



Département Océanographie et Dynamique des Ecosystèmes  
Département Ressources Biologiques et Environnement

Avril 2021

#### Auteurs

Guillaume WACQUET  
Michel ROPERT

#### Contributeurs

Elvire ANTAJAN  
David DEVREKER  
Dominique HERVIO-HEATH  
Christophe LOOTS  
Mélanie ROCROY  
Céline ROLET

# SURVEILLANCE ECOLOGIQUE ET HALIEUTIQUE DU SITE ELECTRONUCLEAIRE DE GRAVELINES

Année 2020



Convention de marché EDF n° : C3499C0490  
Commande d'exécution : 5100-4210282462



## Fiche documentaire

<b>Type de rapport :</b> RST (Rapports de résultats de recherches Scientifiques et/ou Techniques)	
<b>Numéro d'identification du rapport :</b> RST ODE/LITTORAL/LERBL/21.04 Diffusion : libre (au-delà du 01/07/2021) Validé par : Adresse électronique :	Date de publication : 30/04/2021 nombre de pages : 225 Bibliographie : Oui Illustration(s) : Oui langue du rapport : Français
<b>TITRE : SURVEILLANCE ÉCOLOGIQUE ET HALIEUTIQUE DU SITE ÉLECTRONUCLÉAIRE DE GRAVELINES : Année 2020</b>	
<b>Auteur(s) principal(aux) : nom, prénom</b> WACQUET Guillaume ANTAJAN Elvire DEVREKER David HERVIO-HEATH Dominique LOOTS Christophe ROCROY Mélanie ROLET Céline	<b>Organisme/Direction/ Service, laboratoire</b> Ifremer/ODE/UL/LER-BL Ifremer/ODE/UL/LER-AR Ifremer/ODE/UL/LER-BL Ifremer/RBE/PFOM/LARN Ifremer/RBE/HMMN/LRH-BL GEMEL GEMEL
<b>Collaborateur(s) : nom, prénom</b> BECUWE Emma BLONDEL Camille CABOCHE Josselin CERISIER Hugo CHEVE Julien CORDIER Rémy DELFORGE Julien DUQUESNE Vincent HEBERT Pascale LEFEBVRE Valérie PREVOST Laurine TALLEUX Jean-Denis TERRIN Sara VEILLET Guillaume	<b>Organisme/Direction/ Service, laboratoire</b> GEMEL Ifremer/ODE/UL/LER-BL Ifremer/RBE/HMMN/LRH-BL GEMEL Ifremer/ODE/UL/LER-BN Ifremer/ODE/UL/LER-BL GEMEL Ifremer/ODE/UL/LER-BL Ifremer/ODE/UL/LER-BL Ifremer/RBE/HMMN/LRH-BL GEMEL GEMEL GEMEL GEMEL
<b>Organisme commanditaire : nom développé, sigle, adresse</b> Electricité de France (E.D.F.) – Production transport – CNPE Gravelines BP 149 - 59820 Gravelines	
<b>Organisme(s) réalisateur(s) : nom(s) développé(s), sigle(s), adresse(s)</b> Ifremer Station de Boulogne-sur-Mer, 150 quai Gambetta, 62321 Boulogne-sur-Mer Ifremer Station d'Arcachon, 1 quai du Commandant Silhouette, 33120 Arcachon Ifremer Centre de Bretagne, ZI de la Pointe du Diable, 29280 Plouzané FLANDRES ANALYSES, ZAC Grande Porte, 10 rue des saveurs, 59180 Chapelle-la-Grande EUROFINS Hydrologie Nord, ZI Dorignies, rue Maurice Caullery, 59500 Douai LICAAL, 54 Bis Rue Hondschoote, 59492 Hoymille GEMEL, 115 quai Jeanne d'Arc, 80230 Saint-Valéry-sur-Somme Laboratoire EXCELL SAS, 25 Rue Aristide Bergès, 33270 Floirac	
<b>Responsable scientifique :</b> Michel ROPERT Ifremer/ODE/UL/LERN	

