants, de l'ICPP Méditerranée et de la qualité microbiologique des eaux de baignade laisse supposer que la baie de Calvi et Bastia sont des milieux côtiers peu impactés. En baie de Tamarone, durant la période touristique, la concentration de Tchla, les groupes dominants, l'ICPP Méditerranée et la présence d'au moins un organisme responsable de blooms toxiques laisse supposer un impact d'une force de pression. En raison de l'occupation connue de la baie de Tamarone (plagistes et petite plaisance) à cette période de l'année, l'hypothèse peut être faite que la force de pression présente est liée au tourisme.

## 7. Références

- Abadie, A. (2012). Evolution des herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile dans la baie de Calvi (Corse, France) et influence de l'ancrage dans la baie de l'Alga.
- Alcaraz, M., Saiz, E., and Estrada, M., 1994, 'Excretion of ammonia by zooplankton and its potential contribution to nitrogen requirements for primary production in the Catalan Sea (NW Mediterranean)', *Mar. Biol.*, 119, 69–76.
- Andromède Océanologie (2018) 'Modélisation des pressions anthropiques côtières IMPACT 2018', Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, p. 50, [https://plateforme.medtrix.fr/index.php/view/media/getMedia?repository=rep17&project=IMPACT\\_2018&path=media%2Frapport+PRESSIONS\\_2018.pdf](https://plateforme.medtrix.fr/index.php/view/media/getMedia?repository=rep17&project=IMPACT_2018&path=media%2Frapport+PRESSIONS_2018.pdf)
- Antoine, D., Morel, A., André, J.-M., 1995. Algal pigment distribution and primary production in the eastern Mediterranean as derived from coastal zone color scanner observations. *Journal of Geophysical Research* 100, 16193–16209.
- Arístegui, J., Tett, P., Hernández-Guerra, A., Basterretxea, G., Montero, M.F., Wild, K., Sangrá, P., Hernández-León, S., Cantón, M., García-Braun, J.A., Pacheco, M., Barton, E., 1997. The influence of island-generated eddies on chlorophyll distribution : a study of mesoscale variation around gran Canaria. *Deep-Sea Res. I Oceanogr. Res. Pap.* 44, 77–96.
- Behrenfeld, M. J. et al. (2006) 'Climate-driven trends in contemporary ocean productivity', *Nature*, 444(7120), pp. 752–755. doi: 10.1038/nature05317.
- Belin, C., Lamoureux, A., Soudant, D., 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. Rapport DYNECO / VIGIES / 14-05 – Tome 1, 159 pp.
- Beman, J. M., Arrigo, K. R. and Matson, P. A. (2005) 'Agricultural runoff fuels large phytoplankton blooms in vulnerable areas of the ocean', *Nature*, 434(7030), pp. 211–214. doi: 10.1038/nature03370.

Bernardi Aubry, F. et al. (2004) 'Phytoplankton succession in a coastal area of the NW Adriatic, over a 10-year sampling period (1990-1999)', *Continental Shelf Research*, 24(1), pp. 97–115. doi: 10.1016/j.csr.2003.09.007.

Blackburn, T.H., Henriksen, K., 1983. Nitrogen cycling in different types of sediments from Danish waters. *Limnol. Oceanogr.* 28, 477–493.

BLUEISLANDS (2020) 'Aborder la variation saisonnière des déchets résultant du tourisme dans les îles méditerranéennes, Résumé des résultats'

Bosc, E., Bricaud, A., and Antoine, D. (2004) 'Seasonal and interannual variability in algal biomass and primary production in the Mediterranean Sea, as derived from four years of SeaWiFS observations', *Glob. Biogeochem. Cy.*, 18, GB1005, doi:10.1029/2003GB002034.

Boucher J., Ibanez F., Prieur L. (1987) 'Daily and seasonal variations in the spatial distribution of zooplankton populations in relation to the physical structure in the Ligurian front', *J Mar Res* 45:133–173

Bustillos-Guzman, J., H. Claustre, and J. C. Marty. (1995) 'Specific Phytoplankton Signatures and Their Relationships to Hydrographic Conditions in the Coastal NW Mediterranean Sea.' *Marine Ecology Progress Series* 124(1–3):247–58.

