

SUIVI DU PLANCTON GELATINEUX ET DES COMMUNAUTES ZOOPLANCTONIQUES ASSOCIEES DANS LE PORT DE DUNKERQUE

ANNEE 2014



Par T. BASTIAN, A. DELEGRANGE, E. ANTAJAN, V. CORNILLE, R. CORDIER, et D. VINCENT
avec la participation de J. MESTRE, A. SENAFFE, et C.-A. TIMMERMAN.



Université du Littoral Côte d'Opale
Laboratoire d'Océanologie et Géosciences
(UMR 8187 ULCO-UL1-CNRS)



Maison de la Recherche en
Environnement Naturel, Wimereux.



IFREMER

Laboratoire Environnement
Ressources

Centre Manche Mer du Nord,
Boulogne-sur-Mer.

SUIVI DU PLANCTON GELATINEUX ET DES COMMUNAUTES ZOOPLANCTONIQUES ASSOCIEES DANS LE PORT DE DUNKERQUE

ANNEE 2014

REDACTION

Thomas BASTIAN, Dorothée VINCENT et Alice DELEGRANGE

PRELEVEMENTS ET ANALYSES

Titulaires et contractuels :

Elvire ANTAJAN (Ifremer)
Thomas BASTIAN (ULCO/LOG)
Rémy CORDIER (Ifremer)
Vincent CORNILLE (ULCO/LOG)
Alice DELEGRANGE (ULCO/LOG)
Dorothée VINCENT (ULCO/LOG)

Etudiants :

Axel SENAFFE (Lille1)
Julie MESTRE (ULCO)
Charles-André TIMMERMAN (Lille1)

Rapport à citer comme suit : Bastian T, Delegrange A, Antajan E, Cornille V, Cordier R, Mestre J, Senaffe A, Timmerman C-A, et Vincent D (2015). Suivi du plancton gélatineux et des communautés zooplanctoniques associées dans le port de Dunkerque – Année 2014. Rapport d'expertise, Université du Littoral Côte d'Opale, Laboratoire d'Océanologie et Géosciences. 43 pp.

INTRODUCTION	6
1 – MATERIELS ET METHODES	7
1.1. Stratégie d'échantillonnage	7
1.2. Prélèvements et mesures sur le terrain	8
1.2.1. <u>Hydrologie de la colonne d'eau</u>	
1.2.2. <u>Concentrations en chlorophylle et phéopigments</u>	
1.2.3. <u>Zooplancton</u>	
<i>a - Plancton gélatineux et autre macro-plancton (> 1 mm).</i>	
<i>b - Mesozooplancton (> 200 µm).</i>	
1.3. Analyses au laboratoire	9
1.3.1. <u>Concentrations en chlorophylle et phéopigments</u>	
1.3.2. <u>Dénombrement du macrozooplancton (> 1mm) et du mésozooplancton (> 200µm)</u>	
2. RESULTATS ET DISCUSSION	10
2.1. Contexte climatique	10
2.1.1. <u>Généralités</u>	
2.1.2. <u>Conditions météorologiques propres à l'année 2014</u>	
2.2. Contexte hydrologique	12
2.3. Plancton gélatineux et macrozooplancton (> 1 mm)	15
2.3.1. <u>Cténaires (Emb. Ctenophora)</u>	
2.3.2. <u>Méduses hydrozoaires (Emb. Cnidaria, Cl. Hydrozoa)</u>	
2.3.3. <u>Méduses scyphozoaires (Emb. Cnidaria, Cl. Scyphozoa)</u>	
2.3.4. <u>Autres macroplanctontes</u>	
2.4. Mésozooplancton (> 200 µm)	24
2.4.1. <u>Abondance totale et composition</u>	
2.4.2. <u>Holoplancton</u>	
2.4.3. <u>Méropiancton</u>	
3. ELEMENTS DE CONCLUSION	29
BIBLIOGRAPHIE	31
ANNEXES	34

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Localisation des stations d'échantillonnage dans les ports Ouest et Est de Dunkerque en 2014. Une croix grise marque l'ancienne position de la station 2 (jusqu'en mars 2014)

Figure 2. Variations temporelles des températures atmosphériques (min, max et moyenne) au cours du suivi annuel sur la station météorologique de Dunkerque, et écarts aux moyennes des températures minimales et maximales mensuelles sur la période 1981-2010

Figure 3. Variations temporelles des cumuls mensuels et des maxima de précipitations sur 24 h (mm) au cours du suivi annuel sur la station météorologique de Dunkerque, et écarts aux moyennes des cumuls mensuels de précipitations sur la période 1981-2010

Figure 4. Evolution temporelle des paramètres environnementaux (moyenne sur l'ensemble du profil vertical) au cours des suivis 2013 et 2014.

Figure 5. Evolution temporelle de la concentration en chlorophylle *a* et en phéopigments ($\mu\text{g. L}^{-1}$) au cours des suivis 2013 et 2014. Paramètres mesurés à 1 m de profondeur.

Figure 6 : Evolution temporelle de l'abondance totale du zooplancton gélatineux (ind. m^{-3}), des cténaires et des hydroméduses au cours des suivis annuels 2013 et 2014.

Figure 7. Evolution temporelle de l'abondance de *Pleurobrachia pileus* (ind. m^{-3}) au cours des suivis annuels 2013-2014.

Figure 8. Evolution de la structure de taille des groseilles de mer pendant l'épisode de prolifération printanière de 2014 dans l'avant-port en face du canal d'amenée du CNPE (St. 2), et à l'entrée du canal des Dunes (St. 3).

Figure 9. Evolution temporelle de l'abondance totale d'hydroméduses (ind. m^{-3}) au cours de l'année 2014.

Figure 10. Structure de taille des méduses *Aurelia aurita* dans le Port Est de Dunkerque (Bassin du Commerce) au printemps 2014.

Figure 11. Evolution temporelle de l'abondance totale du macrozooplancton ($> 1 \text{ mm}$; ind. m^{-3}), des autres organismes holoplanctoniques et méroplanctoniques qui le composent.

Figure 12. Evolution temporelle de l'abondance des larves de décapodes Brachyoures et Anomoures.

Figure 13. Evolution temporelle de l'abondance des Téléostéens (stades œufs, larves et alevins).

Figure 14. Evolution temporelle de l'abondance des Annélides.

Figure 15. Evolution temporelle de l'abondance totale du mésozooplancton ($\times 10^3 \text{ ind. m}^{-3}$), de l'holoplancton et du méroplancton des suivis 2013 et 2014

Figure 16. Evolution temporelle de l'abondance totale du mésozooplancton ($\times 10^3 \text{ ind. m}^{-3}$), des copépodes et des noctiluques (*N. scintillans*) en 2013 et 2014

Figure 17. Evolution temporelle de l'abondance des copépodes dominants en 2013 et 2014

Figure 18. Evolution temporelle de l'abondance des appendiculaires ($\times 10^3 \text{ ind. m}^{-3}$) en 2013 et 2014.

Figure 19. Evolution temporelle de l'abondance du méroplancton total et des organismes méroplanctoniques dominants ($\times 10^3 \text{ ind. m}^{-3}$) en 2013 et 2014.

Figure 20. Successions temporelles au sein des communautés planctoniques dans l'avant-port (St. 1) et l'arrière-port (St. 3) de Dunkerque en 2014.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Positions des stations d'échantillonnage dans le Port Ouest et le Port Est de Dunkerque au cours du suivi 2014.

Tableau 2. Dates des campagnes d'échantillonnage dans le Port Ouest de Dunkerque en 2014 et paramètres de la marée pour chaque date. Heure de Pleine Mer (PM; heure locale) et hauteur d'eau (m) pour le Port de Gravelines (site maree.info)

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. Valeurs des principaux paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau mesurés dans le Port Ouest de Dunkerque en 2014.

Annexe 2. Concentrations en Chlorophylle *a* et en phéopigments ($\mu\text{g. L}^{-1}$) et rapports [Chl *a*]/[phéopigments] dans le Port Ouest de Dunkerque en 2014.

Annexe 3. Abondances des Cténaïres (ind. m^{-3}) dans le Port Ouest de Dunkerque en 2014.

Annexe 4. Abondances (ind. m^{-3}) par classes de taille des cténaïres et hydroméduses à l'entrée du Port Ouest de Dunkerque (St. 1) en 2014.

Annexe 5. Abondances (ind. m^{-3}) par classes des cténaïres et hydroméduses dans l'avant-port ouest, en face du canal d'aménée (St. 2) en 2014.

Annexe 6. Abondances (ind. m^{-3}) par classes de taille des cténaïres et hydroméduses à l'entrée du Canal des Dunes du Port Ouest de Dunkerque (St. 3) en 2014.

Annexe 7. Abondances (ind. m^{-3}) par classes de taille des cténaïres et hydroméduses au niveau de l'ancien Quai Pechiney du Port Ouest de Dunkerque (St. 4) en 2014.

Annexe 8. Abondances totale (ind. m^{-3}) des hydroméduses dans le Port Ouest de Dunkerque en 2014.

Annexe 9. Abondances (ind. m^{-3}) des hydroméduses par espèce dans le Port Ouest de Dunkerque en 2014.

Annexe 10. Abondances du macrozooplancton ($> 1\text{mm}$; ind. m^{-3}) au cours des suivis 2013 et 2014.

Annexe 11. Abondances (ind. m^{-3}) du mésozooplancton total, de l'holoplancton et du méroplancton en 2013. Seuls les groupes taxonomiques dominants sont présentés.

Annexe 12. Abondances (ind. m^{-3}) du mésozooplancton total, de l'holoplancton et du méroplancton en 2014. Seuls les groupes taxonomiques dominants sont présentés.

INTRODUCTION

Dans les estuaires et les eaux côtières, le zooplancton gélatineux (méduses, siphonophores, cténares, tuniciers pélagiques) peut connaître des épisodes de prolifération massive (en anglais « bloom ») lorsque les conditions environnementales sont favorables. Lors d'un bloom, le zooplancton gélatineux peut interférer avec de nombreuses activités humaines (Purcell et al. 2007). Outre les effets négatifs sur la sécurité des baigneurs dans les zones touristiques, les organismes gélatineux peuvent également poser des problèmes aux activités de pêche (e.g. par colmatage des filets et chaluts), mais aussi entraîner des mortalités de poissons dans le milieu naturel et en aquaculture (Baxter et al. 2011, Delannoy et al. 2011). La prolifération des méduses, peut enfin provoquer le colmatage de systèmes de pompage d'installations industrielles côtières.

D'après certains auteurs, ces proliférations deviendraient de plus en plus fréquentes dans plusieurs régions du globe en réponse à la surexploitation des ressources halieutiques, à l'eutrophisation des eaux côtières, à l'artificialisation du littoral, et au réchauffement global induit par les activités anthropiques (Mills 2001, Purcell 2012). Bien que récemment d'autres auteurs aient montré le caractère cyclique des périodes de bloom (Condon et al. 2013), dans les régions tempérées, des liens très clairs ont été établis entre les variations inter-annuelles de l'abondance du plancton gélatineux et les conditions climatiques (Brodeur et al. 2008, Lynam et al. 2004, Lynam et al. 2011). Ces éléments suggèrent que dans de nombreuses régions une tendance au réchauffement des eaux de surface devrait être favorable à la prolifération des organismes gélatineux.

Dans ce contexte écologique, une demande de suivi du zooplancton gélatineux¹ dans le port ouest de Dunkerque a été formulée par EDF (R&D) en 2013. **L'objectif était de caractériser et de comprendre la dynamique spatio-temporelle du plancton gélatineux, afin d'évaluer les risques de colmatage des tambours filtrants du Centre Nucléaire de Production d'Electricité (CNPE) de Gravelines.** Les résultats de la première année de suivi (avril 2013 – avril 2014) montrant qu'au printemps 2014, les températures de l'eau étaient de plusieurs degrés supérieures à celles observées au printemps 2013 (Vincent et al. 2014), il a été décidé, courant mars 2014, de prolonger le suivi jusqu'en décembre 2014. Cela permettait d'intégrer les effets possibles de conditions environnementales contrastées sur la dynamique temporelle du plancton gélatineux dans la zone d'étude.

Le présent document rend compte des résultats de l'année 2014 (janvier à décembre) et les met en perspective par rapport à ceux de l'année précédente, la présentation détaillée de ces derniers ayant fait l'objet d'un autre rapport (Vincent et al. 2014). Par souci de clarté, ce document suit la même organisation que le rapport précédent et en reprend certains éléments, notamment en ce qui concerne le contexte général de l'étude et la description des méthodes employées.

<p>Note importante : Les données brutes du suivi de l'année 2013 concernant le macrozooplancton présentées dans le rapport de 2014 sont erronées (Annexe 3). Elles ont été corrigées et validées pour ce rapport final (Annexe 10).</p>
--

¹ Dans la suite du rapport, le terme zooplancton gélatineux se réfèrera aux cnidaires et aux cténares.

1 – MATERIELS ET METHODES

1.1. Stratégie d'échantillonnage

Trois stations situées dans le Port Ouest de Dunkerque ont été échantillonnées d'avril 2013 à avril 2014 (Figure 1, Tableau 1).

La première station (St. 1) était localisée dans l'avant-port en face de l'entrée du Port Ouest et permet de tenir compte des entrées d'eau marines.

La deuxième station (St. 2) était située plus en arrière, à la limite entre l'avant-port et l'arrière-port. Suite à une réunion bilan du 17 mars 2014, la position de la station 2 a été déplacée vers l'avant-port, en face du canal d'amenée. Dans le présent rapport le terme St. 2 fait donc référence à cette nouvelle position.

La troisième station (St. 3) était située à l'entrée du Canal des Dunes reliant le Port Ouest au Port Est de Dunkerque.

Une quatrième station (St. 4) a été échantillonnée à partir de mars 2014. Celle-ci était située dans l'arrière-port, en face de l'ancien quai Péchiney. L'ajout de cette station dans le plan d'échantillonnage fait suite aux résultats du suivi 2013 qui suggéraient l'existence possible de zones plus propices au développement des cténaïres dans l'arrière-port.

Par ailleurs, deux bassins du Port Est de Dunkerque ont également été prospectés de mars à octobre 2014 : le Bassin du Commerce et le bassin de la Forme 4.

Tableau 1. Positions des stations d'échantillonnage dans le Port Ouest et le Port Est de Dunkerque au cours du suivi 2014.

Station	Latitude	Longitude
St. 1 - Entrée du port	51,0361 °N	2,1667 °E
St. 2 - Avant-port (avant le 18 mars 2014)	51,0208 °N	2,1722 °E
St. 2 - Avant-port (à partir du 18 mars 2014)	51,0278 °N	2,1611 °E
St. 3 Canal des Dunes	51,0217 °N	2,1903 °E
St. 4 Quai Pechiney	51,0033 °N	2,1805 °E
Bassin du Commerce	51,0396 °N	2,3758 °E
Forme 4	51,0436 °N	2,3702 °E

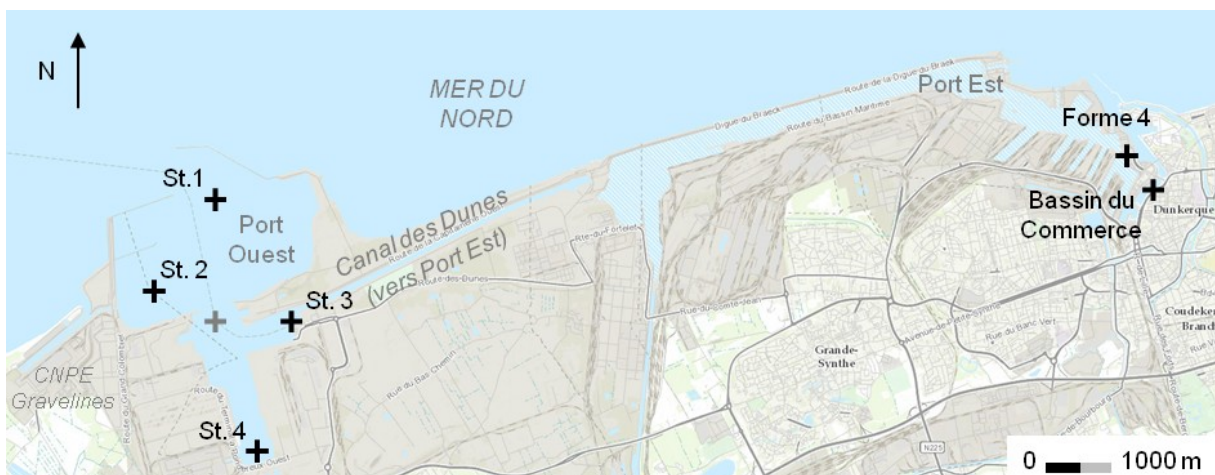


Figure 1. Localisation des stations d'échantillonnage dans les ports Ouest et Est de Dunkerque en 2014. Une croix grise marque l'ancienne position de la station 2 (jusqu'en mars 2014).

Chaque station devait être échantillonnée deux fois par mois d'avril à octobre, puis une fois par mois de janvier à mars, ainsi qu'en novembre et décembre (Tableau 1), mais certaines campagnes n'ont pu être réalisées en raison de conditions météorologiques défavorables (une en juin et une en octobre). Les bassins du Port Est (Figure 1) ont été prospectés pour la présence de méduses et de cténares aux dates suivantes : 16 avril, 29 avril, 9 mai, 21 mai, 19 juillet, et 30 septembre 2014. Les missions supplémentaires prévues pendant l'été n'ont pu avoir lieu pour cause de mauvais temps, ne permettant pas le déploiement du matériel dans les conditions optimales.

Les prélèvements ont toujours été réalisés dans le même ordre (St. 1, puis St. 2, puis St. 4, puis St. 3) lors des différentes campagnes. Par ailleurs, ces derniers suivaient l'horaire de la marée de sorte que l'échantillonnage ait lieu au moment de la pleine mer \pm 2h (Tableau 2).

Tableau 2. Dates des campagnes d'échantillonnage dans le Port Ouest de Dunkerque en 2014 et paramètres de la marée pour chaque date. Heure de Pleine Mer (PM; heure locale) et hauteur d'eau (m) pour le Port de Gravelines (site maree.info)

	Date	Heure PM	Coefficient de marée	Hauteur PM (m)
2014	30-jan.	11h56	95	6,50
	19-fév.	15h04	83	6,25
	5-mars	15h19	96	6,45
	18-mars	13h36	94	6,40
	1-avr.	14h33	108	6,65
	25-avr.	10h19	63	5,75
	13-mai	12h32	79	6,10
	26-mai	11h47	76	6,05
	23-juin	10h27	59	5,70
	15-juil.	15h32	106	6,65
	29-juil.	15h02	81	6,25
	13-août	15h12	112	6,80
	26-août	14h07	83	6,25
	9-sept.	13h23	109	6,70
	25-sept.	14h05	88	6,40
	23-oct.	13h07	83	6,30
	19-nov.	10h27	45	5,25
	9-déc.	14h11	86	6,35

1.2. Prélèvements et mesures sur le terrain

1.2.1. Hydrologie de la colonne d'eau

Des profils verticaux des paramètres physico-chimiques (température, salinité, pH, turbidité, oxygène dissous) ont été réalisés sur chaque station à l'aide d'une sonde multi-capteurs (YSI 6600 VE2-4).

1.2.2. Concentrations en chlorophylle et phéopigments

Deux échantillons d'eau de mer (2 x 1 L) ont été prélevés à chaque station à partir d'une bouteille Niskin de 4 L déployée à 1 m de profondeur, puis conservés dans des bouteilles opaques en polycarbonate placées dans une glacière dans l'attente du retour au laboratoire. Ceci permet de limiter la dégradation des pigments chlorophylliens, photo- et thermosensibles. Dès le retour au laboratoire, les échantillons d'eau de mer étaient filtrés sur filtres en fibre de verre (Whatman GF/F) et stockés au surgélateur (-80°C) dans l'attente de l'analyse.

1.2.3. Zooplancton

a - Plancton gélatineux et autre macro-plancton (> 1 mm).

A chaque station, des prélèvements de zooplancton ont été réalisés à l'aide d'un filet à plancton de type WP3 (surface d'ouverture : 1 m², vide de maille : 1000 µm) muni d'un volucompteur (KC Denmark) à son entrée et d'un collecteur filtrant terminal de 2 L. Le filet était déployé pendant 10 minutes dans la colonne d'eau de manière ondulatoire afin d'une part, de filtrer un volume d'eau de mer suffisant pour l'estimation quantitative du plancton gélatineux et d'autre part, d'intégrer la distribution des organismes dans la colonne d'eau.