**Cadre de la recherche :** Marché EDF de la surveillance des CNPE de bord de mer 2019-2024

**Programme :** Surveillance et évaluation de la qualité du milieu marin

**Convention de marché EDF n° :** C3499C0490

**Commande d'exécution :** 5100-4210282462

**Projet :** I.G.A. H2024  
Impact des Grands Aménagements

**Réf Ifremer :** 19/2216963

**Campagne océanographique :** /

**Résumé :**

Ce rapport annuel de la surveillance écologique et halieutique (n°43) du Centre Nucléaire de Production Electrique de Gravelines (département du Nord) concerne l'année 2020. Cette surveillance, qui a débuté en 1978, porte sur les compartiments Pélagique (hydrologie, microbiologie, phytoplancton, zooplancton), Halieutique (larves et œufs de sole, de sprat et crevettes grises), et Benthique (intertidal et subtidal). Elle vise à étudier l'évolution temporelle à moyen et long terme des différents domaines marins (pelagos, benthos et halieutique) et de leurs paramètres associés à une échelle spatiale locale (proche du CNPE et de sa zone d'influence). L'année 2020 est la 40<sup>ème</sup> année de fonctionnement du CNPE de Gravelines (mise en fonctionnement du CNPE en 1980).

**Abstract:**

This annual report on ecological and fishery monitoring (n°43) of the Electric Nuclear Production Center (CNPE) in Gravelines (Nord department) concerns the year 2020. This monitoring, which started in 1978, relates to the Pelagic (hydrology, microbiology, phytoplankton, zooplankton), Fishery (larvae and eggs of sole, sprat and grey shrimps) and Benthic (intertidal and subtidal) compartments. It aims to study the medium and long-term temporal evolution of the different marine domains (pelagos, benthos and fishery) and their parameters associated with a local spatial scale (near CNPE and its area of influence). The year 2020 is the 40<sup>th</sup> year of operation of the CNPE in Gravelines (entry into operation of the CNPE in 1980).

**Mots-clés :**

Centrale nucléaire Gravelines, Surveillance, Hydrologie, Halieutique, Microbiologie, Pelagos, Benthos

**Keywords:**

Nuclear power plant, Gravelines, Monitoring, Hydrology, Fishery, Microbiology, Pelagos, Benthos

**Commentaire :**

Ce document doit être cité de la manière suivante :

WACQUET G., ROBERT M., ANTAJAN E., DEVREKER D., HERVIO-HEATH D., LOOTS C., ROCROY M., ROLET C. (2021). Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Gravelines : Année 2020. RST/ODE/UL/LERBL/21.04. Conv. EDF C3499C0490. 225 p.



# PREAMBULE

Cinq Centres Nucléaire de Production Électrique (CNPE) sont situés en zone littorale et utilisent pour le refroidissement de leurs condenseurs d'importants débits d'eau prélevés et restitués dans le milieu marin. Le CNPE de Gravelines est situé sur le littoral du département du Nord (59) à équidistance (20 km) des communes de Calais et de Dunkerque.

De nombreuses études ont été réalisées pour appréhender l'influence du CNPE de Gravelines sur le milieu marin environnant. Elles ont été initiées avec les "études d'avant-projet" (de septembre 1974 à décembre 1975), puis "études de projets" (de août 1976 à juillet 1977). À compter de février 1978, deux ans avant le raccordement effectif de la première tranche du CNPE au réseau (mars 1980), un protocole de "surveillance écologique" a été mis en place de manière ininterrompue jusqu'à présent. L'effort déployé au cours des premières années de "surveillance" du domaine pélagique a été maintenu jusqu'à début 1986 (raccordement au réseau de la seconde et dernière tranche du CNPE en août 1985). En 1989, les stratégies se renforcent avec la mise en place d'un suivi hebdomadaire des points *Prise* et *Rejet*. Mais c'est en 2004 que les modalités de surveillance se stabilisent telles qu'elles sont menées encore aujourd'hui. Elles reposent sur un suivi annuel de différents paramètres dans les domaines de la physico-chimie de l'eau, du phytoplancton, de la microbiologie, du zooplancton, des communautés benthiques intertidales et subtidales et du domaine halieutique.