Cao L, Wang W, Yang Y, Yang C, Yuan Z, Xiong S, Diana J (2007): Environmental Impact of Aquaculture and Countermeasures to Aquaculture Pollution in China. *Env Sci Pollut Res* 14 (7) 452–462

Charles, F. et al. 2005. —Seasonal Survey of the Phytoplankton Biomass, Composition and Production in a Littoral NW Mediterranean Site, with Special Emphasis on the Picoplanktonic Contribution. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 65(1–2):199–212.

Claustre, H. 1994. —The Trophic Status of Various Oceanic Provinces as Revealed by Phytoplankton Pigment Signatures. *Limnology and Oceanography* 39(5):1206–10.

Colvile, R. N., Hutchinson, E. J. and Warren, R. F. (2001) 'Chapter 6 The transport sector as a source of air pollution', *Developments in Environmental Science*, 1(C), pp. 187–239. doi: 10.1016/S1474-8177(02)80009-2.

Cushing, D.H., 1975. *Marine ecology and fisheries*. In: Prometheus. Cambridge University Press, England. <https://doi.org/10.1080/0810902032000050000>.

Cuttelod, A., García, V., Abdul Malak, D., Temple, H., & Katariya, V. (2008). The Mediterranean: a biodiversity hotspot under threat. *Wildlife in a Changing World: An Analysis of the 2008 IUCN Red List of Threatened Species*, 89–101.

Denis, L. et al. (2001) 'Temporal variability in dissolved inorganic nitrogen fluxes at the sediment-water interface and related annual budget on a continental shelf (NW Mediterranean)', *Oceanologica Acta*, 24(1), pp. 85–97. doi: 10.1016/S0399-1784(00)01130-0

D'Ortenzio, F. and Ribera d'Alcalá, M.: 2009, 'On the trophic regimes of the Mediterranean Sea: a satellite analysis', *Biogeosciences*, 6, 139–148, <http://www.biogeosciences.net/6/139/2009/>.

Duarte CM, Agustí S, Kennedy H, Vaqué D (1999) The Mediterranean climate as a template for Mediterranean marine ecosystems: the example of the NE Spanish littoral. *Prog Oceanogr* 44:245–270

Duarte, C. M. (2014) 'Global change and the future ocean: A grand challenge for marine sciences', *Frontiers in Marine Science*, 1(DEC), pp. 1–16. doi: 10.3389/fmars.2014.00063.

Eakins, B.W. and Sharman G.F. (2010) 'Volumes of the World's Oceans from ETOPO1', NOAA National Geophysical Data Center, Boulder, CO.

Estrada, M. (1996). Primary production in the northwestern Mediterranean. *Scientia Marina* (Barcelona). Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/15937045?accountid=14630>

Fenchel, T. (1988) 'Marine plankton food chains', *Annual review of ecology and systematics*. Vol. 19, pp. 19–38. doi: 10.1146/annurev.es.19.110188.000315.

Field, Behrenfeld, Randerson, & Falkowski (1998) 'Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components', *Science* (New York, N.Y.), 281(5374), 237. <https://doi.org/10.1126/science.281.5374.237>

Freeman, H. and Hayes, J. M. (1992) 'Fraction of carbon isotopes by phytoplankton and estimates of ancient CO<sub>2</sub> levels', *Global Biogeochemical cycles*, Vol. 6, NO. 2, p. 185-198.

Gallissai R, Peters F, Volpe G, Basart S, Baldasano JM (2014) 'Saharan dust deposition may affect phytoplankton growth in the Mediterranean Sea at ecological time scales'. *PLOS ONE* 9:e110762