Jusqu'en mars 2014 Deux prélèvements par station ont été récoltés :

- le premier prélèvement était dédié à l'analyse taxonomique ainsi qu'à l'estimation de l'abondance et de la structure de taille du plancton gélatineux. Les organismes gélatineux ne résistant pas à une préservation par les conservateurs chimiques classiques (e.g. formol, éthanol), après récolte, le contenu du collecteur terminal était dilué avec de l'eau de mer dans une glacière et rapporté au laboratoire à la fin de la campagne. L'analyse du zooplancton gélatineux était donc réalisée le jour même sur les échantillons vivants.

- le second prélèvement était dédié à l'analyse des communautés zooplanctoniques (e.g. crustacés > 1 mm) associées au plancton gélatineux. Après récolte, le contenu du collecteur terminal était concentré sur un tamis de 1 mm et fixé au formol (4% concentration finale). L'analyse de ces échantillons a été réalisée ultérieurement au laboratoire (cf § 1.3.2).

A partir de mars 2014, un seul prélèvement était effectué. A l'issue de l'analyse taxonomique du zooplancton gélatineux le jour même du prélèvement, le reste de l'échantillon était concentré sur un tamis de 1 mm et fixé au formol (4% concentration finale) pour analyse ultérieure du reste des organismes macrozooplanctoniques.

b - Mesozooplancton (> 200 µm).

Les prélèvements ont été réalisés par un trait oblique (surface-fond) de filet à plancton de type WP2. Ce dernier est caractérisé par une ouverture de 0,25 m² de surface, un vide de maille de 200 µm et est muni d'un collecteur filtrant terminal de 1 L. Un volucompteur (KC Denmark) placé à l'entrée du filet a permis d'estimer le volume filtré (m³) au cours du prélèvement. Afin que le volume filtré soit suffisant pour l'estimation quantitative du zooplancton et comparable aux volumes filtrés sur toutes les stations, le trait vertical était parfois doublé sur les stations 2 et 3 présentant une profondeur plus faible (< 10 m). Après récolte, les échantillons étaient concentrés sur un tamis de 200 µm. Un examen visuel permettait de détecter la présence éventuelle de plancton gélatineux (e.g. Cténaïres) qui était alors identifié, mesuré et énuméré. Le produit de la pêche a été ensuite fixé au formol (concentration finale 4%) dans l'attente de son analyse au laboratoire.

1.3. Analyses au laboratoire

1.3.1. Concentrations en chlorophylle et phéopigments

La concentration en chlorophylle *a* (Chl *a*) a été utilisée comme estimateur de la biomasse phytoplanctonique. Les concentrations de Chl *a* et de ses formes dégradées, les phéopigments *a* (chlorophyllide *a*, phéophytine *a*, phéophorbide *a*) ont été mesurées par la procédure d'acidification et de détection par fluorimétrie de Lorenzen (1966). Cette méthode suppose qu'en condition acide, la Chl *a* est totalement convertie en phéophytine *a* (Pheo *a*) avec un rendement de 100 % et que la fluorescence molaire de la Pheo *a* est plus faible que celle de la Chl *a*. La précision des mesures dépend donc des interférences dues aux chlorophylles accessoires (Chl *b* et Chl *c*) dont les concentrations varient avec les communautés phytoplanctoniques (Neveux, 1976).

L'extraction des pigments photosynthétiques a eu lieu 12h avant l'analyse après dilacération des filtres dans l'acétone à 90 % (8 ml, 4°C, Sigma Normapur). Les filtres ont été tassés au fond des tubes par centrifugation (15 minutes à 3000 rpm) et la récupération des surnageants (2 ml) a précédé l'analyse. La mesure de fluorescence

des échantillons a été réalisée au fluorimètre (Turner Design Trilogy) avant (F_0) et après (F_a) acidification des extraits chlorophylliens avec 20 μl de HCl 0,3 N.

Les concentrations en Chl a et phéopigments ($\mu\text{g l}^{-1}$) ont été calculées à partir des équations de Lorenzen (1966) adaptées à l'appareil :

$$[\text{Chlorophylle } a] = K \times \frac{R_{max}}{(R_{max}-1)} \times (F^{NA} - F^A) \times \frac{v}{V} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$[\text{Phéopigments } a] = K \times \frac{R_{max}}{(R_{max}-1)} \times (R_{max} \cdot F^A - F^{NA}) \times \frac{v}{V} \quad (\text{Eq. 2})$$

Où F^{NA} représente la fluorescence de l'échantillon non acidifié (RFU, Relative Fluorescence Unit) ; F^A représente la fluorescence de l'échantillon acidifié ; R_{max} représente le rapport d'acidification maximum² ; K représente le coefficient d'étalonnage³ ; V représente le volume d'eau filtrée (en mL) ; v représente le volume d'acétone d'extraction (en mL).

L'appareil a été calibré mensuellement au laboratoire à l'aide d'une gamme de concentrations de Chl a pure (*Anacystis nidulans*, Sigma) en solution dans l'acétone à 90 %. La concentration de la solution mère de Chl a a été déterminée au spectrophotomètre à 664 nm pour l'acétone 90 % (coefficient d'extinction spécifique de 87,67 L. g⁻¹. cm⁻¹ ; Jeffrey et Humphrey 1975).

1.3.2. Dénombrement du macrozooplancton (> 1 mm) et du mésozooplancton (> 200 μm)

Concernant le zooplancton > 1 mm, les cténares ont été identifiés au niveau spécifique sur la totalité des échantillons. Pour les hydrozoaires (hydroméduses), l'identification au niveau spécifique est parfois impossible sans examen du stade hydraire. En particulier, la détermination à partir de méduses « juvéniles » peut s'avérer impossible. Ces organismes ont donc été identifiés au plus petit niveau taxonomique possible sur la base des critères décrits par Cornelius (1995a, 1995b) et Bouillon et al. (2006).

Par ailleurs, les échantillons formolés ont été rincés à l'eau douce. Les densités étant parfois importantes, il était nécessaire de fractionner les échantillons en plusieurs sous-parties identiques à l'aide d'une boîte de Motoda (Van Guelpen et al. 1982). Ensuite, soit la sous-fraction obtenue était complètement comptée, soit l'échantillon fractionné était dilué (volume final 500 – 800 mL) et après homogénéisation du volume initial, un sous-échantillon de 5 à 10 ml a été prélevé et analysé (les deux méthodes n'ont que très rarement été utilisées en combinaison).

Les organismes zooplanctoniques ont été comptés et identifiés sous loupe binoculaire (grossissement $\times 40$ à $\times 80$) dans une cuve de Dolfuss entière. Les principaux groupes zooplanctoniques ont été identifiés au niveau du genre et/ou de l'espèce selon Trébougoff et Rose (1957). Pour les copépodes, groupe taxonomique le plus important au sein du mésozooplancton, une détermination spécifique selon Rose (1933) a été réalisée sur 200 à 400 individus (limitation des erreurs de comptage à 25 % ; Frontier 1972).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Contexte climatique

2.1.1. Généralités

La région est soumise à un climat océanique tempéré, influencé par les courants atmosphériques humides et frais en provenance de l'Atlantique et, plus sporadiquement, de la mer du Nord. L'évolution des températures atmosphériques présente un maximum en été entre 20 et 25°C et un minimum hivernal (février) compris entre 0 et 5°C⁴. Le régime des précipitations suit une tendance saisonnière oscillant entre un minimum de cumul mensuel d'environ 40 mm en février et un maximum de 70 à 80 mm pour les mois d'octobre et de novembre.

² R_{max} ou $(F^{NA}/F^A)_{max}$ est calculé à partir de la gamme d'étalonnage du fluorimètre. Il est égal à la moyenne des F^{NA}/F^A de la gamme.

³ K est calculé à partir de la droite étalon du fluorimètre. Il est égal au coefficient directeur de la droite d'équation $F^{NA} = K.[\text{chlorophylle } a] + b$

⁴ <http://www.meteo59-62.com>

Le régime océanique engendre des vents dominants de secteur ouest à sud-ouest et dans une moindre mesure, des régimes de nord-est (Rapport Sogreah, juillet 2009 et données Météo France).

Du point de vue climatologique :

- en flux d'ouest, la région se situe dans l'un des axes privilégiés de circulation des dépressions venues de l'Atlantique : le vent est alors fort et les pluies marquées
- en flux de sud, la région hérite des masses d'air qui ont survolé la France, s'y sont asséchées et réchauffées (ou refroidies en hiver)
- en flux de nord, la mer du Nord devient le maître d'œuvre du temps régional : elle draine alors l'air venu du Pôle, l'humidifie et déstabilise le climat régional
- en flux d'est, l'air continental atteint naturellement notre région entraînant un dégagement du ciel en été et un temps froid voire glacial en hiver (jusqu'à -20 à -23°C).

2.1.2. Conditions météorologiques propres à l'année 2014⁵

Au niveau national l'année 2014 a été la plus chaude depuis 1990, avec dans la région Nord-Pas-de-Calais, un écart à la normale (1981-2010) de 1,2°C en moyenne.

L'hiver 2013-2014 a été particulièrement doux avec des températures supérieures de 1,8°C aux normales nationales saisonnières (Figure 2). Sur la période 1900-2014, l'hiver 2013-2014 se place au 2^{ème} rang des hivers les plus doux derrière celui de 1989-1990 et *ex-aequo* avec l'hiver 2006-2007. Sur la station météorologique de Dunkerque, la température mensuelle moyenne des mois de décembre à février atteint environ 7,5°C, soit 4°C de plus que l'année précédente (Figure 2). Avec plus de 50 jours de pluie, la fréquence des précipitations a été exceptionnelle du littoral Atlantique aux côtes de la Manche. Sur l'ensemble de la saison et du pays, l'excédent de pluviométrie était proche de 40 %. Des cumuls de précipitations mensuelles proches de 100 mm ont ainsi été observés sur Dunkerque en octobre et novembre 2013 ainsi qu'en février 2014.

Le printemps 2014 était, lui aussi, caractérisé par une douceur extrême avec des températures moyennes mensuelles de 9,5°C et 12,3°C en mars et avril, respectivement. Par ailleurs, ce début de printemps était déficitaire au niveau des précipitations (cumul mensuel <10 mm; Figure 3) et excédentaire en ce qui concerne l'éclairement, particulièrement en mars.

Avec des températures conformes aux moyennes de saison et un excédent de précipitations, le mois de mai a fait la transition avec un été marqué, d'une part, par une activité orageuse importante en juillet résultant d'une alternance d'épisodes chauds et d'épisodes frais et, d'autre part, par un mois d'août particulièrement frais (1 à 2°C sous la normale) et pluvieux (le double de la normale).

Enfin, de septembre à décembre, les températures sont globalement repassées au-dessus des normales saisonnières avec un déficit de précipitations sur la plaine maritime.

Dans l'ensemble, les conditions climatiques dans la région en 2014 étaient assez fortement différentes de celles ayant prévalu l'année précédente. En effet, en 2013, le printemps avait été particulièrement froid, la saison estivale avait été marquée par des températures proches ou supérieures aux moyennes de saison et un fort déficit de précipitation, et l'automne avait été doux et pluvieux (cf Rapport 2013 par Vincent et al. 2014, ou Météo-France).

⁵ Données Météo France

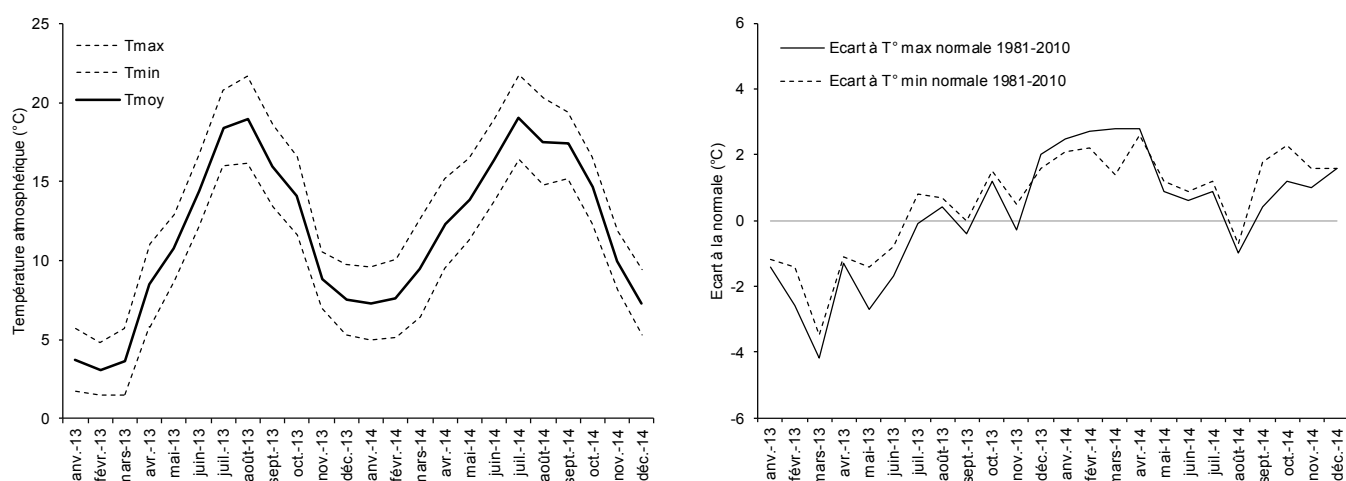


Figure 2. Variations temporelles des températures atmosphériques (min, max et moyenne) au cours du suivi annuel sur la station météorologique de Dunkerque⁶, et écarts aux moyennes des températures minimales et maximales mensuelles sur la période 1981-2010⁵.

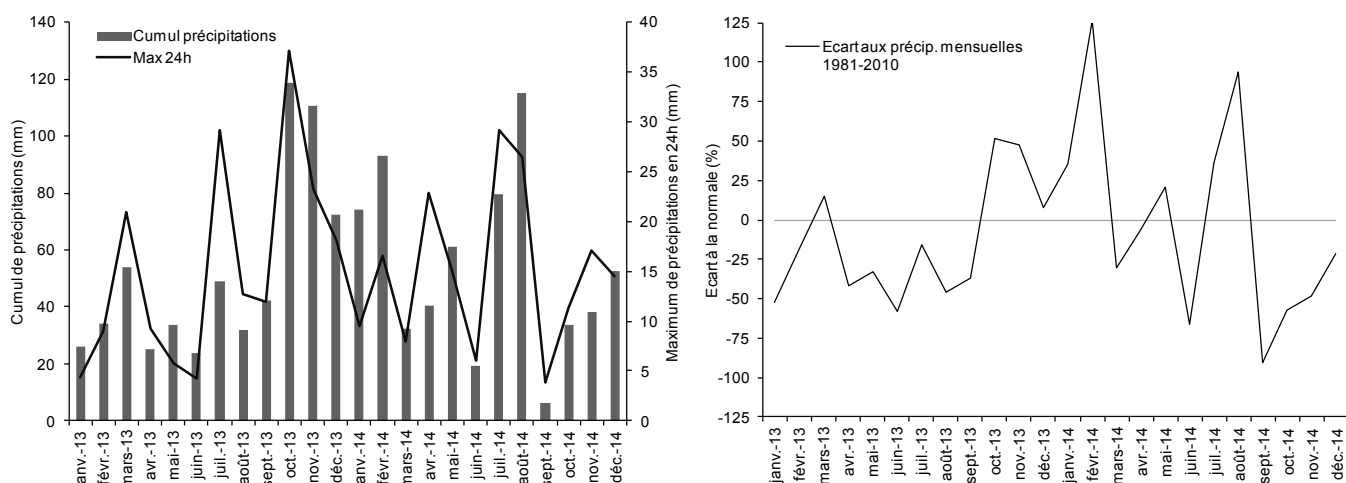


Figure 3. Variations temporelles des cumuls mensuels et des maxima de précipitations sur 24 h (mm) au cours du suivi annuel sur la station météorologique de Dunkerque⁷, et écarts aux moyennes des cumuls mensuels de précipitations sur la période 1981-2010⁸.

2.2. Contexte hydrobiologique

L'évolution des principaux paramètres hydrologiques mesurés au cours des suivis 2013 et 2014 est présentée en Figure 4 et Annexe 1. L'analyse des profils verticaux des principaux paramètres physiques mesurés montre très peu de différences entre les quatre stations d'une part, et, d'autre part, au sein de chaque station entre la surface et le fond, illustrant une homogénéité de la colonne d'eau. Par conséquent, seules les valeurs moyennes sur l'ensemble de la colonne d'eau sont rapportées.

Au cours des années 2013 et 2014, la **température de l'eau** a suivi une évolution saisonnière classique avec un réchauffement progressif du printemps à la fin de l'été, puis un refroidissement progressif de septembre à la fin de l'hiver. Cependant, cette diminution hivernale des températures a été beaucoup moins prononcée pendant l'hiver 2013-2014 par rapport à l'hiver 2012-2013. Cela a conduit à des températures printanières supérieures de plusieurs degrés en avril 2014 par rapport à celles constatées en avril 2013 (température moyenne de surface en station 3 : 12,3°C le 25/04/2014 contre 6,7°C le 23/04/2013). Cette évolution est donc conforme à l'évolution

⁶ Source www.infoclimat.fr

⁷ Source www.infoclimat.fr

⁸ Données Météo France

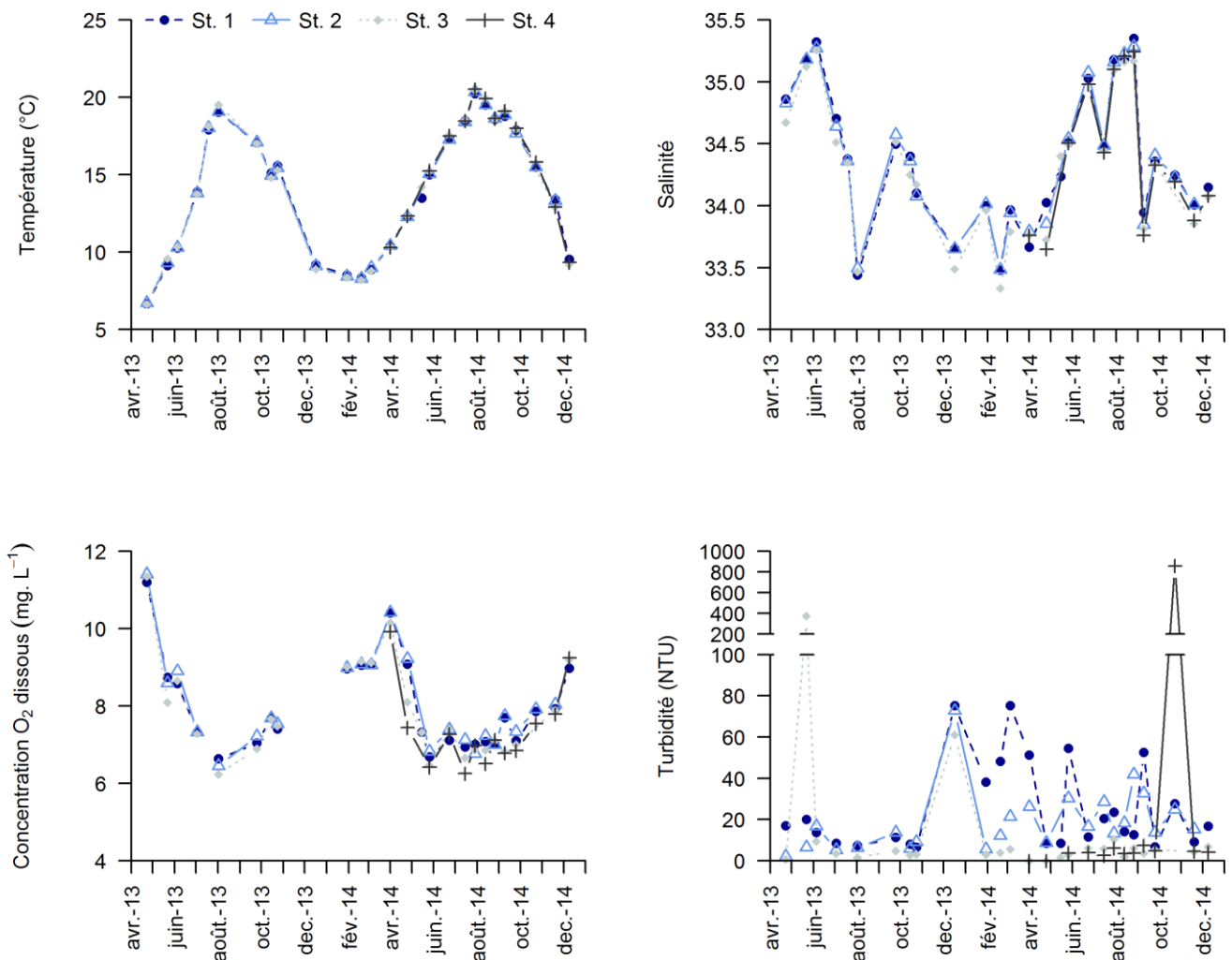


Figure 4. Evolution temporelle des paramètres environnementaux (moyenne sur l'ensemble du profil vertical) au cours des suivis 2013 et 2014. Les valeurs manquantes d'oxygène dissous résultent de l'absence de capteur sur la sonde utilisée début juillet et en décembre 2013.

saisonniers des températures atmosphériques (Figure 2) et met en évidence le caractère particulier du début d'année 2014. Concernant la température maximale des eaux de surface, celle-ci était de 19,6 °C en 2013 (le 2 août en station 3) et 20,5°C en 2014 (le 29 juillet en station 3 et 4).