Aujourd'hui, les modalités de surveillance écologique mises en œuvre pour le CNPE de Gravelines sont fixées par la Décision n°2018-DC-0647 de l'Autorité de Sûreté Nucléaire du 16 octobre 2018 (J.O. du 18 décembre 2018) fixant *"les prescriptions relatives aux modalités de prélèvement et de consommation d'eau, de rejet d'effluents et de surveillance de l'environnement des installations nucléaires de base n° 96, n° 97 et n° 122 exploitées par Électricité de France (EDF) dans la commune de Gravelines"*. Cette réglementation est complétée par la Décision n° 2018—DC-0646 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 16 octobre 2018 fixant *"les valeurs limites de rejet dans l'environnement des effluents des installations nucléaires de base n° 96, n° 97 et no 122 exploitées par Electricité de France (EDF) dans la commune de Gravelines"*.

Au cours de 2020, 40<sup>ème</sup> année de fonctionnement de la centrale, les études réalisées sur le site de Gravelines ont été menées sous la responsabilité de :

- **Guillaume WACQUET** (Ifremer, ODE/UL/LER-BL<sup>1</sup>), pour le fonctionnement de la centrale, la climatologie, l'hydrologie, le phytoplancton et la coordination de l'ensemble des études sur ce site,
- **Elvire ANTAJAN** (Ifremer, ODE/UL/LER-AR<sup>2</sup>), pour l'hydrologie, la microbiologie, le zooplancton et la coordination de l'ensemble des études sur ce site,
- **Dominique HERVIO-HEATH** (Ifremer, RBE/PFOM/LARN<sup>3</sup>), pour la microbiologie,
- **Christophe LOOTS** (Ifremer, RBE/HMMN/LRH-BL<sup>4</sup>), pour l'ichtyoplancton et les larves de crustacés,
- **Mélanie ROCROY et Céline ROLET** (GEMEL<sup>5</sup>), pour le benthos intertidal et subtidal.

***L'année 2020 a été profondément marquée par la crise sanitaire mondiale COVID-19. Malgré les nombreuses contraintes qui en ont découlées, pour le CNPE de Gravelines, l'ensemble du programme de surveillance a pu être mené à bien, à l'exception d'une seule campagne halieutique réglementaire qui n'a pas pu être réalisée (ainsi que deux mesures non-réglementaires). Cet unique écart au cahier des charges réglementaire porte le taux d'échantillonnage à 99% de l'attendu avec un total de 1180 échantillons traités en conformité avec le CTPP.***

<sup>1</sup> Département Océanographie et Dynamique des Écosystèmes (ODE), Unité Littoral (UL), Laboratoire Environnement et Ressources de Boulogne-sur-Mer (LER-BL)

<sup>2</sup> Département Océanographie et Dynamique des Écosystèmes (ODE), Unité Littoral (UL), Laboratoire Environnement et Ressources d'Arcachon (LER-AR)

<sup>3</sup> Département des Ressources Biologiques et Environnement (RBE), Unité Physiologie Fonctionnelle des Organismes Marins (PFOM), Laboratoire Adaptation, Reproduction et Nutrition de poissons (LARN)

<sup>4</sup> Unité Halieutique Manche Mer du Nord (HMMN), Laboratoire Ressources Halieutiques de Boulogne-sur-Mer (LRH-BL)

<sup>5</sup> Groupe d'Étude des Milieux Estuariens et Littoraux (GEMEL)



# SYNTHESE

## Stratégie d'échantillonnage

La stratégie de surveillance doit permettre de suivre l'évolution naturelle du milieu marin et détecter une évolution anormale qui proviendrait du fonctionnement de la centrale. La surveillance écologique du milieu marin concerne les domaines pélagique, halieutique et benthique, et le suivi des substances chimiques dans l'environnement concerne le domaine pélagique (Figure 0-1). Le programme de surveillance actuel est fixé par la **Décision n°2018-DC-0647 de l'Autorité de Sûreté Nucléaire du 16 octobre 2018**. Certains paramètres font également l'objet de mesures complémentaires.