- Gasol J, Cardelús C, Morán XA, Balagué V and others (2016) Seasonal patterns in phytoplankton photosynthetic parameters and primary production at a coastal NW Mediterranean site. *Sci Mar* 80S1: 63–77
- Garrido, M. et al. (2014) ‘Contrasting patterns of phytoplankton assemblages in two coastal ecosystems in relation to environmental factors (Corsica, NW Mediterranean Sea)’, *Diversity*, 6(2), pp. 296–322. doi: 10.3390/d6020296.
- Gieskes WW, Kraay GW (1983) Dominance of Cryptophyceae during the phytoplankton spring bloom in the central North Sea detected by HPLC analysis of pigments. *Mar Biol* 75:179-185
- Goffart, A., Hecq, J.-H., & Legendre, L. (2002) ‘Changes in the development of the winter-spring phytoplankton bloom in the Bay of Calvi (NW Mediterranean) over the last two decades: A response to changing climate?’ *Marine Ecology Progress Series*, 236, 45–60. <https://doi.org/10.3354/meps236045>
- Goffart, A. 2010. Convention Onema-Ifremer: Mise Au Point de l’indice Composition Dans Le Cadre de l’indicateur Phytoplancton, Les Indices de Composition Phytoplanctonique En Eaux Cotières. 36 pp, Rapport de Convention.
- Goffart, A., Andral, B., 2014. Validation de l’indice composition IC Medit dans des masses d’eau côtières méditerranéennes caractérisées par un gradient croissant d’eutrophisation. Rapport final de convention, action Indice de composition. IFREMER et ONEMA, France, 33 pp.
- Goffart, A., Hecq, J.-H., & Legendre, L. (2015) ‘Drivers of the winter-spring phytoplankton bloom in a pristine NW Mediterranean site, the Bay of Calvi (Corsica): A long-term study (1979- 2011)’. *Progress in Oceanography*, 137, 121–139. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2015.05.027>
- Goffart, A., 2019a. Consolidation de l’indice composition IC Médit pour les eaux côtières de Méditerranée. Rapport final de l’action 1 du projet « Indicateur de composition phytoplanctonique ». Convention de subvention ONEMA - Université de Liège, 38 pp.
- Goffart, A., 2019b. Elaboration d’une méthode de surveillance de la composition phytoplanctonique à grande échelle. Rapport final de l’action 3 du projet « Indicateur de composition phytoplanctonique ». Convention de subvention ONEMA - Université de Liège, 22 pp.
- Goffart et al (in prep for MEPS). Less diatoms during mild winters in the Mediterranean Sea.

Goñi, R. (1998) 'Ecosystem effects of marine fisheries: An overview', *Ocean and Coastal Management*, 40(1), pp. 37–64. doi: 10.1016/S0964-5691(98)00037-4.

Graveline N., N. Courtois, N. Frissant, JD. Rinaudo (2010) 'Evolution des pressions quantitatives sur les eaux souterraines de Corse : situation actuelle et évolution possible à l'horizon 2025'. Rapport BRGM/RP-58254-FR.

Guadayol, O., Peters, F., Marrasé, C., Gasol, J.M., Roldán, C., Berdalet, E., Massana, R., Sabata, A., (2009) 'Episodic meteorological and nutrient-load events as drivers of coastal planktonic ecosystem dynamics: a time-series analysis.' *Marine Ecology Progress Series* 381, 139e155.

Guennoc P., Palvadeau E., Pluquet F., Morando A. et Vairon J. (2001) - LIMA, cartographie des plates-formes sous-marines de la Corse entre 0 et 100 m de profondeur. BRGMIRP-S1523-FR, 53 p., 15 fig., 6 tabl., 4 pi., 9 cartes (hors-texte).

Gutiérrez-Rodríguez A, Latasa M, Estrada M, Vidal M, Marrasé C (2010) Carbon fluxes through major phytoplankton groups during the spring bloom and post-bloom in the Northwestern Mediterranean Sea. *Deep-Sea Res I* 57:486–500

Herut, B. et al. (2000) 'The seasonal dynamics of nutrient and chlorophyll a concentrations on the SE Mediterranean shelf-slope', *Oceanologica Acta*, 23(7 SUPPL.), pp. 771–782. doi: 10.1016/S0399-1784(00)01118-X.

Huertas, I.E.; Ríos, A.F.; García-Lafuente, J.; Navarro, G.; Makaoui, A.; Sánchez-Román, A.; Rodríguez-Galvez, S.; Orbi, A.; Ruíz, J.; Pérez, F.F. Atlantic forcing of the Mediterranean oligotrophy. *Glob. Biogeochem. Cycles* 2012, 26, GB2022.

Jeffrey, S.W., Mantoura, R.F.C., Wright, S.W.E., 1997. *Phytoplankton pigments in oceanography. Monographs on Oceanographic Methodology*, UNESCO Publishing, 661.

Jones, S. (1986). Trade-Union Policy Between the Wars: The Case of Holidays With Pay in Britain. *International Review of Social History*, 31(1), 40-67. doi:10.1017/S0020859000008051

Kemp, W.M., Boynton, W.R., 1992. Benthic–pelagic interactions: Nutrients and oxygen dynamics. In: Smith, D.E., Leffler, M., Mackiernan, G. (Eds.), *Oxygen dynamics in Chesapeake Bay: a synthesis of recent research*. Maryland Sea Grant, College Park, MD, pp. 149–222.