Au cours de l'année 2014, la **salinité** a présenté une évolution sensiblement similaire à celle précédemment décrite pour l'année 2013 (Vincent et al. 2014), à savoir des valeurs augmentant pendant le printemps et l'été (max. = 35,4 en station 1 le 26 août) et diminuant à l'automne (33,9 en novembre en station 3). En 2013 une dessalure était observée pendant l'été (passage de 35,3 au début du mois de juin 2013 à 33,3 au mois d'août). Un phénomène similaire a été observé en 2014 mais d'amplitude bien moindre (passage de 35,3 mi-juin à 34,3 au mois d'août). Cette variabilité n'est pas surprenante et dépend essentiellement des épisodes pluvieux (Figure 3) et des apports fluviaux dérivant des bassins versants (Canal Dunkerque - Escaut en particulier). Tout au long du suivi la salinité était relativement plus faible dans le canal des Dunes que dans l'avant-port.

Les concentrations en **oxygène** dans les eaux côtières dépendent de la combinaison d'un certain nombre de processus biologiques (respiration, photosynthèse, nitrification) et physico-chimiques (échanges à l'interface océan/atmosphère, diffusion et mélanges au sein de la masse d'eau, oxydation chimique, etc.). En l'absence de processus physiques et biologiques, les concentrations en O₂ dissous dans la masse d'eau sont fonction de la température, de la salinité et de la pression atmosphérique. Ainsi, la concentration d'équilibre appelée aussi

concentration de saturation atteint $5,1 \text{ ml. L}^{-1}$ (soit $7,3 \text{ mg. L}^{-1}$) dans l'eau de mer de salinité 35. Les concentrations en O_2 dissous lors de l'année 2014 étaient comprises entre $10,4 \text{ mg. L}^{-1}$ (le 1^{er} avril 2014 en station 1) et $6,3 \text{ mg. L}^{-1}$ (le 15 juillet 2014 en station 3). Comme observé en 2013, leur évolution temporelle suit étroitement la température (Figure 4) et coïncide avec la période productive du phytoplancton (Figure 5). Les eaux de surface du port de Dunkerque sont en général saturées en O_2 dissous (de 97 à 114% de saturation, données non présentées) et les concentrations mesurées sont assez similaires à celles mesurées au cours de l'année 2013 (max = $11,5 \text{ mg. L}^{-1}$ en station 2 le 23 avril 2013 ; min = $6,3 \text{ mg. L}^{-1}$ le 2 août 2013)

La **turbidité** (en Nephelometric Turbidity Unit, NTU) a été mesurée par le capteur de la sonde ISY. Ce paramètre représente la capacité de l'eau à disperser et à absorber la lumière incidente (Aminot et Kérouel 2004). En d'autres termes, le turbidimètre mesure la lumière dispersée à un angle de 90° par rapport au trajet de la lumière incidente après son passage à travers un échantillon. La turbidité mesurée correspond donc à la présence d'éléments particuliers présents en suspension dans l'eau, de nature organique ou minérale (e.g. phytoplancton, déchets organiques, sédiment ; Service hydrographique et océanographique de la marine 2013). Lors des suivis 2013 et 2014, l'essentiel de la variabilité de ce paramètre était représenté par un pic à $370,6 \text{ NTU}$ le 22 mai 2013 sur la station 3, et un autre le 23 octobre 2014 à 858 NTU en station 4. Ces événements très localisés sont difficilement explicables dès lors que le reste des valeurs de turbidité est resté relativement faible ($< 50 \text{ NTU}$) au cours de l'année. En 2014, la turbidité était globalement plus élevée et plus variable aux stations 1 et 2 (médiane = $14,09 \text{ NTU}$ et $21,59 \text{ NTU}$, respectivement) qu'aux stations 3 et 4 (médiane = $4,4 \text{ NTU}$ et $3,88 \text{ NTU}$, respectivement). A la fin de l'année 2013, une augmentation de turbidité (de 61 à 70 NTU) avait été observée sur l'ensemble des stations. Ces valeurs élevées de turbidité se sont maintenues en station 1 jusqu'au printemps, et peuvent résulter d'épisodes venteux entraînant un brassage de la colonne d'eau. Ceci n'a pas été observé fin 2014.

Le **pH** n'a pu être mesuré en 2014 à cause d'un dysfonctionnement du capteur pH de la sonde utilisée.

En ce qui concerne les **concentrations en chlorophylle a** (Chl a, Figure 5 et Annexe 2), d'avril à octobre 2013, celles-ci n'ont cessé d'osciller autour de valeurs moyennes de $5,6 \mu\text{g. L}^{-1}$ à l'entrée du port (station 1 ; min - max = $2,6 - 10,5 \mu\text{g. L}^{-1}$), $5,7 \mu\text{g. L}^{-1}$ en station 2 ($1,9 - 5,7 \mu\text{g. L}^{-1}$), et $3,7 \mu\text{g. L}^{-1}$ à l'entrée du Canal des Dunes (station 3 ; $1,0 - 8,4 \mu\text{g. L}^{-1}$). A partir d'octobre, les valeurs sont restées faibles ($< 5 \mu\text{g. L}^{-1}$ en moyenne) et ce, jusqu'au bloom phytoplanctonique printanier de 2014 (Vincent et al. 2014). Ce dernier a eu lieu au mois de mars avec des concentrations en Chl a mesurées atteignant respectivement $22,3$; $27,4$ et $12,7 \mu\text{g. L}^{-1}$ le 18 mars aux stations 1, 2 et 3. De mai à octobre 2014, les concentrations en Chl a ont varié autour d'une valeur moyenne de $4,6 \mu\text{g. L}^{-1}$ à l'entrée du port (min - max = $2,6 - 8,1 \mu\text{g. L}^{-1}$), $4,0 \mu\text{g. L}^{-1}$ en station 2 ($2,1 - 5,4 \mu\text{g. L}^{-1}$), et $4,0 \mu\text{g. L}^{-1}$ à l'entrée du Canal des Dunes ($1,2 - 7,6 \mu\text{g. L}^{-1}$). En station 4, des concentrations plus élevées ont été observées sur la même période ($6,2 \mu\text{g. L}^{-1}$ en moyenne, min - max = $2,0 - 12,5 \mu\text{g. L}^{-1}$) avec un pic fin juin ($12,5 \mu\text{g. L}^{-1}$) et un autre fin juillet ($12,0 \mu\text{g. L}^{-1}$).

Ainsi, le bloom phytoplanctonique de 2013 est apparu précocement dans l'année et son ampleur était limitée (e.g. max $10,5 \mu\text{g. L}^{-1}$; Antajan et al. 2014a). En comparaison, le bloom de 2014 est plus conforme dans sa période d'apparition (mars-avril) et son ampleur ($27,3 \mu\text{g. L}^{-1}$) à ce qui est classiquement observé dans la région (e.g. Gentilhomme et Lizon 1998 ; Seuront et Vincent 2008 ; Delegrange et al. 2015). Dans le fond du port (station 4), les conditions estivales semblent avoir été favorables à un développement phytoplanctonique plus marqué qu'aux autres stations.

En ce qui concerne les **phéopigments** (Figure 5 et Annexe 2), en 2013, leur concentration était restée relativement faible tout au long du suivi avec des valeurs moyennes de $1,6$ (min - max = $0,2 - 3,9 \mu\text{g. L}^{-1}$) ; $1,8$ ($0,7 - 4,3 \mu\text{g. L}^{-1}$) et $1,4 \mu\text{g. L}^{-1}$ ($0,4 - 3,0 \mu\text{g. L}^{-1}$) aux stations 1, 2, et 3, respectivement, d'avril à décembre 2013. La même tendance a été observée en 2014 sauf pendant la fin du bloom phytoplanctonique en station 1 ($8,9 \mu\text{g. L}^{-1}$ le 18 mars) et entre les deux pics estivaux de concentration en Chl a estivaux en station 4 ($3,3 \mu\text{g. L}^{-1}$ le 15 juillet). De manière générale, l'augmentation de la contribution des phéopigments aux pigments chlorophylliens totaux à la fin d'une prolifération phytoplanctonique traduit une dégradation des cellules phytoplanctoniques par des processus de broutage (e.g. zooplancton; cf. §2.3 et 2.4) ou de sénescence.

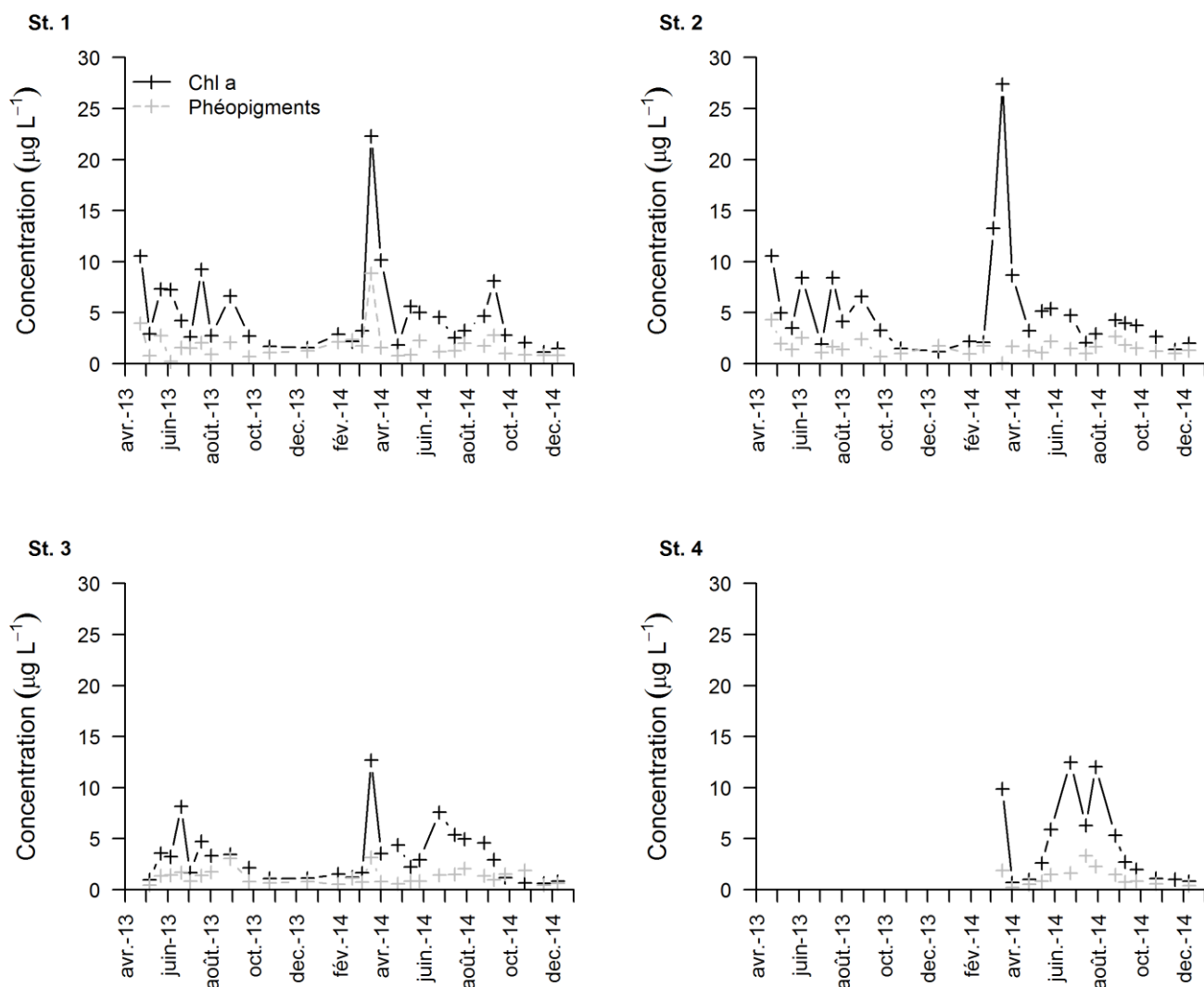


Figure 5. Evolution temporelle de la concentration en chlorophylle a et en phéopigments ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) au cours des suivis 2013 et 2014. Paramètres mesurés à 1 m de profondeur.

2.3. Plancton gélatineux et macrozooplancton (> 1 mm)

En 2013, la dynamique temporelle du zooplancton gélatineux, composé de cténaïres (Ctenophora), d'hydroméduses (Cnidaria, Hydrozoa) et de scyphoméduses (Cnidaria, Scyphozoa), avait montré deux périodes de prolifération bien marquées : une première période au printemps (avril-juin) correspondant à la prolifération printanière des groseilles de mer (cf. § 2.3.1), et une seconde à l'automne (octobre) essentiellement due à des hydroméduses.

La dynamique observée en 2014, présente quelques différences notables avec celle de 2013 (Figure 6). En particulier, la prolifération printanière était bien plus importante qu'en 2013, et liée à une prolifération de *P. pileus* ($53,3 \text{ ind. m}^{-3}$ en station 2 le 13 mai) et d'hydroméduses ($4,6 \text{ ind. m}^{-3}$ en station 1 le 26 mai), sans commune mesure avec celles observées à la même époque en 2013 (au maximum $1,27 \text{ P. pileus m}^{-3}$ en station 3 le 6 mai 2013, et $1,0 \text{ hydroméduse. m}^{-3}$ en station 3 le 6 juin 2013). De plus, les abondances de cténaïres et d'hydroméduses observées pendant l'été 2014 étaient, elles aussi, 3 à 10 fois supérieures à celles observées

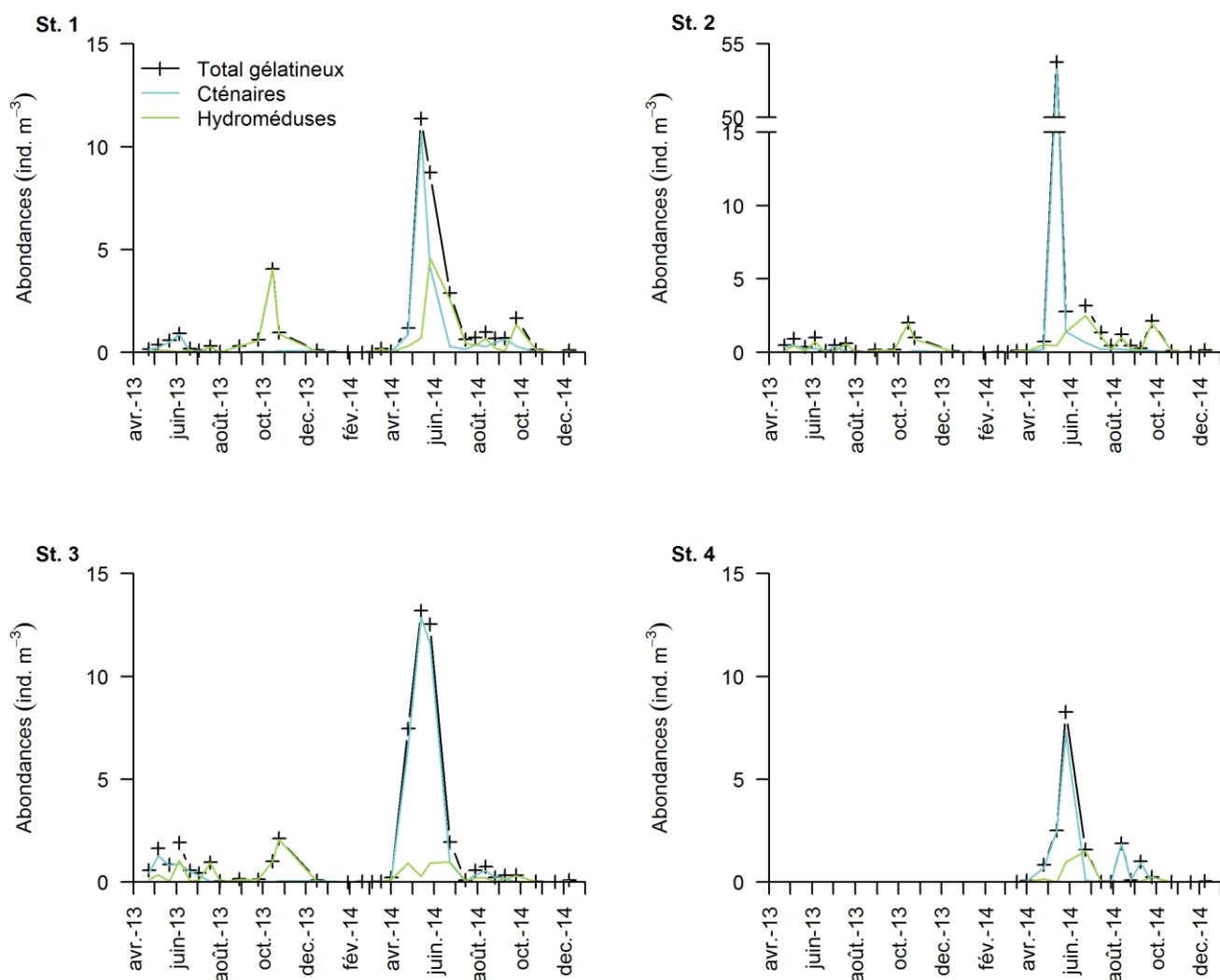


Figure 6 : Evolution temporelle de l'abondance totale du zooplancton gélatineux (ind. m^{-3}), des cténaïres et des hydroméduses au cours des suivis annuels 2013 et 2014. L'abondance des scyphoméduses est incluse dans celle du plancton gélatineux total.

pendant l'été 2013 pour toutes les stations. Par ailleurs, l'automne 2013 avait été marqué par une prolifération d'hydroméduses à la mi-octobre. En 2014, cette prolifération a eu lieu dès le mois de septembre et était terminée fin octobre. Enfin, des scyphoméduses de l'espèce *Chrysaora hysocella* ont été régulièrement observées de juin à août, tandis que des méduses *Aurelia aurita* étaient présentes en très grande quantité d'avril à juin dans les bassins du Port Est, mais absentes du Port Ouest.

Les sections suivantes présentent plus en détail l'évolution au cours de l'année 2014 de l'abondance de chaque groupe composant le plancton gélatineux.

2.3.1. Cténaïres

Comme en 2013, trois espèces de cténaïres (ou cténophores) ont été observées au cours du suivi 2014 : *Pleurobrachia pileus* (ou groseille de mer), *Beroe* sp., et *Mnemiopsis leidyi* (Annexe 3).

Pleurobrachia pileus. – En mer du Nord, des proliférations importantes de *P. pileus* ont causé la fermeture de plusieurs tranches du CNPE de Gravelines, dans les années 1980. Depuis, des suivis systématiques des

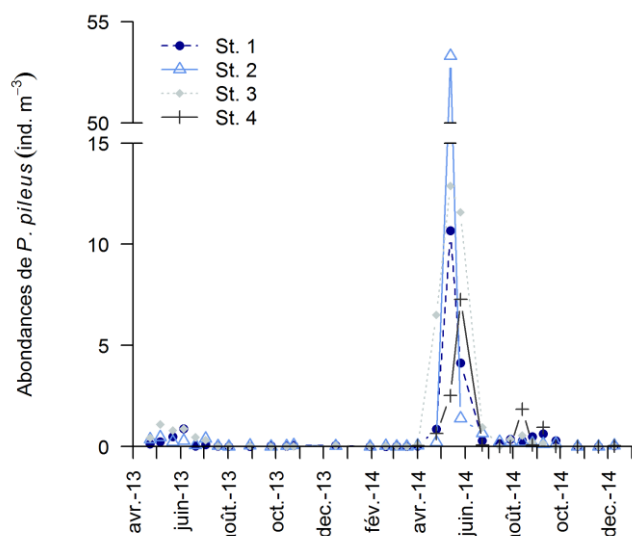


Figure 7. Evolution temporelle de l'abondance de *Pleurobrachia pileus* (ind. m⁻³) au cours des suivis annuels 2013-2014.

communautés zooplanctoniques (suivi SOMLIT⁹ ; Suivi IGA) permettent de surveiller l'apparition des blooms récurrents de *P. pileus* dont les abondances peuvent atteindre 8 à 21 ind. m⁻³ (Van der Veer et Sadée 1984 ; Antajan et al. 2014a ; Frost et al. 2012). Le suivi 2014 a confirmé la présence de cette espèce à l'intérieur du Port Ouest tout au long de l'année, mais avec des abondances beaucoup plus élevées au moment de la prolifération printanière 2014 que celles atteintes en 2013 (Figure 7).