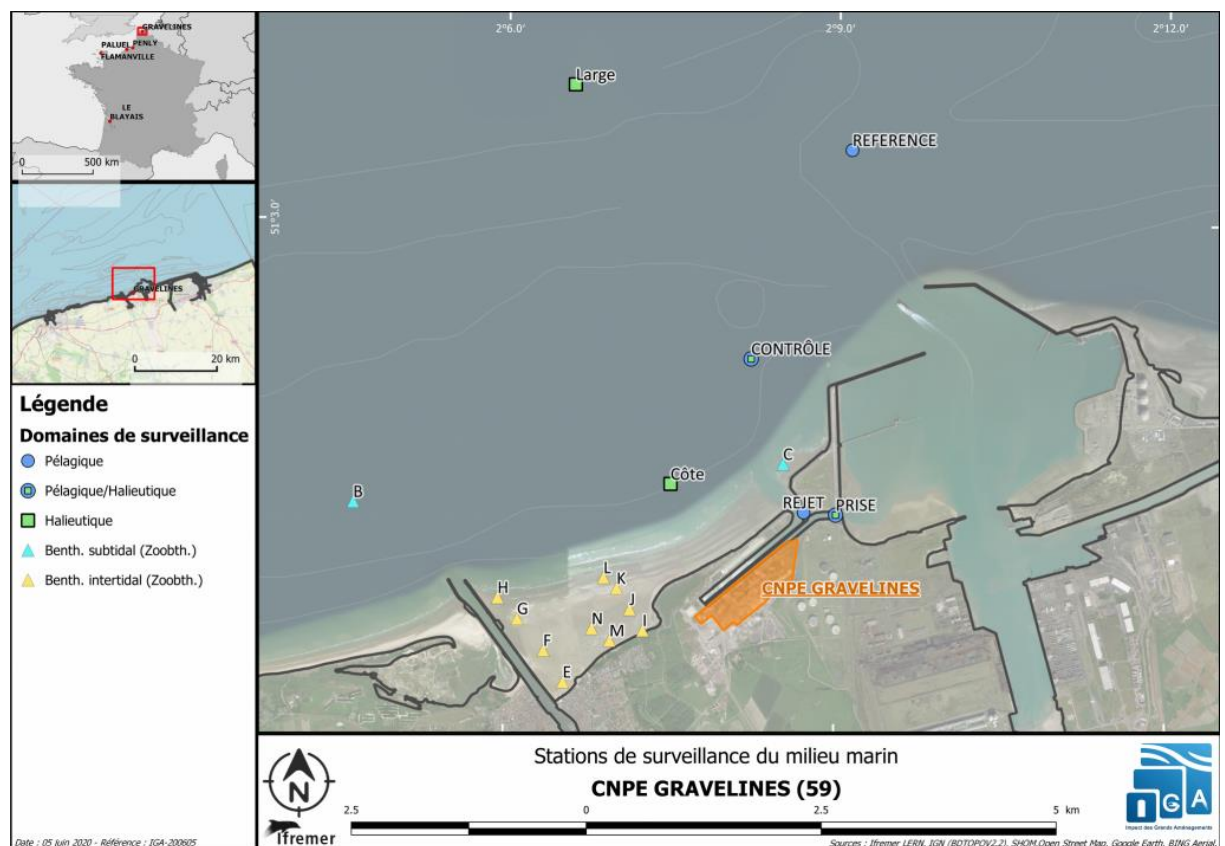


Figure 0-1 : Localisation des points suivis de la surveillance écologique du milieu marin autour du CNPE de Gravelines

Pour le **domaine pélagique**, la surveillance s'effectue depuis les berges aux canaux de prise d'eau et de rejet du CNPE, et au niveau de deux stations en mer, l'une dite de référence en dehors de la zone d'influence du rejet et l'autre dite de contrôle, où l'échauffement résiduel dû au panache de rejet est de l'ordre de 3 à 4°C. Deux campagnes annuelles de prélèvements sont effectuées, l'une au printemps et l'autre en fin d'été (Tableau 0-1). Cette année, ces campagnes ont eu lieu les 22 juin et 02 septembre 2020. En complément, certains paramètres sont suivis hebdomadairement ou mensuellement aux points *Prise* et *Rejet* tout au long de l'année.

Pour le **domaine halieutique**, la surveillance concerne deux espèces ichtyoplanctoniques, les œufs et larves de sole et de sprat, et une espèce de crustacé, la crevette grise. Le suivi s'effectue habituellement entre avril et mai et comprend deux campagnes en mer selon un gradient côte-large dans le milieu récepteur. Lors de ces campagnes, quatre points sont étudiés :

- le point *Prise* (situé à l'entrée du canal de prise d'eau de la centrale),
- le point *Côte* (situé à la côte, face à la plage du Petit-Fort-Philippe),
- le point *Contrôle* (avec échauffement résiduel de 3 à 4°C dans le panache de rejet),
- le point *Large* (situé au large, au-delà de la zone d'influence de la centrale).