Kress N, Herut B, Galil BS (2004) 'Sewage sludge impact on sediment quality and benthic assemblages off the Mediterranean coast of Israel—a long-term study.' *Mar Environ Res* 57:213–233. doi: 10.1016/S0141-1136(03)00081-3

Kroeze, C. and Seitzinger, S. P. (1998) 'Nitrogen inputs to rivers, estuaries and continental shelves and related nitrous oxide emissions in 1990 and 2050: A global model', *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 52(2–3), pp. 195–212. doi: 10.1023/A:1009780608708.

Krom, N., Kress, S., Gordon, L.I., 1991. Phosphorus limitation of primary productivity in the eastern Mediterranean Sea. *Limnology and Oceanography* 36, 424–432.

Latasa, M. et al. (2005) 'Estimating the carbon flux through main phytoplankton groups in the northwestern Mediterranean', *Limnology and Oceanography*, 50(5), pp. 1447–1458. doi: 10.4319/lo.2005.50.5.1447.

Latasa, M. et al. (2010) 'Preferences of phytoplankton groups for waters of different trophic status in the northwestern Mediterranean sea', *Marine Ecology Progress Series*, 407, pp. 27–42. doi: 10.3354/meps08559.

Legendre, L., 1990. The significance of microalgal blooms for fisheries and for the export of particulate organic carbon in oceans. *Journal of Plankton Research* 12, 681–699.

Lampert L. (2014) 'CHEMOTAXONOMIE PIGMENTAIRE Initiation aux calculs appliqués au phytoplancton', Ifremer

Lootvoet M. & Roddier-Quefelec C. (2009) 'MEDSTAT II : Étude pilote « Eau et Tourisme », Eurostat Methodologies and Working papers, édition 2009, doi 10.2785/1960

Luciani, A. (2019) 'Le nautisme : trois types d'activités aux conditions d'emploi différentes', *Insee Analyses Corse*, n°26, Juin 2019 pp. 15–18.

Ludwig, W., Dumont, E., Meybeck, M., Heussner, S. (2009) 'River discharges of water and nutrients to the Mediterranean and Black Sea: major drivers for ecosystem changes during past and future decades?' 80, 199–217.

Mackey, M. D., Mackey, D. J., Higgins, H. W., Wright, S. W. (1996), CHEMTAX- A program for estimating class abundances from chemical markers: application to HPLC measurements of phytoplankton pigments., *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 144, 265-283

Mackey, Higgins, Mackey and Wright, 1997, CHEMTAX user's manual: a program for estimating class abundances from chemical markers — application to HPLC measurements of phytoplankton pigments, CSIRO Marine Laboratories Report 229, Hobart, Australia, ISBN 0 643 06040 5, 47 pp

Mann, K.H., Lazier, J.R.N., (1996) 'Dynamics of Marine Ecosystems: Biological – Physical Interactions in the Oceans. Blackwell Publishing', New York, 496pp.

Margalef, R. (1978) 'Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment'. *Oceanol. Acta*, 1(4): 493-509.

Marty, J. C., J. Chiavérini, M. D. Pizay, and B. (2002) 'Seasonal and Interannual Dynamics of Nutrients and Phytoplankton Pigments in the Western Mediterranean Sea at the DYFAMED Time-Series Station (1991-1999).' *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 49(11):1965–85.

Marty, J. C., Garcia, N. and Raimbault, P. (2008) 'Phytoplankton dynamics and primary production under late summer conditions in the NW Mediterranean Sea', *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 55(9), pp. 1131–1149. doi: 10.1016/j.dsr.2008.05.001.

Morel, A. and André, J. M.: Pigment distribution and primary production in the western Mediterranean as derived from CZCS observations, *J. Geophys. Res.*, 96, 12685-12691, 1991.

Navarro G., Alvain S., Vantrepotte V., Huertas I.E. (2014) 'Identification of dominant phytoplankton functional types in the Mediterranean Sea based on a regionalized remote sensing approach', *Remote Sensing of Environment*, 152(C), 557-575

Navarro, G. et al. (2017) 'Reproduction of spatio-temporal patterns of major mediterranean phytoplankton groups from remote sensing OC-CCI data', *Frontiers in Marine Science*, 4(AUG), pp. 1–16. doi: 10.3389/fmars.2017.00246.

Nunes, S. et al. (2018) 'Seasonal and interannual variability of phytoplankton community structure in a Mediterranean coastal site', *Marine Ecology Progress Series*, 592, pp. 57–75. doi: 10.3354/meps12493.