Le début de l'épisode de prolifération du printemps 2014 a été enregistré lors des prélèvements du 25 avril (abondance de 6,51 ind. m⁻³ à l'entrée du canal des Dunes, station 3). Les plus fortes abondances ont été observées lors des prélèvements du 13 mai, avec 53,3 ind. m⁻³ en face du canal d'amenée du CNPE (station 2), 10,67 et 12,88 ind. m⁻³ à l'entrée du port (station 1) et en station 3, respectivement. En comparaison, l'abondance maximale de *P. pileus* observée au moment de la prolifération printanière en 2013 était 10 à 50 fois plus faible et n'atteignait que 1,1 ind. m⁻³ (le 6 mai 2013 en station 3). Fin juin 2014, l'abondance maximale observée était encore de 0,95 ind. m⁻³ en station 3.

A l'issue du suivi 2013, la question de l'existence de zones de rétention dans le fond du port (canal des Dunes notamment) avait été posée et avait motivé l'ajout de la station 4. Les résultats du suivi 2014 n'apportent finalement que peu d'éléments de réponse satisfaisants par rapport à cette question. La dynamique de l'abondance de *P. pileus* était en effet globalement similaire entre les quatre stations. Cependant, en station 3, les abondances ont augmenté plus rapidement en début de prolifération printanière, et se sont maintenues à un niveau élevé au moins 15 jours de plus que dans l'avant-port (stations 1 et 2, Figure 7 et Annexe 3). De la même manière, en station 4, le pic d'abondance printanier a été atteint fin mai (7,3 ind. m⁻³ le 26 mai) alors que les abondances avaient déjà commencé à décliner dans l'avant-port (4,1 et 1,40 ind. m⁻³ en stations 1 et 2, respectivement). Par ailleurs, le mois d'août 2014 a été caractérisé par une augmentation des abondances de *P. pileus* particulièrement marquée en station 4 (1,9 ind. m⁻³ le 13 août). Ce phénomène pourrait être lié à la concentration des individus dans cette zone du port suite aux épisodes venteux du mois d'août et/ou à l'hydrodynamisme du site.

Les spectres de taille des *P. pileus* récoltées aux différents points de prélèvement, ne montrent pas de différence majeure entre les différentes zones du port en 2014, en ce qui concerne la dynamique de croissance ou de recrutement de ces organismes (Figure 8 et Annexes 4 à 7). En revanche, cette dernière révèle clairement la capacité de l'espèce à se reproduire plusieurs fois dans l'année. En effet, des individus de petite taille (1-2 mm) ont pu être observés non seulement au moment de la prolifération printanière, mais aussi début septembre et début

⁹ SOMLIT (Service d'Observation en Milieu Littoral).

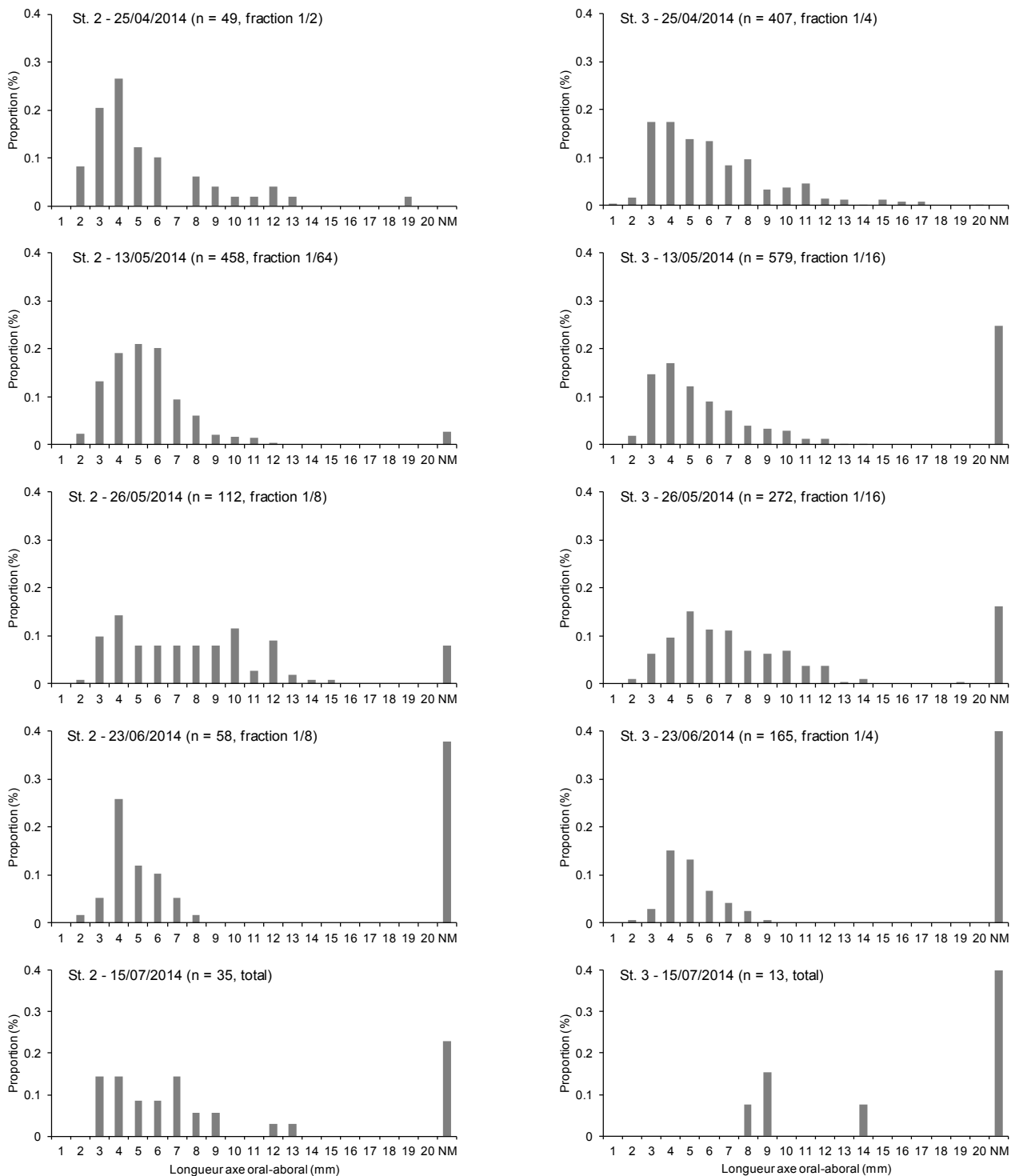


Figure 8. Evolution de la structure de taille des groseilles de mer pendant l'épisode de prolifération printanière de 2014 dans l'avant-port en face du canal d'amenée du CNPE (St. 2), et à l'entrée du canal des Dunes (St. 3). Le nombre d'individus mesurés est précisé entre parenthèses, de même que la fraction de l'échantillon total qui a été analysée. « NM » indique le nombre d'individus dans un état de dégradation trop avancé pour être mesurés.

décembre, et cela sur l'ensemble des stations. Il est à noter cependant que les cténaires se dégradent rapidement, en conséquence de quoi la proportion d'individus trop abîmés pour être mesurés au moment de traiter l'échantillon atteignait parfois > 40% des individus. Les spectres de taille présentés en Figure 8 et Annexes 4 à 7 sont donc à considérer avec précaution.

Beroe sp. – En 2014, les cténaires du genre *Beroe* n'ont été observés qu'au mois d'avril (présents à toutes les stations, max = 0,03 ind. m⁻³ en station 3 le 25 avril), ainsi qu'au mois de septembre (stations 2 et 3, le 25 septembre ; Annexe 3). Cette espèce commune, prédatrice entre autre de *Pleurobrachia pileus*, avait été observée à toutes les saisons lors du suivi 2013 (avec un maximum de 0,13 ind. m⁻³ observé en station 3 le 6 mai 2013). La faible abondance de cette espèce en 2014 pourrait avoir contribué au développement des fortes abondances de *P. pileus* observées en 2014.

Mnemiopsis leidyi. – Cette espèce originaire d'Amérique du Nord a été détectée pour la première fois dans le Port de Dunkerque en 2009 (Antajan et al. 2014b). La surveillance de cette espèce potentiellement invasive et pouvant atteindre des densités très fortes (ex. dans le Spuikom à Oostende, Belgique; Van Gindereuren et al. 2012 ; Vansteenbrugge et al. 2015) était un objectif principal des suivis 2013-2014. En 2014, comme en 2013, l'espèce n'a été présente que pendant les mois d'automne (octobre-décembre), avec 3 individus récoltés le 9 décembre 2014 correspondant à une abondance 0,004 ind. m⁻³ (Annexe 3). Cette abondance est plus faible que celles observées en 2013 (maximum 0,02 ind. m⁻³). Cependant, il est à noter que le 19 novembre, de nombreux *M. leidyi* (plusieurs par m²) ont été observés depuis le quai d'embarquement, démontrant la présence relativement importante de l'espèce dans certaines zones du port. De plus, le suivi écologique réalisé par l'Ifremer au canal d'aménée du CNPE de Gravelines a également permis de mettre en évidence la présence de *M. leidyi* de septembre à décembre 2014, et une abondance maximale de 0,132 ind. m⁻³ le 20 novembre (14 individus récoltés au filet Bongo; Antajan 2014a et comm. pers.). Cette période était caractérisée par des eaux dont la température était comprise entre 9,2°C et 15,8°C et une salinité comprise entre 33,8 et 34,2.

2.3.2. Méduses hydrozoaires

Le suivi 2014 a confirmé la présence de nombreuses espèces d'hydroméduses dans le Port Ouest (Annexes 8 et 9) : *Aequorea* sp., *Clytia hemisphaerica* ; *Corymorpha nutans* ; *Codonium* sp., *Eirene viridula* ; *Eucheilota maculata* ; *Eutima gracilis* ; *Eutima gegenbauri* ; *Eutonina indicans* ; *Lovenella assimilis* ; *Nemopsis bachei* ; *Obelia* sp. ; *Phialella quadrata* ; *Sarsia* spp. ; *Tima bairdi* et *Turritopsis* sp.. Ces méduses mesurent pour la plupart moins de 1,5 cm de diamètre, à l'exception notable d'*Aequorea* sp. (pouvant atteindre des tailles supérieures à 10 cm) et d'*Eutonina indicans* (> 2 cm).

De janvier à mi-mars, les hydroméduses étaient rares (< 0,001 ind. m⁻³ ; Figure 9). Au printemps, les premières espèces observées étaient *C. hemisphaerica* et *P. quadrata* (en mars et à toutes les stations). A partir du mois d'avril, *C. hemisphaerica* dominait la communauté d'hydroméduses (max 0,6 ind. m⁻³ le 25 avril en station 3). Cette espèce est ensuite restée présente tout au long du suivi mais à des abondances relativement faibles (\leq 0,2 ind. m⁻³). Fin mai, une prolifération importante de méduses du genre *Codonium* a été observée (3,7 et 1,0 ind. m⁻³ en stations 1 et 2 le 26 mai). Cette prolifération de *Codonium* a été suivie d'une prolifération d'*E. maculata* (2,3 ind. m⁻³ en station 1 le 23 juin) qui est restée dominante le reste de l'année. *Eucheilota maculata* a connu deux autres phases de prolifération : une au mois d'août (0,5 ind. m⁻³ en station 2 le 13 août) et une à l'automne (1,9 ind. m⁻³ le 25 septembre en station 2). A partir de fin octobre les abondances d'hydroméduses sont redevenues faibles, avec cependant une légère hausse de l'abondance de *C. hemisphaerica* et *E. maculata* début décembre. A noter également, comme en 2013, la présence de *Nemopsis bachei* dans la zone d'étude. Cette espèce a été détectée une première fois le 25 avril en stations 2, 3 et 4, avec des abondances faibles. De nouveau, elle a été observée à partir du 23 juin en stations 3 et 4. A partir de cette date, *N. bachei* était présente dans l'ensemble des échantillons jusque début août, avec des abondances plus élevées (max = 0,77 ind. m⁻³ en station 2 le 15 juillet 2014) qu'en 2013 (max = 0,02 ind. m⁻³ en station 1 le 5 juin 2013). L'espèce était absente des prélèvements effectués fin août, puis à nouveau présente à toutes les stations le 25 septembre (max = 0,4 ind. m⁻³ en station 1).

Enfin, le suivi 2013 avait permis de documenter la présence dans le Port Ouest de *Lovenella assimilis*, une hydroméduse originaire d'Asie dont la présence dans la région n'avait été observée jusque-là que dans les ports de Calais, Boulogne-sur-Mer et sur le point SOMLIT (Brylinski et al. *in press*). En 2014, trois méduses de cette espèce ont été observées : une le 26 août en station 2, une le 9 septembre en station 2, et une le 23 octobre en station 4.

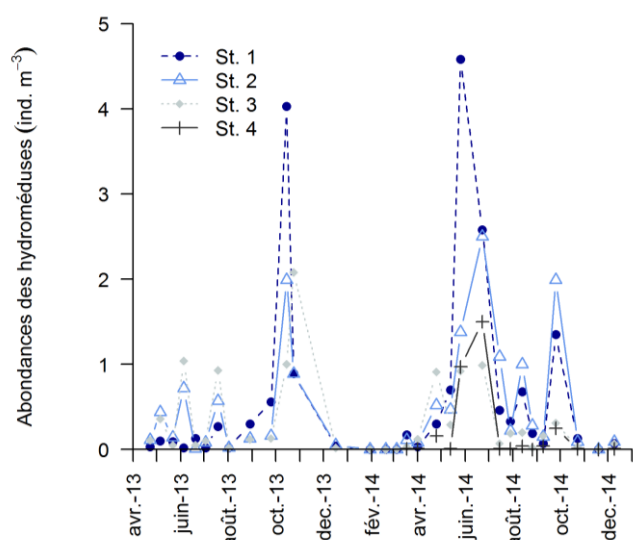


Figure 9. Evolution temporelle de l'abondance totale d'hydroméduses (ind. m⁻³) au cours de l'année 2014.

2.3.3. Méduses scyphozoaires

Trois espèces de scyphoméduses ont été observées dans le Port Ouest en 2014 : *Cyanea lamarckii*, *Rhizostoma octopus* et *Chrysaora hysoscella*. En 2014, l'espèce *Aurelia aurita* n'a été observée que dans le Port Est.

Le filet utilisé lors des prélèvements (WP3; 1 mm de vide de maille) n'étant pas approprié pour une évaluation quantitative de l'abondance de ces espèces (qui mesurent fréquemment plus de 10 cm), les résultats reportés ici ne sont pas systématiquement convertis en abondances (ind. m⁻³).

Cyanea lamarckii. – Cette espèce facilement reconnaissable car elle a le plus souvent une coloration bleue, n'a été observée qu'une seule fois en 2014. Il s'agissait d'un individu de 7 cm de diamètre présent dans le prélèvement effectué le 23 juin en station 1. En 2013, 4 individus avaient été observés en juin en station 1 (2 individus le 5 juin, 2 le 20 juin, 5-7 cm de diamètre).

Rhizostoma octopus. – Cette espèce est caractérisée par une structure externe très particulière, avec notamment des tissus beaucoup plus épais et « solides » que les autres espèces, et des individus adultes pouvant mesurer plus de 30 cm de diamètre. Seuls deux individus ont été observés en 2014 : un le 13 août et le second le 26 août, ces derniers mesurant respectivement 2 et 6 cm de diamètre. En 2013, 11 individus avaient été observés en juillet (en station 1) et un autre en octobre.

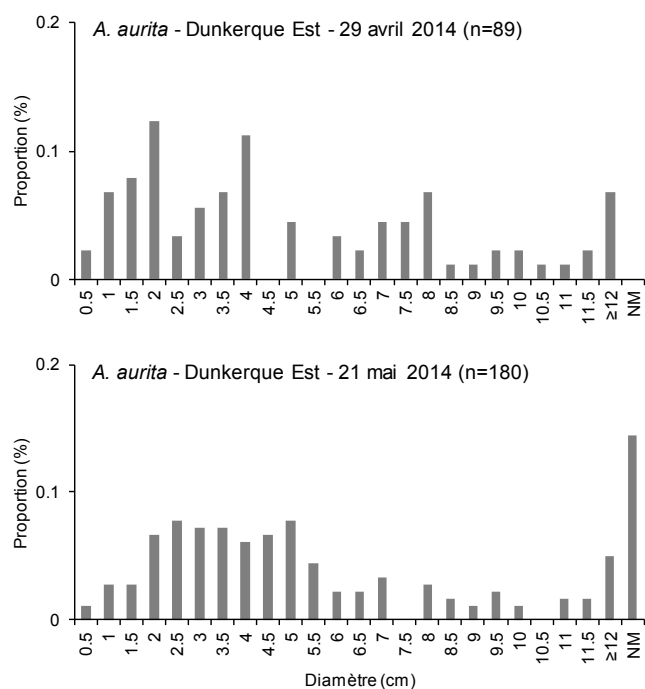
Chrysaora hysoscella. – Cette espèce était présente dans le Port Ouest de juin à août. Au maximum 6 individus ont pu être collectés au cours d'une pêche de 10 min. au filet WP3. Ils mesuraient de 1 à 22 cm de diamètre. En 2013, cette espèce n'avait été observée qu'en août et septembre.

Outre les stades méduses, des éphyrules (parfois difficiles à identifier au niveau spécifique) étaient présentes dans le port Ouest de janvier à septembre 2014, ainsi qu'en décembre. Les plus fortes abondances ont été observées le 26 mai (0,04 ind. m⁻³ en station 3), laissant penser qu'il s'agissait d'éphyrules de *C. hysoscella*.

Aurelia aurita. – En 2014, deux bassins du Port Est de Dunkerque (Bassin du Commerce et Forme 4) ont été prospectés à plusieurs occasions. Dès le mois d'avril, de fortes densités d'*A. aurita* ont été observées à la forme 4 (2,9 ind. m⁻³ le 29 avril) et dans le bassin du commerce (1,2 ind. m⁻³ le 16 avril). Les abondances de ces dernières ont continué à augmenter jusqu'au mois de mai, atteignant plus de 7 ind. m⁻³ dans le Bassin du Commerce le 21 mai (pêche de surface au filet WP3 sur une distance de 50 m). Les individus capturés dans la Forme 4 le 16 avril étaient essentiellement des éphyrules et post-éphyrules. Les individus récoltés dans le bassin du commerce le 29 avril et le 21 mai mesuraient entre 0,5 cm et 22,5 cm de diamètre (Figure 10). En dépit de ces très fortes densités dans le Port Est au printemps 2014 (Figure 10), aucun individu de cette espèce n'a été observé dans le Port Ouest



Figure 10. Structure de taille des méduses *Aurelia aurita* dans le Port Est de Dunkerque (Bassin du Commerce) au printemps 2014. Le nombre d'individus mesurés est indiqué entre parenthèses. « NM » indique le nombre d'individus dans un état de dégradation trop avancé pour être mesurés. La photo a été prise le 21 mai 2014.



en 2014. Cela suggère l'absence de transfert de méduses entre ces deux zones pendant les périodes de suivi. Fin septembre, *A. aurita* était toujours présente dans la Forme 4 où trois individus de grande taille (25 ; 27 ; et 34 cm de diamètre, respectivement) ont été récoltés. Quelques *Chrysaora hysoscella* ont également été observées dans le Port Est en juillet 2014.

2.3.4. Autres macrozooplanctones

En dehors du plancton gélatineux, les principaux groupes macrozooplanctoniques observés lors du suivi 2013-2014 étaient les mysidacées, les appendiculaires¹⁰, les chaetognathes, les crustacés décapodes (stades zoé et mégalopes d'anomoures et de brachyours ; Annexe 10) et les téléostéens (larves et œufs de poissons). Le méroplancton constituait l'essentiel du macrozooplancton, sauf pendant les mois d'octobre à janvier (Figure 11).