En complément, deux prélèvements supplémentaires sont habituellement réalisés au point *Prise*, en alternance avec les campagnes en mer, pour couvrir au mieux la période de reproduction de la sole et du sprat. Il est à noter que ces deux mesures complémentaires ne sont pas exigées par Décision de l'ASN.

Cependant, les mesures de confinement imposées par la crise sanitaire COVID-19 à partir du 17 mars, puis de déconfinement à partir du 11 mai, n'ont pas permis à l'Ifremer de réaliser les campagnes prévues initialement (entre avril et juin). Les équipes en charge des prélèvements en mer n'ont été autorisées à reprendre les activités embarquées qu'à compter du 22 juin 2020. Cette période correspond, dans l'historique de la surveillance de Gravelines, à la limite de la seconde campagne réglementaire. En effet, l'absence dans le milieu des stades larvaires des espèces recherchées enlève toute pertinence à la poursuite du suivi au-delà du mois de juin.

Dans ce contexte et bien que la période de ponte soit dépassée de plus d'un mois, une campagne sur l'ensemble des quatre stations a toutefois été programmée le 07 juillet 2020. Après concertation entre les responsables de mission, les experts thématiques et les interlocuteurs concernés d'EDF (CNPE et responsable de marché), l'organisation de campagnes supplémentaires visant à compenser celles non réalisées du fait du confinement, n'a pas été retenue, car estimée non pertinente.

La crise sanitaire, qui aura profondément marqué l'année 2020, aura donc eu pour effet, à Gravelines, l'abandon d'une campagne réglementaire (sur 4 points), ainsi que de deux campagnes complémentaires, non-réglementaires, réalisées au point *Prise*. Du point de vue réglementaire, sur les 16 échantillons prévus<sup>6</sup>, seuls 8 ont pu être réalisés (2 échantillons x 4 points x 1 campagne). Il convient de préciser qu'il s'agit ici du seul écart au programme de surveillance réglementaire à déplorer pour l'année 2020, ce qui porte le taux d'échantillonnage à 99% de l'attendu avec un total de 1180 échantillons traités en conformité avec les exigences réglementaires pour cette année particulière.

Pour le **domaine benthique**, la macrofaune benthique de la zone intertidale, comprise entre l'estuaire de l'Aa et la route de Dunes (estran Petit-Fort-Philippe), est suivie en juin sur deux radiales de quatre points et une radiale de deux points, couvrant l'ensemble de la zone intertidale. Cette année la sortie a eu lieu le 8 juin 2020.

La macrofaune benthique subtidale est suivie lors de quatre campagnes saisonnières de deux points, l'un situé hors influence (point B), l'autre sous influence (point C) du rejet. Cette année, ces campagnes ont eu lieu les 06 février, 18 mai, 07 juillet et 01 septembre 2020.

## Contexte environnemental

Deuxième année la plus chaude depuis 1986, après 2014, l'année 2020 était une année très douce et normalement pluvieuse, malgré un déficit pluviométrique record de 95% au printemps puis des périodes de sécheresse en juillet et septembre, qui ont été compensées par des pluies abondantes en raison des nombreux épisodes orageux de juin et août. Sur la côte, l'année 2020 a été moins ventée que la normale, malgré quelques épisodes de vent fort, dont plusieurs tempêtes hivernales.

<sup>6</sup> 16 éch. = 4 éch. Au point *Prise* (2 éch. x 1 point x 2 campagnes/an) + 12 éch. en mer (2 éch. x 3 points x 2 campagnes/an)

Tableau 0-1 : Liste des opérateurs responsables des différentes actions dans le cadre de la surveillance des eaux autour du CNPE de Gravelines (dates des campagnes réalisées en 2020 en rouge)