- Odum, W. (1974). Potential Effects of Aquaculture on Inshore Coastal Waters. *Environmental Conservation*, 1(3), 225-230. doi:10.1017/S037689290000463X
- Olita, A., Sorgente, R., Ribotti, A., Fazioli, L., Perilli, A., 2011. Pelagic primary production in the Algero-Provençal Basin by means of multisensor satellite data: focus on interannual variability and its drivers. *Ocean Dynamics* 61, 1005– 1016.
- Parlement et Conseil européen (2000) ‘Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l’eau’, *Journal officiel des Communautés européennes* du 22.12.2000, (7), p. 72 p. Available at: [http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0001.02/DOC\\_1&format=PDF](http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0001.02/DOC_1&format=PDF).
- Pasqualini, V., Pergent-Martini, C. and Pergent, G. (1999) ‘Environmental impact identification along the Corsican coast (Mediterranean sea) using image processing’, *Aquatic Botany*, 65(1–4), pp. 311–320. doi: 10.1016/S0304-3770(99)00048-0.
- Pinca S., Dallot S. (1995) ‘Meso- and macrozooplankton composition patterns related to hydrodynamic structures in the Ligurian Sea (Trophos-2 experiment, April – June 1986)’, *Mar Ecol Prog Ser* 126:49–65
- Revelle R. & Suess H. E. (1957) ‘Carbon Dioxide Exchange Between Atmosphere and Ocean and the Question of an Increase of Atmospheric CO<sub>2</sub> during the Past Decades’, *Tellus*, Vol. 9, NO 1, p. 18-27, DOI: 10.3402/tellusa.v9i1.9075
- Reynolds CS, Huszar V, Kruk C, Naselli-Flores L, Melo S (2002) Towards a functional classification of the fresh- water phytoplankton. *J Plankton Res* 24:417–428
- Rind, D. et al. (1990) ‘Climate change and the middle atmosphere. Part I: the doubled CO<sub>2</sub> climate’, *Journal of the Atmospheric Sciences*, pp. 475–494. doi: 10.1175/1520-0469(1990)047<0475:CCATMA>2.0.CO;2.
- Roy, S., Llewellyn, C.A., Egeland, E.S., Johnsen, G.E., 2012. *Phytoplankton Pigments: Characterization, Chemotaxonomy and Applications in Oceanography*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 845 pp.
- Sabine CL et al (2004) The oceanic sink for anthropogenic CO<sub>2</sub>. *Science* 305:367–371

- Salgado-Hernanz, P. M. et al. (2019) 'Trends in phytoplankton phenology in the Mediterranean Sea based on ocean-colour remote sensing', *Remote Sensing of Environment*. Elsevier, 221(October 2018), pp. 50–64. doi: 10.1016/j.rse.2018.10.036.
- Sammartino, M. et al. (2015) 'Spatio-temporal variability of micro-, nano- and pico-phytoplankton in the Mediterranean Sea from satellite ocean colour data of SeaWiFS', *Ocean Science*, 11(5), pp. 759–778. doi: 10.5194/os-11-759-2015.
- Savage, C., Leavitt, P. R. and Elmgren, R. (2010) 'Effects of land use, urbanization, and climate variability on coastal eutrophication in the Baltic Sea', *Limnology and Oceanography*, 55(3), pp. 1033–1046. doi: 10.4319/lo.2010.55.3.1033.
- Schauer, M., Massana, R., and Pedro 's-Alio ', C.: Spatial differences in bacterioplankton composition along the Catalan coast (NW Mediterranean) assessed by molecular fingerprinting, *FEMS Microb. Ecol.*, 33, 51–59, 2000.
- Sebastiá, M. T. and Rodilla, M. (2013) 'Nutrient and phytoplankton analysis of a mediterranean coastal area', *Environmental Management*, 51(1), pp. 225–240. doi: 10.1007/s00267-012-9986-3.
- Sechet, V. et al. (2012) 'Ostreopsis cf. ovata in the French Mediterranean Coast: Molecular Characterisation and Toxin Profile ', *Cryptogamie, Algologie*, 33(2), pp. 89–98. doi: 10.7872/crya.v33.iss2.2011.089
- Sezgin, E. and Yolal, M. (2012) 'Golden Age of Mass Tourism: Its History and Development', in *Visions for Global Tourism Industry - Creating and Sustaining Competitive Strategies*. doi: 10.5772/37283.
- Sieburth, J. M., Smetacek, V., & Lenz, J. (1978). Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions 1. *Limnology and Oceanography*, 23(6), 1256–1263. <https://doi.org/10.4319/lo.1978.23.6.1256>
- Siokou-Frangou I, Christaki U, Mazzocchi MG, Montresor M, Ribera d'Alcalá M, Vaqué D, Zingone A (2010) 'Plankton in the open Mediterranean Sea: a review', 6:11187-11293
- Sournia A., Brylinski JM., Dallot S., Le Corre P. and 3 others (1990) 'Fronts hydrologiques au large des côtes françaises: les sites-ateliers du programme Frontal', *Oceanol Acta* 13: 413–438