Les périodes printanière et estivale marquent l'augmentation des composantes méroplanctoniques en lien avec le cycle reproducteur des adultes (benthiques ou pélagiques). Les larves de Brachyours comme celles d'Anomoures ont suivi cette dynamique saisonnière avec des maxima d'abondance dans les stations les plus internes au port en 2013 et 2014 (maximum de 34,3 ind. m⁻³ sur la station 3 en 2013 et 43,5 ind. m⁻³ en station 4 en 2014 ; Figure 12).

Une variabilité importante de cette composante a été observée entre les stations internes et externes du port. Ainsi, les stations 1 et 2 présentaient un pic d'abondance en mai 2014 alors que pour les stations 3 et 4, deux pics ont été observés, en juin et août, respectivement. Enfin, une coïncidence remarquable peut être mise en évidence entre la prolifération printanière de *P. pileus* (cf. §2.3.1. Figure 7), la prolifération estivale des hydroméduses (cf. §2.3.2. figure 9) et les pics d'abondance des larves de Brachyours et d'Anomoures (Figure 12). Par ailleurs, l'observation des échantillons vivants a suggéré une possible prédation de ces larves sur le plancton gélatineux comme cela a déjà été démontré par Esser et al. (2004).

Les œufs représentaient la composante dominante des téléostéens, en particulier au printemps et en été, sur l'ensemble des stations (Figure 13). L'abondance maximale qui atteignait 0,8 ind. m⁻³ en station 3 le 19 juillet 2013 pour les œufs de poissons a été multipliée par 10 en 2014 avec une valeur maximale de 7,9 ind. m⁻³ le 1^{er} avril en station 1. Un gradient d'abondance a aussi pu être observé entre l'entrée du port (stations 1 et 2) et les stations plus internes (station 3 et 4).

¹⁰ Les appendiculaires étant sous échantillonnés dans le filet WP3, ils ne seront pas présentés ici. Pour la description voir § 2.4.2 - Figure 18)

Suivi du plancton gélatineux dans le Port de Dunkerque

Année 2014

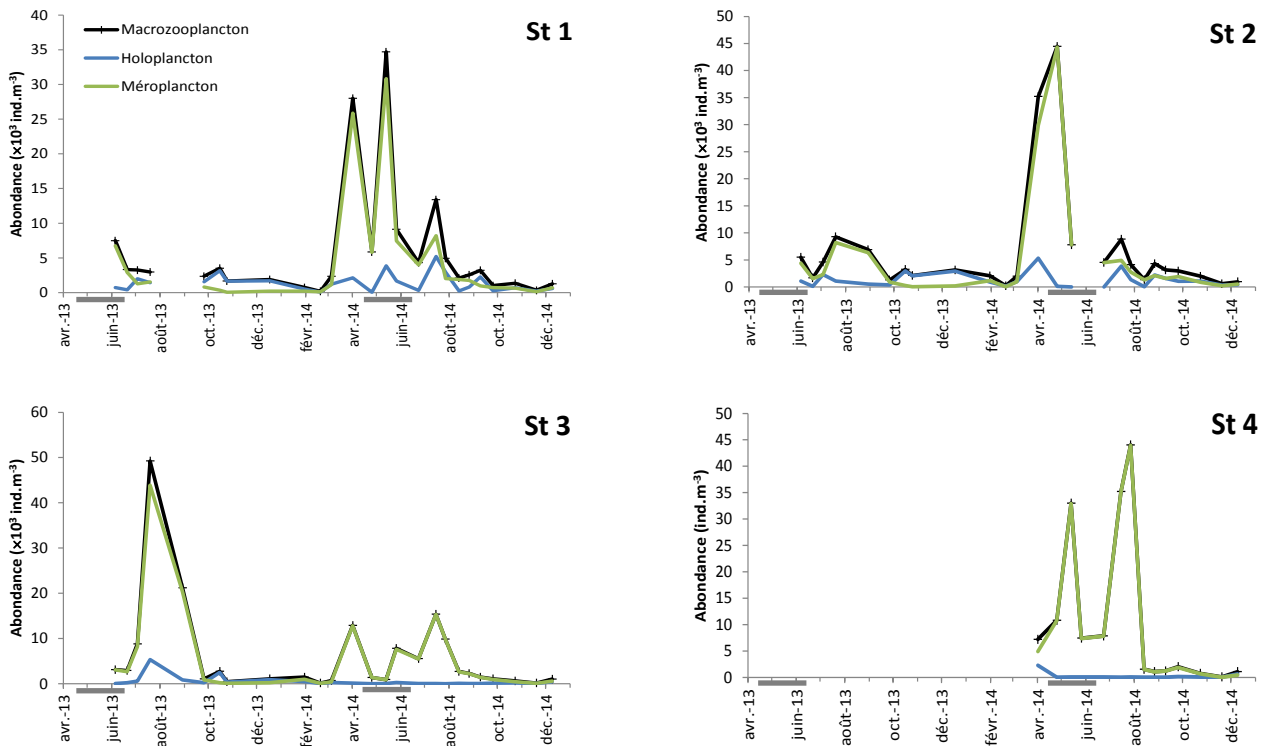


Figure 11. Evolution temporelle de l'abondance totale du macrozooplancton ($> 1 \text{ mm}$; ind. m^{-3}), des autres organismes holoplanctoniques et méroplanctoniques qui le composent. Notez le changement d'échelle de l'axe des ordonnées en station 4. Les barres grises représentent les périodes de prolifération du plancton gélatineux (cf. § 2.3.1-3.).

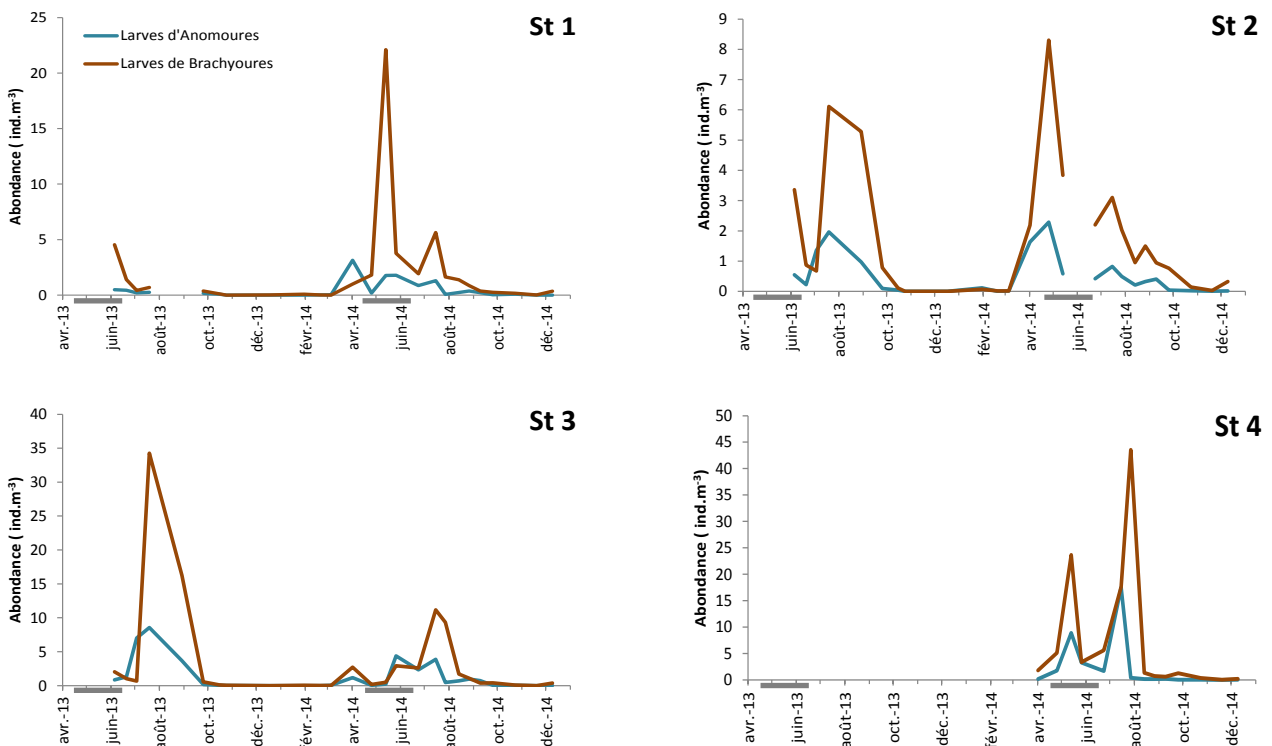


Figure 12. Evolution temporelle de l'abondance des larves de décapodes Brachyours et Anomours. Les barres grises représentent les périodes de prolifération du plancton gélatineux (cf. § 2.3.1-3.).

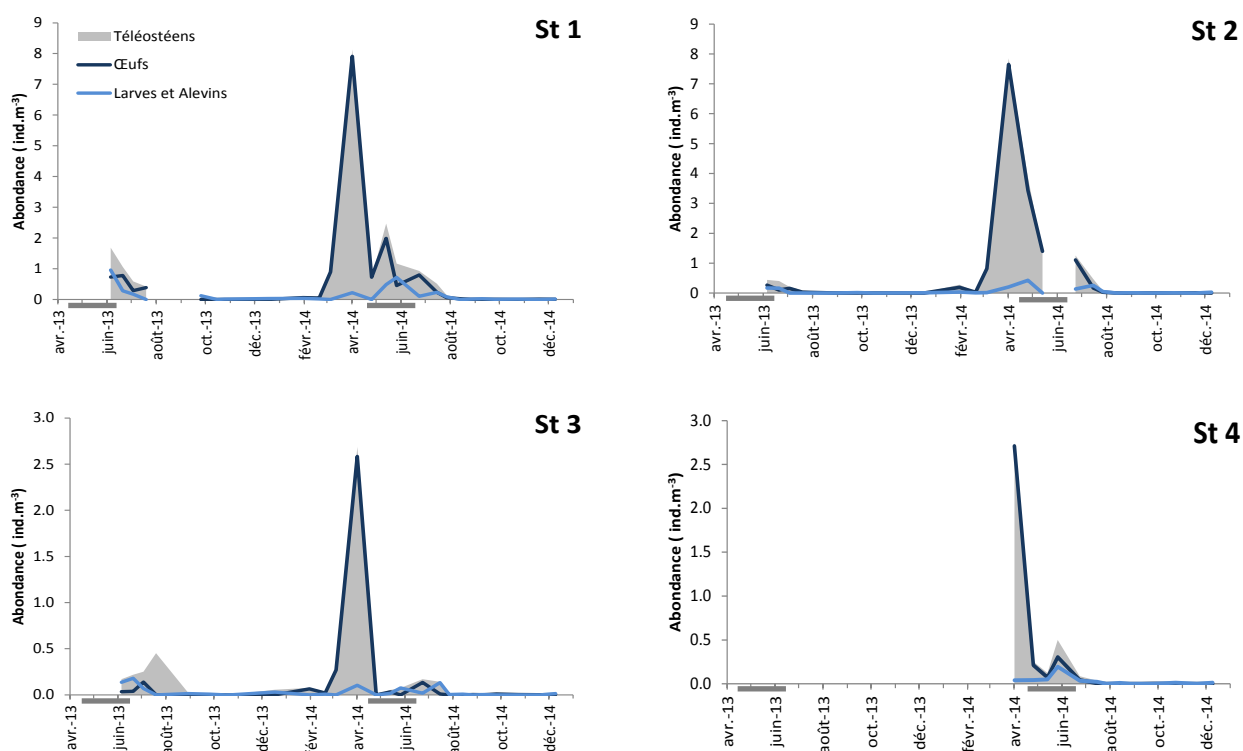


Figure 13. Evolution temporelle de l'abondance des Téléostéens (stades œufs, larves et alevins). Notez le changement d'échelle de l'axe des ordonnées en stations 3 et 4. Les barres grises représentent les périodes de prolifération du plancton gélatineux (cf. § 2.3.1-3.).

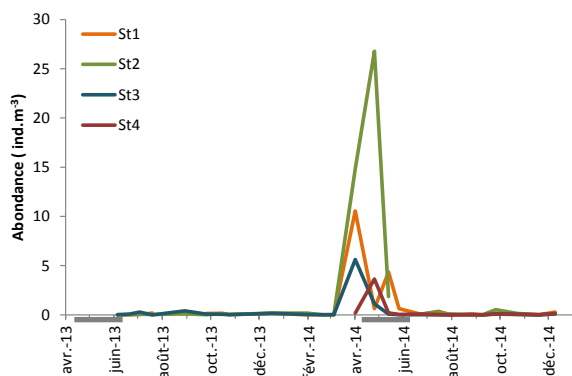


Figure 14. Evolution temporelle de l'abondance des Annélides. Les barres grises représentent les périodes de prolifération du plancton gélatineux (cf. § 2.3.1-3.).

Les larves d'annélides (essentiellement *Lanice conchilega*) représentaient la composante majeure du méroplancton et les abondances maximales au printemps, faisant suite au bloom phytoplanctonique (Figure 14). Les maxima ont été observés en avril et mai 2014 atteignant 26,8 ind. m⁻³ en station 2 et 10,5 ind. m⁻³ en station 1. La même saisonnalité a pu être observée aux stations les plus internes avec des abondances 2 à 5 fois plus faibles.

Enfin, les mysidacées présentaient une très forte variabilité d'abondance (min-max : 0 - 5,2 ind. m⁻³) tout au long de l'année sans réel pattern saisonnier.

2.4. Mésozooplancton (> 200 µm)

2.4.1. Abondance totale et composition

L'abondance du mésozooplancton (> 200 µm) a suivi une variabilité saisonnière classique en 2013 et 2014 avec des valeurs maximales au printemps s'échelonnant de $1,7 \times 10^5$ pour la station 3, à $1,1 \times 10^5$ ind. m^{-3} pour la station 1 (Figure 15 et Annexes 11 et 12). L'abondance totale était globalement plus faible en 2014 qu'en 2013 (maximum $2,5 \times 10^4$ ind. m^{-3} en station 2). Les valeurs hivernales étaient les plus faibles et restent inférieures à 2000 ind. m^{-3} . Les maxima zooplanctoniques printaniers suivaient le calendrier de production phytoplanctonique représenté par l'évolution des concentrations en chlorophylle *a* dans le milieu (cf. Figure 5). En général, un décalage de pics entre concentration en chlorophylle *a* et abondance zooplanctonique est observé et correspond au temps de génération de la communauté zooplanctonique. Il est à noter également que les périodes de proliférations printanière et estivale du plancton gélatineux (i.e. *P. pileus* puis hydroméduses) ont coïncidé avec l'augmentation de l'abondance zooplanctonique, traduisant une relation proie-prédateur entre ces deux compartiments (cf. Figures 6 et 15).

Le mésozooplancton était dominé les deux années par les organismes holoplanctoniques qui réalisent la totalité de leur cycle de vie dans la colonne d'eau et représentaient 25 à 99% du zooplancton total.

Le méroplancton regroupe les organismes zooplanctoniques temporaires, c'est à dire ceux dont une partie seulement du cycle vital est effectué dans la colonne d'eau. Au cours des suivis 2013 et 2014, il s'agissait principalement de larves pélagiques émises par les adultes benthiques errants (e.g. annélides) ou fixés (e.g. mollusques et cirripèdes). Leur contribution au mésozooplancton total est restée faible (minimum 0,4%), sauf pendant les phases de reproduction des espèces benthiques dont elles sont issues qui coïncident avec la période printanière et/ou estivale. Leur contribution peut également être importante pendant la période hivernale, lorsque les organismes sont remis en suspension dans la colonne d'eau, suite à des événements venteux. Cela est illustré sur toutes les stations présentant ponctuellement une forte contribution du méroplancton au plancton total en hiver (e.g. jusque 75% pour la station 3 en janvier 2014).

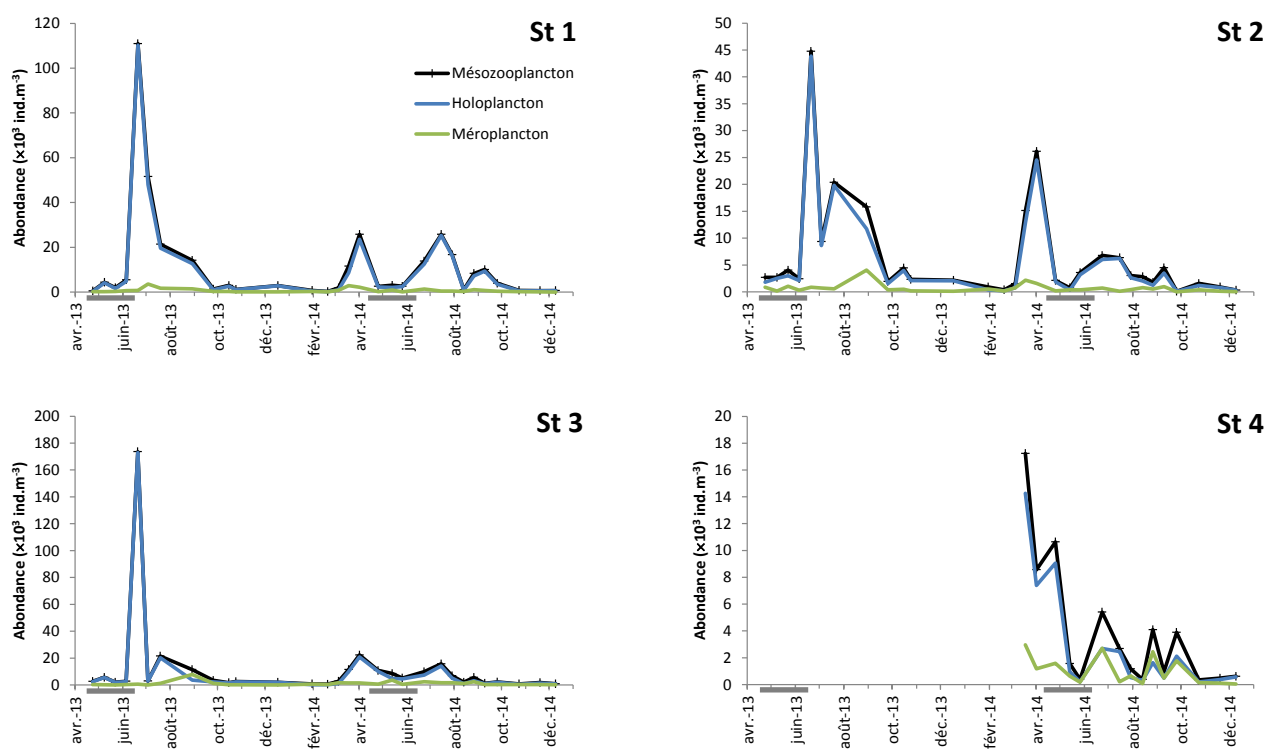


Figure 15. Evolution temporelle de l'abondance totale du mésozooplancton ($\times 10^3$ ind. m^{-3}), de l'holoplancton et du méroplancton des suivis 2013 et 2014. Les barres grises représentent les périodes de prolifération du plancton gélatineux (cf. § 2.3.1-3).

2.4.2. Holoplancton

L'holoplancton est composé de deux groupes taxonomiques majeurs : les **noctiluques** (*Noctiluca scintillans*; Dinoflagellés) et les **copépodes** (Figure 16, Annexes 11 et 12).

Les **noctiluques** ont été observées sur les quatre stations dès avril en 2013 et 2014 et apparaissent donc en même temps que la prolifération du plancton gélatineux. Leur maximum d'abondance a été observé fin juin 2013 (20/06/13) avec $1,1 \times 10^5$ ind. m^{-3} en station 1, $4,4 \times 10^4$ ind. m^{-3} en station 2 et $1,7 \times 10^5$ ind. m^{-3} en station 3 (Figure 16). En 2014, ces maxima sont plus faibles et plus tardifs (15 juillet) sur les stations 1 à 3 et atteignent $1,7 \times 10^4$ ind. m^{-3} en station 1, $5,0 \times 10^3$ ind. m^{-3} en station 2, et $8,0 \times 10^3$ ind. m^{-3} en station 3. Pour la station 4, le maximum ($1,0 \times 10^3$ ind. m^{-3}) a été atteint dès le 23 juin. Les poussées de *N. scintillans* sont des événements écologiques mondialement observés dans les eaux néritiques côtières (Enomoto 1956 ; Le Fèvre et Grall 1970 ; Yung *et al.* 1997 ; Sautour *et al.* 2000 ; Fock et Greve 2002) initiés à la fois par l'hydrologie, l'état de maturité de l'écosystème, et les conditions trophiques du milieu. La capacité des noctiluques à se développer dépend (i) des capacités de l'espèce à atteindre les couches superficielles (plus productives) de la colonne d'eau et (ii) de la turbulence relative des eaux (Pérès *et al.* 1986). En réalité, les noctiluques sont présentes tout au long de l'année dans la colonne d'eau où elles peuvent subsister à l'état de dormance (Uhlig et Salhing 1990). L'instauration de conditions hydrologiques et trophiques favorables (périodes de stabilité des masses d'eau, fronts associés à des zones de convergence) ainsi que leur distribution en essais permettent leur développement ponctuel. En mer du Nord, les blooms de noctiluques sont essentiellement conditionnés par la dynamique de populations d'autres organismes zooplanctoniques par le biais des relations proies-prédateurs (cténophores, chaetognathes, hydroméduses et nauplii de copépodes; Fock et Greeve 2002).