Domaine	Compartiment	Paramètres	Points	Fréquence Dates campagnes réalisées en 2020
Pélagique	Hydrologie	Température Salinité	Prise, Rejet	Hebdomadaire
	Physico-chimie / Chimie	Chlore résiduel	Prise, Rejet	Hebdomadaire
		Haloformes		
		Azotes (ammonium, nitrates, nitrites)		
		Phosphates	Prise, Rejet	Mensuel
		Silicates		
		Turbidité		
		Oxygène dissous	Rejet	Mensuel
		Bromophénols		
	Microbiologie	Vibrions halophiles	Prise, Rejet	Hebdomadaire
	Phytoplancton	Biomasse chlorophyllienne	Prise, Rejet	Hebdomadaire
		Variations spatiales et temporelles des espèces microphytoplanctoniques		
	Zooplancton	Biomasse sestonique	Prise, Rejet	Mensuel
		Variations spatiales et temporelles des espèces mésozooplanctoniques		
Campagnes pélagiques	Tous	Température, Salinité, Nutriments, Turbidité, Oxygène dissous, Vibrions halophiles, Phytoplancton et Zooplancton	Prise, Rejet, Contrôle, Référence	22/06/2020 02/09/2020
Halieutique	Ichtyoplancton	Variations spatiales et temporelles (soles et sprats)	Prise, Côte, Contrôle, Large	Sem 13 (COVID-19)
	Larves de crustacés	Variations spatiales et temporelles (crevettes grises)		Sem 15 (COVID-19) Sem 17 (COVID-19) 07/07/2020
Benthique	Benthos intertidal	Sédiment (granulométrie)	Estran Petit-Fort-Philippe	08/06/2020
		Variations spatiales et temporelles de la macrofaune		
	Benthos subtidal	Sédiment (granulométrie)	B (hors influence) C (sous influence)	06/02/2020
		Variations spatiales et temporelles de la macrofaune		18/05/2020
				07/07/2020 01/09/2020

## Le domaine pélagique

Le procédé d'électrochloration du circuit de refroidissement permettant de lutter contre le développement de salissures biologiques a été mis en service durant 8 mois (du 12 avril au 07 décembre) au cours de l'année 2020, et uniquement lorsque la température de l'eau au canal de prise était supérieure à 10°C. Les concentrations en oxydants résiduels et en composés organohalogénés volatils (haloformes, essentiellement le bromoforme) générées par ce procédé sont restés inférieures aux limites autorisées. Les résultats des mesures de concentration en bromoforme dans le canal de prise ont permis d'évaluer que le pourcentage d'eau de refroidissement qui passe une seconde fois dans la centrale était de 7,5 %.

Comme depuis 2014, les températures de l'eau au canal de prise au cours de ce cycle de surveillance étaient globalement au-dessus des normales observées depuis 1986 (+1,1°C). Néanmoins, aucune température de l'eau supérieure à 30°C, de novembre à mai, et à 35°C, de juin à octobre, n'a été

enregistrée au point *Rejet* au cours de cette période et l'échauffement moyen hebdomadaire est toujours resté inférieur à 12 °C.

La température est le facteur principal expliquant la dynamique saisonnière des vibrions et leur multiplication entre les points *Prise* et *Rejet*. Le passage de l'eau de mer dans l'ensemble du système constitué par la centrale et les installations aquacoles installées sur le site de Gravelines, entraîne une multiplication du nombre de vibrions d'un facteur toujours plus important au printemps qu'aux autres saisons (de mai à juin le facteur de multiplication des vibrions entre les points *Prise* et *Rejet* est >100 en moyenne depuis 1997). Si l'impact du réchauffement thermique des eaux sur la multiplication des vibrions reste important dans le panache de rejet du CNPE (point *Contrôle*), les abondances redeviennent conformes, voir inférieures, à ce que l'on observe au point *Prise* dès que l'on se situe hors influence de la centrale (point *Référence*). Ce qui tend à montrer que l'impact thermique de la centrale sur l'abondance des vibrions a une étendue assez limitée, et que la faible recirculation de l'eau entre les canaux de rejet et de prise (7,5 %) ne semble pas non plus être à l'origine d'une augmentation des abondances de vibrions dans le canal de prise.