- Spörel, U. and Täube, V. (2008) 'EUROSTAT Statistics in Focus: Tourism trends in Europe and in Mediterranean Partner Countries', *Statistics in Focus*, 95.
- Sverdrup, H.U. (1953) 'On conditions for the vernal blooming of phytoplankton'. *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer* 18, 287–295.
- Tichadou L.et al. (2010) 'Health impact of unicellular algae of the *Ostreopsis* genus blooms in the Mediterranean Sea: Experience of the French Mediterranean coast surveillance network from 2006 to 2009'. *Clinical toxicology* 48(8): 839-844.
- Tirroloni A. et al. (2018) 'Bilan annuel du tourisme 2017', Insee Dossier Corse, n°9, Mai 2018, p.20
- Tirroloni A. et al. (2019) 'La Corse en bref Edition 2019', Insee, n°14, Novembre 2019, p.48
- Torre V. (2019) 'Tourisme', Insee Dossier Corse n°13, Octobre 2019, pp. 20–22.
- Turley CM, Bianchi M, Christaki U, Conan P and 6 others (2000) 'Relationship between primary producers and bacteria in an oligotrophic sea—the Mediterranean and bio- geochemical implications'. *Mar Ecol Prog Ser* 193:11–18
- Uitz, J. et al. (2012) 'Estimates of phytoplankton class-specific and total primary production in the Mediterranean Sea from satellite ocean color observations', *Global Biogeochemical Cycles*, 26(2), pp. 1–10. doi: 10.1029/2011GB004055.
- Vidussi, F., Marty, J.-C., & Chiavérini, J. (2000). Phytoplankton pigment variations during the transition from spring bloom to oligotrophy in the northwestern Mediterranean sea. *Deep-Sea Research Part I*, 47(3), 423–445. [https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(99\)00097-7](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(99)00097-7)
- Vila, M. and Masó, M. (2005) 'Phytoplankton functional groups and harmful algal species in anthropogenically impacted waters of the NW Mediterranean Sea', *Scientia Marina*, 69(1), pp. 31–45. doi: 10.3989/scimar.2005.69n131.
- Walker, N.D., Rabalais, N.N., 2006. Relationships among satellite chlorophyll a, river inputs, and hypoxia on the Louisiana Continental Shelf, Gulf of Mexico. *Estuar. Coasts* 29, 1081–1093.
- Walker et al. (2018) 'Environmental Effects of Marine Transportation.' Dalhousie University, Halifax, NS, Canada

Walton, J. K. (1997). 'Seaside Resorts and Maritime History'. *International Journal of Maritime History*, 9(1), 125–147. <https://doi.org/10.1177/084387149700900108>

World Tourism Organization (2018), *European Union Tourism Trends*, UNWTO, Madrid, DOI: <https://doi.org/10.18111/9789284419470>

World Tourism Organization (2019), *UNWTO World tourism Barometer*, Volume 17, Issue 2, May 2019, ISSN: 1728-9246

World Tourism Organization (2020), *UNWTO World tourism Barometer*, Volume 18, Issue 1, January 2020, ISSN: 1728-9246

Zahedi S (2008) *Tourism impact on coastal environment*. In: *Environmental Problems in Coastal Regions VII*. WIT Press, The New Forest, UK, pp 45–57

Zapata, M., F. Rodríguez, and J. L. Garrido. 2000. —Separation of Chlorophylls and Carotenoids from Marine Phytoplankton: A New HPLC Method Using a Reversed Phase C8column and Pyridine-Containing Mobile Phases. *Marine Ecology Progress Series* 195:29–45.

Zingone, A., Montresor, M., Marino, D., 1995. Summer phytoplankton physiognomy in coastal waters of the Gulf of Naples. *Marine Ecology* 11, 157–172.