Sur le site du port de Dunkerque, l'origine néritique des noctiluques est indéniable compte tenu des forts effectifs observés à l'entrée du port (station 1). Par contre, l'observation d'abondances moindres en station 2 par rapport aux stations 1 (entrée du port) et 3 (canal des dunes) pourrait s'expliquer (i) par l'existence d'une zone d'accumulation des organismes dans la partie la plus interne du port (i.e. partie plus abritée et moins turbulente; cf. § 2.3.1) mais également (ii) par la position intermédiaire de la station 2 entre l'avant-port et l'arrière-port.

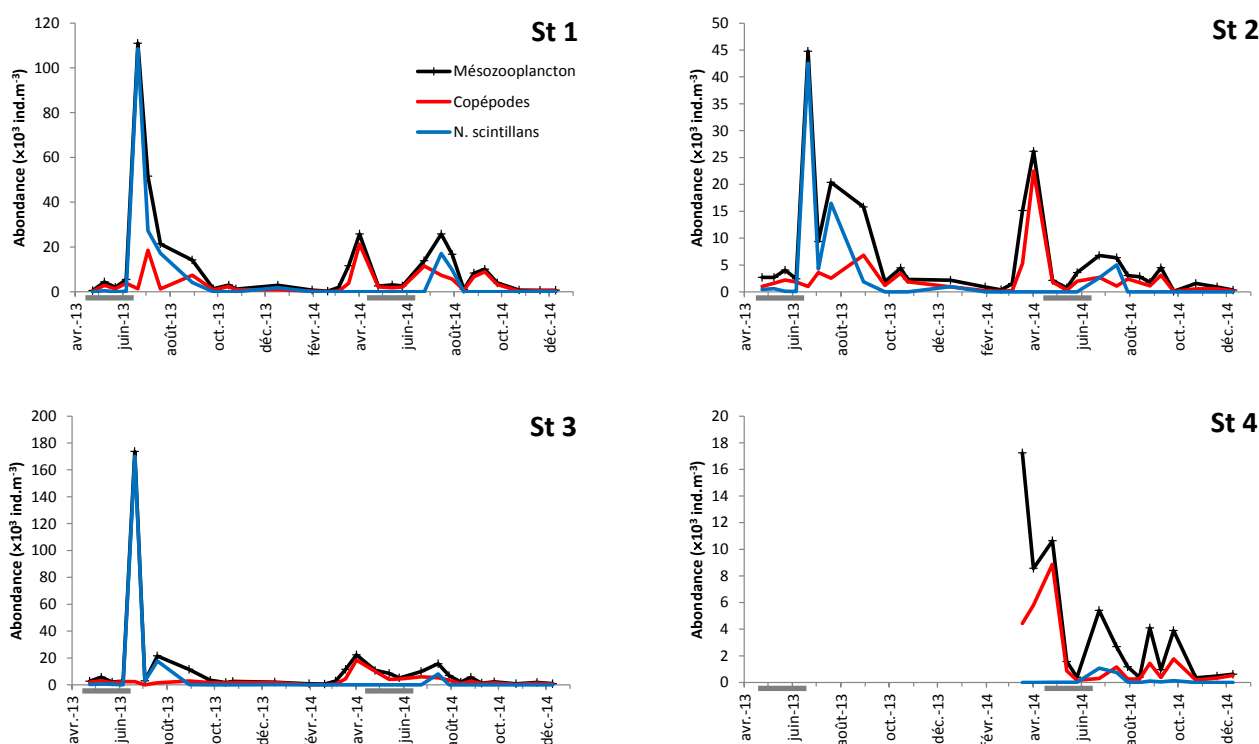


Figure 16. Evolution de l'abondance totale du mésozooplancton ($\times 10^3$ ind. m^{-3}), des copépodes et des noctiluques en 2013 et 2014. Les barres grises représentent les périodes de prolifération du plancton gélatineux.

La disparition des noctiluques à la fin du mois d'août s'explique essentiellement par la modification des conditions trophiques du milieu en période estivale (chute des concentrations en chlorophylle *a* ; modification de la structure des communautés phytoplanctoniques vers des cellules de plus petites tailles; Schapira et al. 2008) inappropriées à leur alimentation et leur croissance (Nakamura 1998).

Les **copépodes** représentaient la deuxième composante majoritaire de l'holoplancton en 2013 comme en 2014 avec des abondances relatives variant de 1,3% (pendant le pic de noctiluques) à 96,7%. Ces organismes étaient présents toute l'année. La même évolution temporelle que le zooplancton total a pu être observée avec les abondances les plus élevées sur toutes les stations en avril-mai (de $0,8 \times 10^4$ à $2,2 \times 10^4$ ind. m^{-3}) et des valeurs plus faibles en hiver en 2013 et 2014 (< 500 ind. m^{-3}). La succession des espèces de copépodes est typique de ce qui peut être observé en milieu côtier en Mer du Nord (e.g. Antajan et al. 2014a) et comprend (Figure 17) :

- un assemblage printanier dominé par *Temora longicornis*, *Centropages hamatus* et *Pseudocalanus elongatus*,
- un assemblage estival caractérisé par la présence d'*Euterpina acutifrons*, *Acartia clausi* et *Paracalanus parvus* persistant au début de l'automne et accompagné d'espèces de plus petite taille (Cyclopoïdes; Figure 13).

Il est à noter le développement particulièrement important en 2013 et 2014 de l'espèce *Pseudodiaptomus marinus*. Cette espèce asiatique a été détectée pour la première fois sur les sites de Calais et Gravelines en 2010 et 2011 où elle a été introduite par ballastage (Brylinski et al. 2012). Elle semble depuis étendre sa distribution vers le Nord de la Mer du Nord (côtes hollandaises et Anglaises ; Jha et al. 2013). Les effectifs observés par Antajan et al. (2014a) au niveau du canal d'Amenée jusque octobre 2013 (de 1 à 11 individus par échantillon) sont relativement faibles. En décembre 2013, des abondances de 40 individus par échantillon ont pu être observées en station 3 (soit 160 ind. m^{-3}) et comprenaient un nombre non négligeable de copépodites et de femelles ovigères. En 2014, le maximum d'abondance pour cette espèce atteint $92,5$ ind. m^{-3} en station 1. Il semble donc que sur les deux années de suivi, l'espèce maintienne des effectifs relativement stables sur le site.

Les **appendiculaires** (Figure 18) sont des organismes filtreurs s'alimentant de particules pico- et nano-planctoniques mais également de matière organique dissoute (Gorsky et Fenaux 1998) et présentant des taux de reproduction particulièrement élevés (Hopcroft and Roff 1995; Hopcroft et al. 1998). Au cours du suivi, ils représentaient de $< 1\%$ à $> 60\%$ de l'holoplancton total et étaient particulièrement abondants au printemps 2014. Une seule espèce (*Oikopleura dioica*) était jusqu'à présent observée dans les eaux côtières de la Mer du Nord, sa distribution étant liée à des masses d'eau de plus forte salinité (Wyatt 1973). Son apparition printanière est par ailleurs conforme à ce qui a pu être rapporté dans d'autres zones côtières (e.g. Flores-Coto et al. 2010) ainsi que sur le site de Gravelines (Antajan et al. 2014a). Cette espèce est persistante pendant la période estivale et jusqu'au début de l'automne. En 2013 et en 2014, comme en 1996 et en 2005 (Antajan et al. 2014a), une seconde espèce, *Fritillaria borealis*, a été observée et domine les appendiculaires au printemps 2014. *Fritillaria borealis* est en général caractéristique des eaux côtières moins salées de la Baie Sud de la Mer du Nord. Sa présence dans le port de Dunkerque au printemps 2014 coïncide avec les faibles valeurs de salinité observées à cette période (< 34 ; Figure 4). Par ailleurs, les fortes températures de 2014 comparativement à 2013 pourraient également avoir contribué à son développement rapide (Figure 4).

2.4.3. Méroplancton

La stratégie d'échantillonnage utilisée dans ce travail ne permet de tenir compte que des organismes mésozooplanctoniques ($> 200 \mu m$). La représentativité des organismes méroplanctoniques caractérisés par la présence de stades larvaires de bivalves, gastéropodes, cirripèdes et polychètes est donc probablement sous-estimée (Figure 19 et Annexes 11 et 12).

En 2013-2014, le méroplancton représentait de moins de 1% (Juin 2013) à plus de 70 % (janvier 2014) du zooplancton total. Compte tenu des fortes abondances observées en Station 3 (jusque $7,7 \times 10^3$ ind. m^{-3} en août 2013), l'origine interne des larves de mollusques, de cirripèdes et de polychètes (annélides dominés par *Lanice*

Suivi du plancton gélatineux dans le Port de Dunkerque

Année 2014

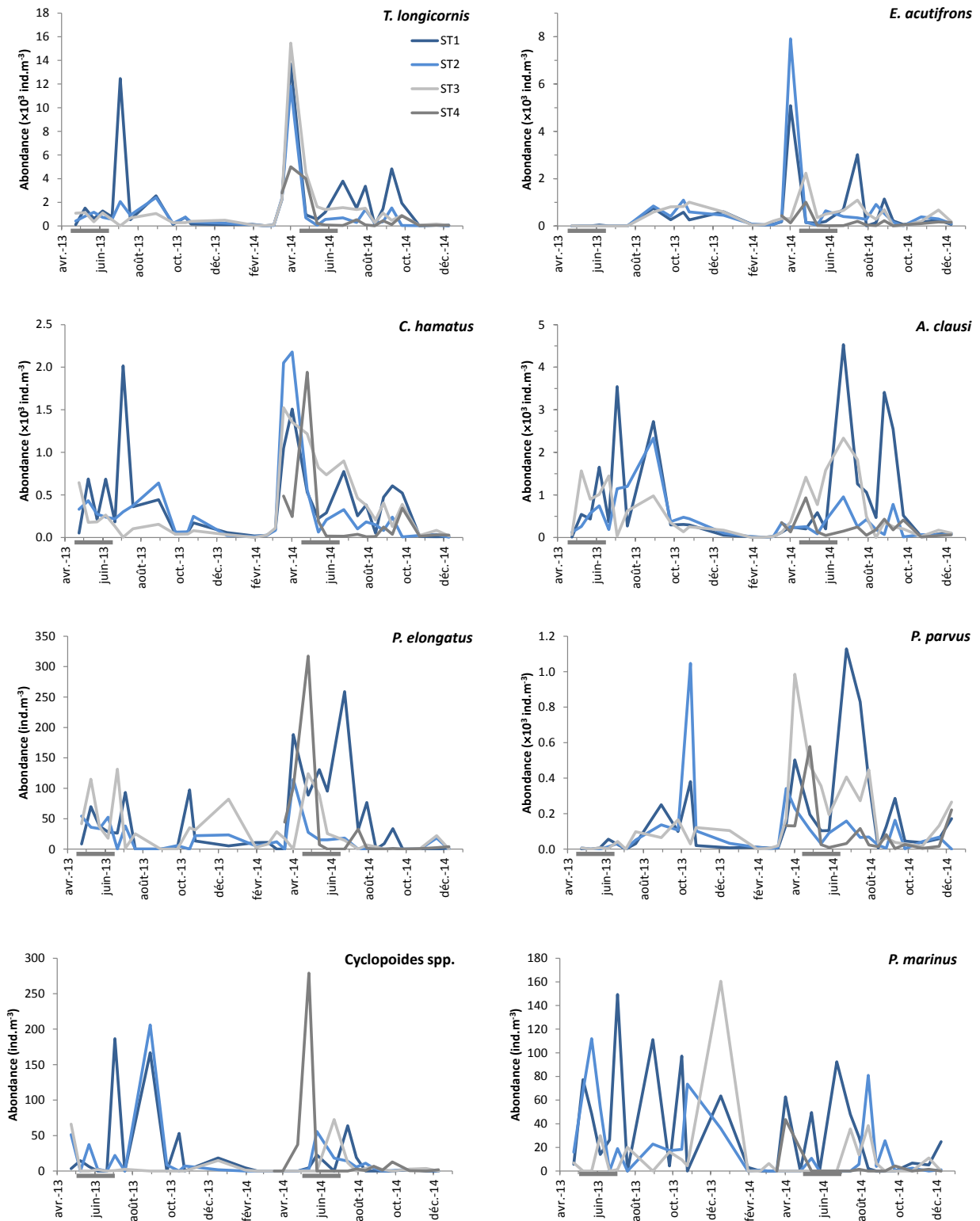


Figure 17. Evolution temporelle de l'abondance des copépodes dominants en 2013 et 2014. Les barres grises représentent les périodes de prolifération du plancton gélatineux (cf § 2.3.1-3.). Notez le changement d'échelle pour *P. elongatus*, *P. marinus* et *Cyclopoïdes spp.*

Suivi du plancton gélatineux dans le Port de Dunkerque

Année 2014

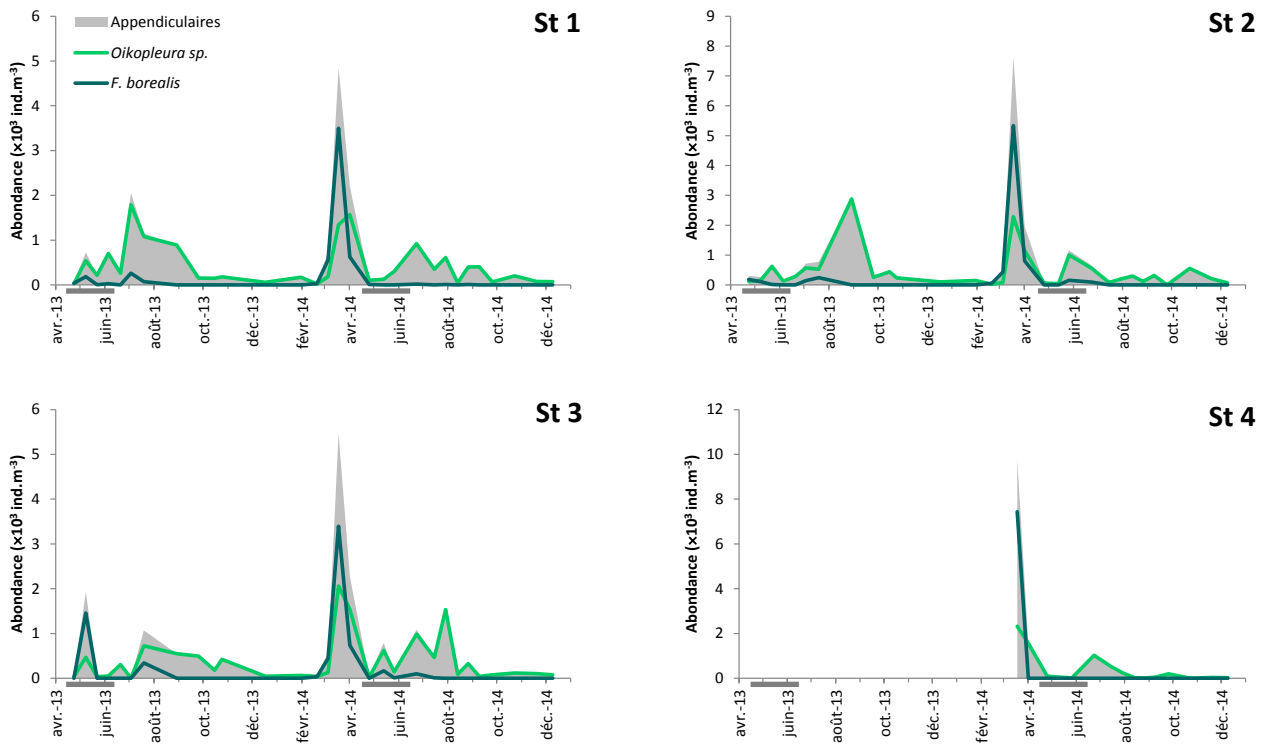


Figure 18. Evolution temporelle de l'abondance des appendiculaires (x10³ ind. m⁻³) en 2013 et 2014. Les barres grises représentent les périodes de prolifération du plancton gélatineux (cf § 2.3.1-3.).

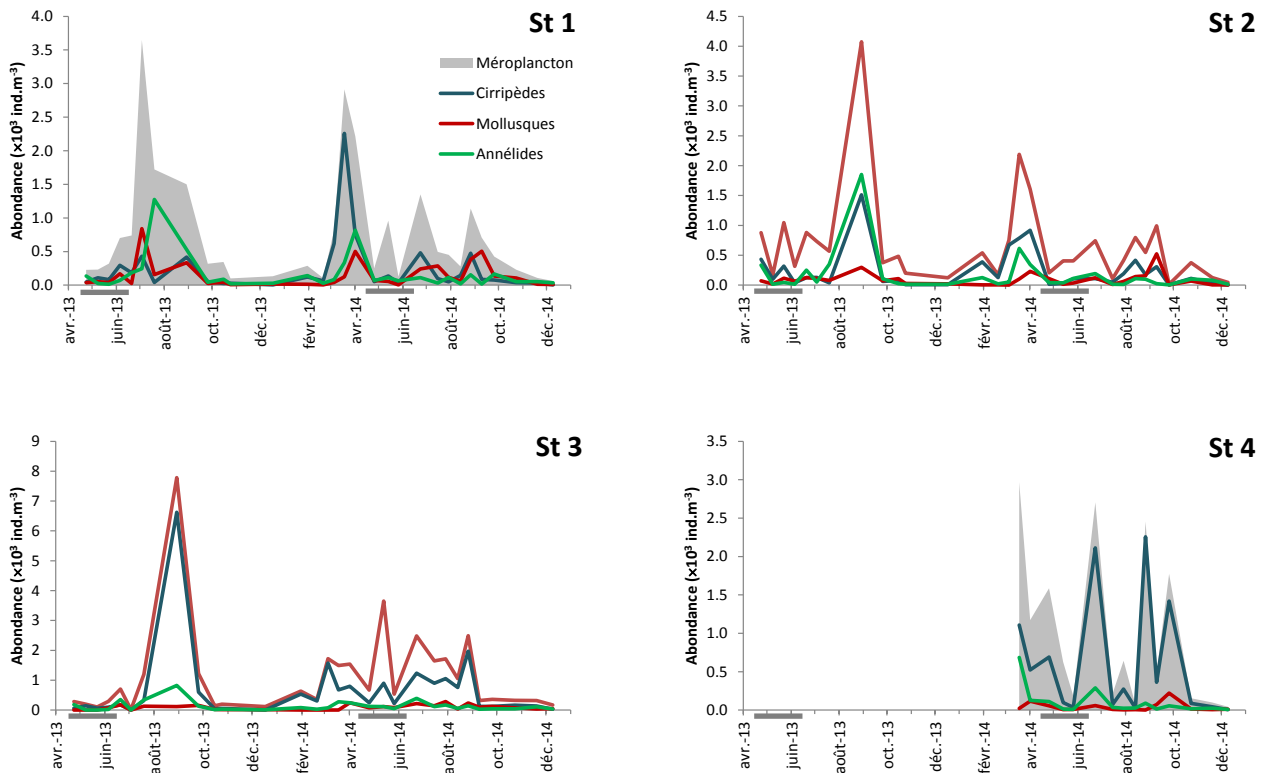


Figure 19. Evolution temporelle de l'abondance du méroplancton total et des organismes méroplanctoniques dominants (x10³ ind. m⁻³) en 2013 et 2014. Les barres grises représentent les périodes de prolifération du plancton gélatineux (cf § 2.3.1-3.).

conchilega) est indiscutable sur le site de Dunkerque. Elle est en accord avec ce qui est généralement observé pour le méroplancton, à savoir que les larves émises sont plus abondantes près des pontons et des substrats sur lesquels elles peuvent sédimenter et s'établir.

Au cours du suivi, l'apparition de ces organismes étaient essentiellement limitée (i) à la période printano-estivale pour les larves de mollusques et de cirripèdes, (ii) à la période printanière et automnale pour les larves de polychètes. L'évolution d'abondance de ces organismes est en fait conditionnée par le cycle reproducteur des adultes sédentaires. La saison de reproduction des mollusques s'étend en effet de début juin à mi-septembre et la date de déclenchement des premières pontes est conditionnée par la température de l'eau.

3. ELEMENTS DE CONCLUSION

Les suivis réalisés dans le port Ouest de Dunkerque en 2013 et 2014 ont mis en évidence deux années météorologiquement très contrastées. Ces différences ont eu des effets non négligeables sur la dynamique des communautés planctoniques surtout au regard du plancton gélatineux.

Ainsi, l'année 2013 caractérisée par un hiver et un printemps particulièrement froids, était marquée par un bloom phytoplanctonique précoce et de faible amplitude (Antajan et al. 2014a). En conséquence, la dynamique des communautés zooplanctoniques a, elle aussi, été caractérisée par des proliférations de gélatineux (*Pleurobrachia pileus*, *Beroe* spp.) relativement faibles par rapport à ce qui a pu être observé dans la région par le passé. La succession temporelle et la composition des communautés zooplanctoniques (e.g. mésozooplancton) restent toutefois très typiques de la Manche Mer du Nord. Il est à noter cependant une augmentation non négligeable et un maintien de l'abondance du copépode Indo-Pacifique *Pseudodiaptomus marinus*, jusqu'alors observé en faible effectif.

L'année 2014, qui a débuté par un hiver doux et un printemps particulièrement chaud, a été caractérisée par l'existence d'un bloom phytoplanctonique d'ampleur et de durée classiques (max : 27,4 $\mu\text{g. L}^{-1}$; mars-avril) par rapport à ce qui peut être observé dans la région (e.g. Delegrange et al. 2015). Cette forte biomasse phytoplanctonique en 2014 a conditionné le développement d'une communauté mésozooplanctonique importante, dont les niveaux d'abondance sont toutefois plus faibles qu'en 2013. En revanche, l'année 2014 a été marquée par des proliférations de *P. pileus* ($> 50 \text{ ind. m}^{-3}$) au printemps et d'hydroméduses (3 à 10 fois plus qu'en 2013) pendant l'été et l'automne très supérieures à celles observées en 2013. Plusieurs hypothèses peuvent être envisagées pour tenter d'expliquer ces différences annuelles du niveau de prolifération du plancton gélatineux, et en particulier pour *P. pileus* :

- La température plus élevée en 2014 peut avoir entraîné une augmentation de la croissance et de la reproduction de *P. pileus*, en influençant le métabolisme. Cette hypothèse est conforme aux observations actuelles reliant l'augmentation de la fréquence et de l'amplitude des proliférations de plancton gélatineux au réchauffement global. Il apparaît difficile de conclure sur cette hypothèse et seules des analyses à long terme reliant variabilité de *P. pileus* et contexte environnemental permettraient d'apporter des éléments de réponses.
- Un effet *bottom-up* (i.e. limitation par la ressource) : les communautés mésozooplanctoniques représentant les proies préférentielles des organismes gélatineux, il est en effet logique de penser qu'une augmentation d'abondance de ces organismes peut favoriser une prolifération des cténaïres. Si le lien prédateurs-proies entre mésozooplancton et *P. pileus* apparaît clairement par le motif de succession temporelle de ces groupes chaque printemps (2013 et 2014, Figure 20), les valeurs d'abondance des copépodes totaux, identiques en 2013 et 2014, ne permettent pas d'expliquer les niveaux de prolifération de *P. pileus* ces deux années. Par contre, ces résultats soulignent la nécessité de réaliser le suivi des populations de *P. pileus* à haute fréquence, en particulier pendant la période printanière. En effet, la structure des communautés zooplanctoniques peut varier de manière importante dans le temps et l'espace suite à des événements climatiques brefs (orages, tempêtes ; Vincent et al. 2002). Le plancton gélatineux étant particulièrement sensibles aux modifications de turbulence (Mianzan et al. 2010), il convient donc de tenir compte de cette variabilité à court terme.

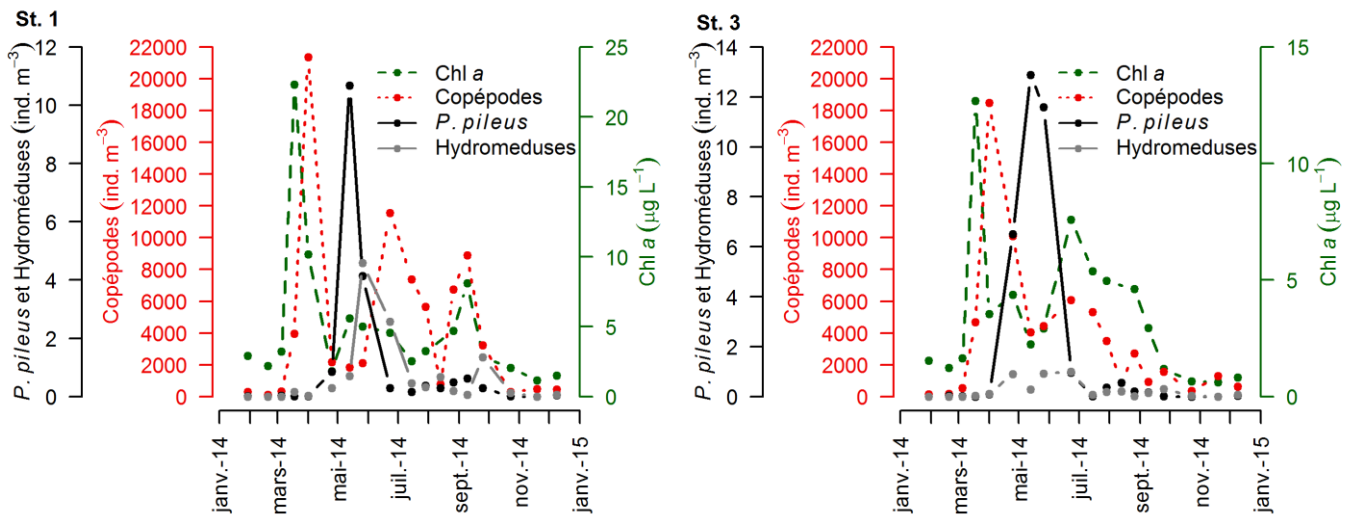


Figure 20. Successions temporelles au sein des communautés planctoniques dans l'avant-port (St. 1) et l'arrière-port (St. 3) de Dunkerque en 2014.

- Un effet *top-down* (i.e. limitation par les prédateurs) : l'année 2014 a été particulièrement marquée par la faible abondance de *Beroe* sp., prédateur naturel de *P. pileus*. L'étude des interactions trophiques entre les cténaires présents dans l'écosystème permettrait de définir si *P. pileus* contribue de manière significative à leur régime alimentaire.

Les résultats des suivis 2013 et 2014 démontrent la forte variabilité interannuelle des abondances printanières de *P. pileus*, mais également la nécessité d'organiser les suivis saisonniers de mi-avril à fin juin afin d'enregistrer correctement la dynamique de prolifération de cette espèce. Ils démontrent également le besoin de réaliser ce type de suivi à plus haute fréquence.

Ce travail représente une contribution nouvelle à l'étude des communautés de méduses hydrozoaires dans la région. La diversité spécifique de ces communautés est apparue comme particulièrement importante (plus de 15 espèces) et montre également l'origine néritique de la plupart des espèces. L'étude détaillée de leur abondance a démontré l'existence d'une succession saisonnière des différentes espèces ainsi qu'un épisode de prolifération automnale. Cependant, en tenant compte des deux années de prospection et des contrastes importants apparaissant à la fois aux niveaux hydrologique et biologique, il est difficile de conclure de manière définitive sur la dynamique saisonnière de ces espèces. D'autre part, si les résultats du suivi 2013-2014 laissaient supposer l'existence d'une zone d'accumulation dans la partie la plus interne du port (station 3), ce schéma de distribution n'apparaît plus clairement en 2014. Dans ce contexte, la poursuite du suivi sur l'année 2014 s'est avérée pertinente dès lors qu'elle a permis d'intégrer la dynamique du plancton gélatineux lors d'une année (hiver-printemps) particulièrement chaude, et ainsi de pouvoir comparer deux années contrastées d'un point de vue climatique et biologique.

Les perspectives de ce travail concernent essentiellement la stratégie d'échantillonnage déployée :

- 1) Nombre de stations. Il paraît inutile de poursuivre le suivi sur autant de stations, car aucune différence significative n'a été mise en évidence au regard des paramètres hydrologiques. Cependant, il conviendrait de conserver une station dans l'avant-port et une plus interne afin de mettre en évidence les différences biologiques (communautés) observées sur les deux années.
- 2) Fréquence d'échantillonnage. Une très forte variabilité des communautés de plancton gélatineux est observée à l'échelle printanière. Une meilleure compréhension de la dynamique du bloom de gélatineux nécessite une mise en place de suivi dès le mois d'avril jusque fin juin et une fréquence d'échantillonnage hebdomadaire.

4. BIBLIOGRAPHIE

- Aminot A et Kerouel R (2004). Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. 2d. Ifremer, 336 p
- Antajan E, Bastian T, Raud T, Brylinski T, Hoffman S, Breton G, Cornille V, Delegrange E, Vincent D (2014b). The invasive ctenophore *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865 along the English Channel and the North Sea French coasts: another introduction pathway in northern European waters? *Aquatic Invasions*, 9(2): 167–173
- Baxter EJ, Sturt M, Ruane NM, Doyle TK, McAllen R, Harman L, Rodger HD (2011). Gill damage to Atlantic Salmon (*Salmo salar*) caused by the common jellyfish (*Aurelia aurita*) under experimental challenge. *PLoS One* doi : 10.1371/journal.pone.0018529
- Bouillon J, Gravili C, Pagès F, Gili J-M, Boero F (2006). An Introduction to Hydrozoa. Paris: Museum National d'Histoire Naturelle. Publication, p. 591
- Brodeur RD, Decker MB, Ciannelli L, Purcell JE, Bond NA, Stabeno PJ, Acuna E, Hunt GL Jr. (2008). Rise and fall of jellyfish in the eastern Bering Sea in relation to climate regime shifts *Prog. Oceanogr.*, 77, 103–111
- Brylinski JM, Antajan E, Vincent D (2012). First record of the Asian Copepod *Pseudodiaptomus marinus* Seto, 1913 (Copepoda : Calanoida : Pseudodiaptomidae) in the southern bight of the North Sea. *Aquatic Invasion*, 7 (4): 577-584
- Brylinski JM, Li LL, Vansteenbrugge L, Antajan A, Hoffman S, Ginderdeuren KV et Vincent D (*in press*). Does the Indo-Pacific leptomedusa *Lovenella assimilis* (Browne, 1905) or *Eucheilota menoni* Kramp, 1959 invade northern European marine waters? Morphological and genetic approaches. *Aquatic Invasions*
- Condon RH, Duarte CM, Pitt KA, Robinson KL, Lucas CH and 17 others. (2013). Global oscillations foretell recurrent jellyfish blooms. *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.*, 110: 1000-1005
- Cornelius PFS (1995a). *North-west European Thecate Hydroids and Their Medusae: Part 1.* (R. S. K. Barnes & J. H. Crothers, Eds.) (Synopses o., p. 386). Field Studies Council
- Cornelius PFS (1995b). *North-west European Thecate Hydroids and Their Medusae: Part 2.* (R. S. K. Barnes & J. H. Crothers, Eds.) (Synopses o., p. 386). Field Studies Council
- Delannoy CMJ, Houghton JDR, Fleming NEC, Ferguson HW (2011). Mauve Stingers (*Pelagia noctiluca*) as carriers of the bacterial fish pathogen *Tenacibaculum maritimum*. *Aquaculture*, 311 (1-4): 255-257.
- Delegrange A, Vincent D, Duret M, Amara R (2015). The use of mussels for mitigating the noxious effect of phytoplankton spring blooms on farmed fish. *Aquacultural Engineering*, 66: 52-61
- Enomoto Y (1956). On the occurrence of the food of *Noctiluca scintillans* (Macartney) in the waters adjacent to the west coast of Kyushu, with special reference to the possibility of the damage caused to the fish egg by that plankton. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 22: 82-88
- Esser M, Greve W, Boersma M (2004). Effects of temperature and the presence of benthic predators on the vertical distribution of the ctenophore *Pleurobrachia pileus*. *Marine Biology*, 145: 595-601
- Flores-Coto C, Sanvicente-Añorve S, Sánchez-Ramírez M (2010). Appendicularian distribution and diversity in the southern Gulf of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81: 123- 131
- Fock HO, Greeve W (2002). Analysis and interpretation of recurrent spatio-temporal patterns in zooplankton dynamics : a case study on *Noctiluca scintillans* (Dinophyceae) in the German Bight (North Sea). *Marine Biology*, 140: 59-73
- Frontier S (1972). Calcul de l'erreur sur un comptage de zooplancton. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 8, 121-132
- Frost JR, Denda A, Fox CK, Jacoby CA, Koppelman R, Nielsen MH, Youngbluth JM (2012). Distribution and trophic links of gelatinous zooplankton on Dogger Bank, North Sea. *Marine Biology*, 159: 239-253

- Gentilhomme V, Lizon F (1998). Seasonal cycle of nitrogen and phytoplankton biomass in a well-mixed coastal system (Eastern English Channel). *Hydrobiologia*, 361: 191-199
- Gorsky G, Fenaux R (1998). The role of appendicularia in marine food webs. In *The Biology of Pelagic Tunicates*, Q. Bone (ed.). Oxford University Press, Oxford. p. 161-169
- Hopcroft RR, Roff JC (1995). Zooplankton growth rates: extraordinary production by the larvacean *Oikopleura dioica* in tropical waters. *Journal of Plankton Research*, 17: 205-220
- Hopcroft RR, Roff JC, Bouman HA (1998). Zooplankton growth rates: The larvaceans Appendicularia, *Fritillaria* and *Oikopleura* in tropical waters. *Journal of Plankton Research*, 20: 539-555
- Jeffrey SW et Humphrey GF (1975). New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol. Pflanzen*, 167, 191-194
- Jha U, Jetter A, Lindley JA, Postel L, Wootton M (2013). Extension of distribution of *Pseudodiaptomus marinus*, an introduced copepod, in the North Sea. *Marine Biodiversity Records: Volume 6* (3 pages)
- Jeffrey SW, Humphrey GF (1975). New spectrophotometric equations for determining chlorophyll a, b c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem Physiol. Pflanz*, 167:191-194
- Le Fèvre J, Grall JR (1970). On the relationships of *Noctiluca* swarming off the western coast of Brittany with hydrological features and plankton characteristics of the environment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 4: 287-306
- Lorenzen CJ (1966). Determination of chlorophyll and pheophytin: spectrophotometric equations. *Limnol. Océanogr.*, 12: 343-346
- Lynam, CP, Hay, SJ, Brierley AS (2004). Interannual variability in abundance of North Sea jellyfish and links to the North Atlantic Oscillation. *Limnol. Oceanogr.*, 49(3): 637-643
- Lynam CP, Lilley MKS, Bastian T, Doyle TK, Beggs SE, Hays GC (2011). Have jellyfish in the Irish Sea benefited from climate change and overfishing? *Global Change Biology*, 17(2): 767-782
- Mianzan HW, Martos P, Costello JH, Guerrero RA (2010). Avoidance of hydrodynamically mixed environments by *Mnemiopsis leidyi* (Ctenophora: Lobata) in open-sea populations from Patagonia, Argentina. *Hydrobiologia*, 645: 113-124
- Mills CE (2001). Jellyfish blooms: are populations increasing globally in response to changing ocean conditions? *Hydrobiologia*, 451: 55-68
- Nakamura Y (1998). Growth and grazing of a large heterotrophic dinoflagellate, *Noctiluca scintillans*, in laboratory cultures. *Journal of Plankton Research*, 20: 1711-1720
- Neveux J (1976). Dosage de la chlorophylle a et de la phéophytine a par fluorimétrie. *Annales de l'Institut Océanographique*, 52: 165-174
- Pérès J- M, Laborde P, Romano J -C, Souza-Lima Y (1986). Eau rouge à *Noctiluca* sur la côte de provence en juin 1984 essai d'interprétation dynamique. *Annales de l'institut Océanographique, Paris*, 62: 85-116
- Purcell JE, Uye S-I, Lo W-T (2007). Anthropogenic causes of jellyfish blooms and direct consequences for humans: a review. *Marine Ecology Progress Series*, 350: 153-174
- Purcell JE (2012). Jellyfish and ctenophore blooms coincide with human proliferations and environmental perturbations. *Annual Review of Marine Sciences*, 4: 209-35
- Rose (1933). Copépodes pélagiques. *Faune de France*, 26, 1-374
- Sautour B, Artigas FL, Delmas D, Herbland H, Laborde P (2000). Grazing impact of micro- and mesozooplankton during a spring situation in coastal waters off the Gironde estuary. *Journal of Plankton Research*, 22: 531-552

- Schapira M, Vincent D, Gentilhomme V, Seuront L (2008). Temporal patterns of phytoplankton assemblages, size spectra and diversity during the wane of a *Phaeocystis globosa* spring bloom in hydrologically contrasted coastal waters. *Journal of Marine Biology Association of United Kingdom*, 88 (4), 649-662
- Seuront L, Vincent D (2008). Increased seawater viscosity, *Phaeocystis globosa* spring bloom and *Temora longicornis* feeding and swimming behaviours. *Marine Ecology Progress Series*, 363: 131-145
- Trébougoff G, Rose M (1957). Manuel de planctologie Méditerranéenne. CNRS (ed), Paris, Tomes I et II, 580 pp et 207pp
- Uhlig G, Salhing G (1990). Long-term studies on *Noctiluca scintillans* in the German Bight population dynamics and red tide phenomena 1968-1988. *Netherland Journal of Sea Research*, 25: 101-112
- Van Ginderdeuren K, Hostens K, Hoffman S, Vansteenbrugge L, Soenen K, De Blauwe H, Robbens J, Vincx M (2012). Distribution of the invasive ctenophore *Mnemiopsis leidyi* in the Belgian part of the North Sea. *Aquatic Invasions*, 7: 163–169
- Van Guelpen L, Markle F D, Duggan DJ (1982). An evaluation of accuracy, precision, and speed of several zooplankton subsampling techniques. *J. Cons. int. Explor. Mer.*, 40: 226-236
- Van der Veer H W, Sadée C F M (1984). Seasonal occurrence of the ctenophore *Pleurobrachia pileus* in the western Dutch Wadden Sea. *Marine Biology*, 79: 219-227
- Vansteenbrugge L, Van Regenmortel T, De Troch M, Vincx M, Hostens K (2015). Gelatinous zooplankton in the Belgian part of the North Sea and the adjacent Schelde estuary: Spatio-temporal distribution patterns and population dynamics. *Journal of Sea Research*, 97: 28-39
- Vincent D, Luczak C, Sautour B (2002). Effects of a brief climatic event on zooplankton community structure and distribution in Arcachon Bay (France). *Journal of Marine Biological Association of U.K.*, 82: 21-30
- Wyatt T (1973). The biology of *Oikopleura dioica* and *Fritillaria borealis* in the southern bight. *Marine Biology*, 22:137-158
- Yung Y-K, Wong CK, Broom MJ, Ogden JA, Chan SCM, Leung Y (1997). Long-term changes in hydrography, nutrients and phytoplankton in Tolo Harbour, Hong Kong. *Hydrobiologia*, 352: 107-115

Rapports

- Antajan E, Delesmont R, Foveau A, Hervio-Heath D, Lefebvre A, Loots C, Luczak C (2014a). Surveillance Ecologique du site de production électronucléaire de Gravelines - Novembre 2012 - Octobre 2013. RST-ODE/littoral/LER/BL/14.01
- SOGREAH. Etudes d'impacts hydrosédimentaires de l'extension du port de Calais. Rapport de Mission 3. Impact du projet à grande échelle. 171 1848 M3-V02, Juillet 2009, 164 pp
- Cellule Police des Eaux Littorales. Bilan des données du Réseau National de Contrôle de la qualité des eaux littorales (RNC) de la région Nord-Pas-de-Calais de 1998 à 2008. Juillet 2009, 38 pp
- Cellule Police des Eaux Littorales. Réseau national de surveillance de la qualité de l'eau et des sédiments des ports maritimes. Bilan dans la région Nord – Pas-de-Calais de 1997 à 2008. Juillet 2009, 35pp
- Vincent D, Bastian T, Antajan E, Brylinsky J-M, Cornille V, Cordier R, Raud T, Delegrange A, Bandura C, Podevin M, Timmerman C-A, Bialais C (2014). Suivi du plancton gélatineux dans le port de Dunkerque (Avril 2013 – Avril 2014). 41 pp

ANNEXES

Suivi du plancton gélatineux dans le Port de Dunkerque

Année 2014

Annexe 1. Valeurs des principaux paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau mesurés dans le Port Ouest de Dunkerque en 2014. Pour chaque paramètre le tableau montre la moyenne des valeurs mesurées sur l'ensemble de la colonne d'eau.

	Température (°C)				Salinité				ODO (mg. L ⁻¹)				Turbidité (NTU)			
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.1	St.2	St.3	St.4	St.1	St.2	St.3	St.4	St.1	St.2	St.3	St.4
30-janv.-14	8.52	8.42	8.36	-	34.00	34.01	33.96	-	8.97	9.00	9.01	-	38.20	5.63	3.11	-
19-févr.-14	8.35	8.30	8.21	-	33.48	33.48	33.33	-	9.06	9.08	9.15	-	48.19	12.13	3.90	-
5-mars-14	8.88	8.98	8.79	-	33.97	33.94	33.79	-	9.08	9.06	9.12	-	75.18	21.46	5.63	-
1-avr.-14	10.42	10.42	10.33	10.31	33.67	33.79	33.76	10.31	10.41	10.42	10.16	9.92	51.35	26.15	0.00	0.00
25-avr.-14	12.31	12.27	12.34	12.34	34.03	33.86	33.72	12.34	9.08	9.22	8.10	7.44	8.44	8.78	0.00	0.00
15-mai-14	13.49	-	14.19	-	34.24	-	34.40	-	7.33	-	7.32	-	8.48	-	1.55	-
26-mai-14	15.00	15.05	15.22	15.25	34.51	34.54	34.50	15.25	6.69	6.83	6.48	6.42	54.62	30.36	2.95	3.76
23-juin-14	17.37	17.29	17.56	17.51	35.03	35.08	-	17.51	7.12	7.40	7.41	7.27	11.55	16.70	6.13	3.88
15-juil.-14	18.50	18.42	18.54	18.48	34.48	34.49	34.45	18.48	6.95	7.13	6.66	6.25	20.52	28.56	5.88	2.54
29-juil.-14	20.24	20.37	20.45	20.52	35.18	35.16	35.10	20.52	7.02	6.77	6.87	6.98	23.55	13.27	10.38	6.03
13-août-14	19.51	19.52	19.91	19.92	35.19	35.23	35.16	19.92	7.09	7.23	6.86	6.51	14.09	18.28	2.01	3.40
26-août-14	18.58	18.63	18.58	18.63	35.35	35.29	35.17	18.63	7.01	7.00	7.11	7.12	12.61	41.98	6.08	3.71
9-sept.-14	18.79	18.87	19.13	19.11	33.94	33.85	33.81	19.11	7.70	7.75	6.83	6.79	52.63	32.65	3.64	7.35
25-sept.-14	17.89	17.68	17.91	17.99	34.36	34.41	34.34	17.99	7.10	7.34	7.01	6.85	6.79	13.80	5.47	4.76
23-oct.-14	15.49	15.49	-	15.82	34.25	34.23	-	15.82	7.86	7.92	-	7.55	27.76	24.89	-	857.99
19-nov.-14	13.40	13.33	12.93	12.92	34.01	34.01	33.86	12.92	7.93	8.05	7.89	7.79	9.28	15.35	4.42	4.50
9-déc.-14	9.53	-	9.20	9.33	34.15	-	34.07	9.33	8.98	-	9.19	9.24	16.78	-	6.81	4.13

Annexe 2. Concentrations en Chlorophylle a et en phéopigments ($\mu\text{g. L}^{-1}$) et rapports [Chl a]/[phéopigments] mesurés dans le Port Ouest de Dunkerque en 2014.

	Chl a ($\mu\text{g L}^{-1}$)				Phéopigments ($\mu\text{g L}^{-1}$)				Ratio [Chl a]/[Pheo]			
	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4
30-janv.-14	2.90	2.18	1.54	-	2.12	0.95	0.53	-	1.37	2.30	2.88	-
19-févr.-14	2.18	2.11	1.23	-	2.35	1.74	1.13	-	0.93	1.21	1.09	-
5-mars-14	3.23	13.28	1.64	-	1.75	-	0.74	-	1.85	-	2.23	-
18-mars-14	22.30	27.39	12.68	9.87	8.86	0.07	3.15	1.88	2.52	374.61	4.03	5.23
1-avr.-14	10.16	8.67	3.54	0.70	1.58	1.70	0.77	0.21	6.43	5.11	4.60	3.35
25-avr.-14	1.83	3.24	4.38	0.99	0.78	1.27	0.59	0.53	2.34	2.55	7.41	1.87
13-mai-14	5.61	5.15	2.25	2.62	0.87	1.09	0.83	0.82	6.45	4.75	2.72	3.20
26-mai-14	5.02	5.39	2.92	5.90	2.27	2.20	0.85	1.48	2.22	2.45	3.45	3.97
23-juin-14	4.58	4.74	7.59	12.46	1.19	1.48	1.44	1.64	3.85	3.19	5.27	7.61
15-juil.-14	2.55	2.07	5.38	6.30	1.28	0.99	1.50	3.33	1.99	2.10	3.58	1.89
29-juil.-14	3.25	2.92	4.97	12.04	2.01	1.67	2.08	2.29	1.62	1.75	2.40	5.26
26-août-14	4.69	4.28	4.61	5.31	1.76	2.65	1.37	1.47	2.66	1.61	3.35	3.61
9-sept.-14	8.11	3.98	2.94	2.72	2.78	1.83	0.98	0.75	2.91	2.17	3.00	3.65
25-sept.-14	2.81	3.75	1.20	1.98	1.01	1.51	1.53	0.85	2.78	2.48	0.79	2.34
23-oct.-14	2.07	2.66	0.66	1.11	0.87	1.21	1.90	0.58	2.37	2.20	0.35	1.93
19-nov.-14	1.16	1.40	0.62	1.01	0.82	1.01	0.45	-	1.41	1.38	1.37	-
9-déc.-14	1.49	2.00	0.82	0.81	0.82	1.30	0.61	0.40	1.81	1.54	1.34	2.03

Annexe 3. Abondances des Cténaïres (ind. m⁻³) dans le Port Ouest de Dunkerque en 2014.

	<i>Pleurobrachia pileus</i>				<i>Beroe</i> sp.				<i>Mnemiopsis leidyi</i>			
	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4
30-janv.-14	0.01	0.001	0.00	-	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.00	-
19-févr.-14	0.00	0.04	0.03	-	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.00	-
5-mars-14	0.03	0.01	0.02	-	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.00	-
18-mars-14	0.01	0.002	0.00	-	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.00	-
1-avr.-14	0.02	0.05	0.09	0.05	0.00	0.004	0.002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25-avr.-14	0.86	0.22	6.51	0.66	0.002	0.01	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
13-mai-14	10.67	53.30	12.88	2.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26-mai-14	4.14	1.40	11.58	7.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23-juin-14	0.29	0.67	0.95	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15-juil.-14	0.16	0.23	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29-juil.-14	0.37	0.23	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13-août-14	0.29	0.23	0.55	1.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26-août-14	0.49	0.16	0.21	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9-sept.-14	0.63	0.13	0.17	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25-sept.-14	0.30	0.14	0.01	0.01	0.00	0.01	0.004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23-oct.-14	0.01	0.002	0.001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001	0.00
19-nov.-14	0.00	0.01	0.004	0.001	0.00	0.00	0.00	0.00	*	0.00	0.001	0.00
9-déc.-14	0.04	0.06	0.03	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001	0.004	0.003	0.00

Suivi du plancton gélatineux dans le Port de Dunkerque

Année 2014

Annexe 4. Abondances (ind. m⁻³) par classes de taille des cténaïres et hydroméduses à l'entrée du Port Ouest de Dunkerque (St. 1) en 2014.

	Abondance (ind. m ⁻³) par classes de taille (cm)								Non mesurable	Total (ind. m ⁻³)
	[0-0.5[	[0.5-1[	[1-1.5[	[1.5-2[	[2-2.5[	[2.5-3[	[3-3.5[	> 3.5 cm		
30-janv.-14	0.006	0.003	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.010
19-févr.-14	0.003	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.003
5-mars-14	0.011	0.017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.028
18-mars-14	0.161	0.017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.178
1-avr.-14	0.024	0.002	0.009	0.009	0.003	0.002	0.00	0.00	0.00	0.048
25-avr.-14	0.544	0.508	0.086	0.022	0.004	0.00	0.00	0.00	0.004	1.167
13-mai-14	4.935	5.632	0.590	0.00	0.00	0.002	0.00	0.00	0.215	11.373
26-mai-14	1.296	1.634	0.701	0.006	0.00	0.00	0.00	0.00	5.082	8.719
23-juin-14	1.628	0.971	0.029	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.248	2.877
15-juil.-14	0.396	0.158	0.010	0.002	0.002	0.00	0.00	0.002	0.045	0.614
29-juil.-14	0.399	0.182	0.016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.108	0.706
13-août-14	0.297	0.357	0.082	0.030	0.016	0.003	0.00	0.00	0.185	0.969
26-août-14	0.345	0.246	0.033	0.006	0.002	0.00	0.00	0.00	0.043	0.675
9-sept.-14	0.212	0.244	0.074	0.023	0.004	0.00	0.00	0.00	0.135	0.692
25-sept.-14	0.638	0.710	0.082	0.024	0.003	0.00	0.00	0.00	0.195	1.652
23-oct.-14	0.066	0.049	0.019	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.134
9-déc.-14	0.094	0.012	0.002	0.001	0.001	0.00	0.00	0.00	0.002	0.113

Annexe 5. Abondances (ind. m⁻³) par classes des cténaïres et hydroméduses dans l'avant-port ouest, en face du canal d'aménée (St. 2) en 2014.

	Abondance (ind. m ⁻³) par classes de taille (cm)								Non mesurable	Total (ind. m ⁻³)
	[0-0.5[	[0.5-1[	[1-1.5[	[1.5-2[	[2-2.5[	[2.5-3[	[3-3.5[	> 3.5 cm		
30-janv.-14	0.001	0.001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.003
19-févr.-14	0.038	0.006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.043
5-mars-14	0.006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.006
18-mars-14	0.085	0.022	0.004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.112
1-avr.-14	0.047	0.042	0.022	0.020	0.007	0.00	0.00	0.00	0.004	0.142
25-avr.-14	0.291	0.349	0.089	0.013	0.009	0.00	0.00	0.00	0.00	0.752
13-mai-14	18.968	31.303	2.095	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.396	53.762
26-mai-14	0.538	0.700	0.363	0.013	0.013	0.00	0.00	0.00	1.150	2.775
23-juin-14	1.408	1.117	0.035	0.012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.605	3.177
15-juil.-14	0.659	0.581	0.019	0.006	0.00	0.00	0.00	0.003	0.052	1.320
29-juil.-14	0.216	0.105	0.012	0.001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.115	0.449
13-août-14	0.240	0.344	0.104	0.060	0.057	0.013	0.00	0.00	0.416	1.234
26-août-14	0.188	0.144	0.023	0.015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.069	0.439
9-sept.-14	0.056	0.102	0.070	0.018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.035	0.281
25-sept.-14	1.083	0.932	0.038	0.023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.060	2.136
23-oct.-14	0.054	0.030	0.003	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.088
19-nov.-14	0.003	0.003	0.001	0.001	0.003	0.001	0.00	0.00	0.004	0.016
9-déc.-14	0.124	0.018	0.004	0.001	0.001	0.001	0.001	0.00	0.001	0.153

Suivi du plancton gélatineux dans le Port de Dunkerque

Année 2014

Annexe 6. Abondances (ind. m⁻³) par classes de taille des cténaïres et hydroméduses à l'entrée du Canal des Dunes du Port Ouest de Dunkerque (St. 3) en 2014.

	Abondance (ind. m ⁻³) par classes de taille (cm)								Non mesurable	Total (ind. m ⁻³)
	[0-0.5[	[0.5-1[	[1-1.5[	[1.5-2[	[2-2.5[	[2.5-3[	[3-3.5[	> 3.5 cm		
30-janv.-14	0.001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001
19-févr.-14	0.021	0.009	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.030
5-mars-14	0.011	0.009	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.020
18-mars-14	0.023	0.002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.025
1-avr.-14	0.073	0.067	0.024	0.026	0.009	0.004	0.00	0.00	0.004	0.207
25-avr.-14	2.736	3.712	0.816	0.176	0.016	0.00	0.00	0.00	0.00	7.456
13-mai-14	4.493	4.693	0.734	0.00	0.044	0.00	0.00	0.00	3.203	13.167
26-mai-14	2.512	6.153	1.852	0.043	0.00	0.00	0.00	0.00	1.937	12.497
23-juin-14	0.672	0.667	0.041	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.555	1.935
15-juil.-14	0.051	0.022	0.002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.014	0.089
29-juil.-14	0.212	0.148	0.013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.179	0.551
13-août-14	0.051	0.082	0.153	0.163	0.117	0.025	0.00	0.00	0.153	0.744
26-août-14	0.041	0.070	0.053	0.037	0.010	0.002	0.00	0.00	0.018	0.230
9-sept.-14	0.093	0.093	0.091	0.017	0.004	0.00	0.00	0.00	0.027	0.324
25-sept.-14	0.153	0.161	0.002	0.006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.004	0.326
23-oct.-14	0.013	0.013	0.001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001	0.030
19-nov.-14	0.00	0.004	0.00	0.00	0.001	0.00	0.00	0.00	0.003	0.009
9-déc.-14	0.076	0.015	0.00	0.00	0.00	0.001	0.00	0.00	0.001	0.095

Annexe 7. Abondances (ind. m⁻³) par classes de taille des cténaïres et hydroméduses au niveau de l'ancien Quai Pechiney du Port Ouest de Dunkerque (St. 4) en 2014.

	Abondance (ind. m ⁻³) par classes de taille (cm)								Non mesurable	Total (ind. m ⁻³)
	[0-0.5[	[0.5-1[	[1-1.5[	[1.5-2[	[2-2.5[	[2.5-3[	[3-3.5[	> 3.5 cm		
30-janv.-14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19-févr.-14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5-mars-14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18-mars-14	0.012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.012
1-avr.-14	0.005	0.027	0.015	0.010	0.005	0.00	0.00	0.00	0.003	0.066
25-avr.-14	0.141	0.338	0.310	0.042	0.007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.838
13-mai-14	0.283	1.082	0.375	0.006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.775	2.521
26-mai-14	1.374	3.150	1.527	0.083	0.00	0.00	0.00	0.00	2.109	8.244
23-juin-14	1.013	0.412	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.152	1.577
15-juil.-14	0.005	0.005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.007	0.018
29-juil.-14	0.006	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.014
13-août-14	0.013	0.297	0.361	0.555	0.413	0.00	0.00	0.00	0.245	1.885
26-août-14	0.015	0.018	0.030	0.015	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.085
9-sept.-14	0.214	0.370	0.267	0.107	0.007	0.00	0.00	0.00	0.032	0.996
25-sept.-14	0.140	0.109	0.004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.002	0.255
23-oct.-14	0.007	0.005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.011
19-nov.-14	0.00	0.001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001
9-déc.-14	0.046	0.002	0.00	0.00	0.001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.050

Annexe 8. Abondances totale (ind. m⁻³) des hydroméduses dans le Port Ouest de Dunkerque en 2014. Le détail par espèce est présenté dans l'Annexe 10.

	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4
30-janv.-14	0.00	0.001	0.00	0.00
19-févr.-14	0.00	0.00	0.00	0.00
5-mars-14	0.00	0.00	0.002	0.00
18-mars-14	0.17	0.11	0.03	0.01
1-avr.-14	0.03	0.08	0.12	0.01
25-avr.-14	0.30	0.52	0.91	0.16
13-mai-14	0.70	0.47	0.29	0.01
26-mai-14	4.58	1.38	0.92	0.97
23-juin-14	2.58	2.50	0.99	1.50
15-juil.-14	0.46	1.09	0.07	0.01
29-juil.-14	0.33	0.22	0.19	0.01
13-août-14	0.68	1.00	0.20	0.04
26-août-14	0.19	0.28	0.02	0.003
9-sept.-14	0.07	0.16	0.16	0.04
25-sept.-14	1.35	1.99	0.31	0.25
23-oct.-14	0.13	0.09	0.03	0.01
19-nov.-14	0.00	0.001	0.003	0.00
9-déc.-14	0.07	0.09	0.07	0.01

Suivi du plancton gélatineux dans le Port de Dunkerque

Année 2014

Annexe 11. Abondances (ind. m⁻³) du mésozooplancton total, de l'holoplancton et du méroplancton en 2013. Seuls les groupes taxonomiques dominants sont présentés.

			ANNEE 2013											
			23/04/2013	08/05/2013	22/05/2013	05/06/2013	20/06/2013	03/07/2013	19/07/2013	29/08/2013	25/09/2013	15/10/2013	24/10/2013	17/12/2013
HOLOPLANCTON	Noctiluques	Station 1	1468	1431	219	224	108515	3936	17197	4141	0	0	0	1805
		Station 2	1999	2622	148	259	42558	6005	16496	1876	0	0	7	987
		Station 3	408	833	418	6	170129	92595	45772	274	0	0	0	160
		Station 4												
	Copépodes	Station 1	4170	8437	4768	3786	1425	2677	1328	7560	863	2422	929	948
		Station 2	4468	6967	2588	4714	1135	5052	2556	7117	1241	3509	1877	944
		Station 3	1927	4117	1324	2308	2499	2208	3932	2926	1697	1364	1896	1788
		Station 4												
	Appendiculaires	Station 1	66	725	223	729	264	2053	1151	889	157	150	181	58
		Station 2	304	266	638	132	284	714	774	2883	257	441	236	105
		Station 3	38	1929	37	50	307	7	1069	549	498	179	423	45
		Station 4												
	Chaetognathes	Station 1	0	0	0	0	0	0	10	83	31	18	5	0
		Station 2	3	0	0	0	0	0	0	114	67	18	7	0
		Station 3	3	0	0	0	0	0	26	13	41	10	9	7
		Station 4												
TOTAL HOLOPLANCTON	Station 1	336	4151	1673	4767	110204	47922	19656	12674	1055	2617	1119	2822	
	Station 2	1815	2522	3012	2120	43882	8633	19814	11739	1554	3968	2127	2056	
	Station 3	2421	5541	1998	2511	172891	2950	20339	3723	2248	1559	2333	1930	
	Station 4													
MEROPLANCTON	Annélides	Station 1	135	26	13	70	185	243	1276	528	44	88	20	29
		Station 2	336	14	45	14	252	51	349	1854	104	24	15	16
		Station 3	181	6	4	26	351	1	343	823	134	13	27	7
		Station 4												
	Mollusques	Station 1	36	52	36	168	26	840	156	334	26	44	7	16
		Station 2	74	18	116	67	126	111	77	297	72	110	29	22
		Station 3	3	0	4	74	175	2	129	118	158	22	18	19
		Station 4												
	Cirripèdes	Station 1	47	110	82	294	185	429	41	417	53	27	29	3
		Station 2	432	99	317	38	126	130	39	1510	61	80	7	9
		Station 3	66	144	63	94	175	4	320	6623	604	45	59	0
		Station 4												
	Anomoures	Station 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Station 2	0	0	0	0	0	0	13	0	3	0	0	0
		Station 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Station 4												
	Brachyours	Station 1	1	0	11	0	26	56	0	0	9	0	0	0
		Station 2	22	5	22	4	0	16	13	23	3	6	0	2
		Station 3	28	29	4	32	0	0	124	39	24	10	9	0
		Station 4												
Echinodermes	Station 1	0	22	152	98	238	1269	197	0	33	35	5	0	
	Station 2	0	27	455	163	284	194	26	0	43	31	0	0	
	Station 3	0	17	26	24	0	5	192	13	57	0	0	0	
	Station 4													
TOTAL MEROPLANCTON	Station 1	227	231	320	701	739	3647	1722	1501	318	345	100	132	
	Station 2	877	171	1045	314	883	733	568	4073	376	484	199	123	
	Station 3	286	195	107	294	702	19	1195	7786	1223	147	198	119	
	Station 4													
TOTAL ZOOPLANCTON	Station 1	563	4382	1993	5468	110943	51569	21378	14175	1372	2962	1219	2954	
	Station 2	2693	2694	4057	2434	44765	9365	20382	15812	1930	4452	2326	2178	
	Station 3	2707	5736	2105	2805	173593	2969	21534	11508	3471	1706	2531	2049	
	Station 4													