Le cycle saisonnier des composés azotés inorganiques dissous (DIN = ammonium, nitrites et nitrates) était conforme à ce que l'on observe habituellement en milieu côtier tempéré : reconstitution des stocks en périodes automnale et hivernale, et épuisement rapide des nutriments lors des poussées phytoplanctoniques printanières. En début d'année 2020, bien que la pluviométrie excédentaire de février et mars ait entraîné des débits de rivières plus importants (notamment de l'Aa), le renouvellement des stocks d'azotes inorganiques a été modéré (en particulier pour l'ammonium). Dès le démarrage de la poussée phytoplanctonique à la mi-mars, les concentrations de DIN ont rapidement baissées. Cela a tout de même suffi à soutenir la production phytoplanctonique, caractérisée par la prolifération de la prymnésiophycée *Phaeocystis globosa* de mi-mars à mi-mai, dans la moyenne des abondances observées ces dernières années, mais plus étendue qu'à l'accoutumée (mi-mars-mi-mai). Cette année encore, la biomasse phytoplanctonique (estimée par la concentration en chlorophylle *a*) était très faible pour la région, avec un pic printanier inférieur au minimum observé sur la période 1989-2019 (< 20 µg.l<sup>-1</sup>). Cette tendance n'est pas isolée à notre zone d'étude et cela s'observe depuis une dizaine d'années dans l'ensemble de la Manche.

Contrairement au schéma habituel, observé lors de la seconde campagne pélagique de septembre 2020, les résultats obtenus lors de la campagne de juin 2020 ont montré que la concentration en chlorophylle *a*, ainsi que le pourcentage de chlorophylle active, n'étaient pas plus faible au point *Rejet* par rapport aux points *Prise* et *Référence*, contrairement à la diversité spécifique et à l'abondance phytoplanctonique. En effet, la hausse de la température, la chloration et les effets mécaniques lors du transit du phytoplancton dans la centrale qui, habituellement, portent atteinte à la structure des cellules phytoplanctoniques (mortalité, rupture des colonies, cassure des appendices), auraient dû avoir un impact sur la concentration en chlorophylle *a*, comme cela est habituellement observé sur ce site. Cette originalité du phénomène ne trouve pas d'explication scientifique au regard des données disponibles. L'effet négatif sur la diversité et l'abondance cellulaire a été également plus étendu spatialement que ce qui est observé habituellement, comme l'ont montré les résultats au point *Contrôle*. Toutefois, la diversité et les abondances observées aux points *Rejet*, *Contrôle* et *Référence* sont restées conformes à l'existence d'un gradient croissant de la côte vers le large, ce qui reflète à la fois l'impact du transit dans le CNPE sur le phytoplancton et l'hétérogénéité de la distribution spatiale du phytoplancton dans l'eau.

La comparaison avec le suivi DCE a montré que la dynamique saisonnière des abondances phytoplanctoniques au point *Prise* était tout à fait semblable à ce que l'on observe habituellement dans la région. Quant aux divergences constatées pour certains paramètres physico-chimiques, elles s'expliquent logiquement par la localisation de ces points, portuaire pour le point *Prise* et dans la masse d'eau au large de Dunkerque pour le point DCE. Le même constat s'opère quand on compare l'abondance et la composition des espèces zooplanctoniques entre les points *Prise* et *Référence*. La situation géographique particulière du point *Prise* (Avant-Port Ouest de Dunkerque, phénomène de rétention des eaux plus important) par rapport au point *Référence*, situé plus au



large, explique les différences d'abondances que l'on peut observer entre ces points lors des campagnes pélagiques, sans que cela soit en lien avec les activités du CNPE. Les abondances et la composition zooplanctonique observées au point *Contrôle* étaient comparables à celles faites au point *Prise*, avec notamment, de fortes concentrations de noctiluques sur ces deux points très côtiers lors de la campagne de juin, à mettre en relation avec les conditions hydroclimatiques. La structure des communautés planctoniques ne présentait donc pas de caractéristiques pouvant mettre en cause l'activité du CNPE de Gravelines.

**Les résultats de la surveillance du compartiment pélagique (hydrologie, physico-chimie, chimie, phytoplancton et zooplancton) opérée à Gravelines en 2020, ne présentent pas de caractéristiques ou de modifications pouvant être reliée à l'activité du CNPE.**

## Le domaine benthique

Les sédiments de l'estran du Petit-Fort-Philippe restent toujours majoritairement constitués de sables fins et moyens. Aucune évolution majeure de la morphologie de l'estran pouvant être liée aux activités du CNPE n'a été constatée. La répartition de la biomasse sur l'estran était conforme à ce qui peut être observé sur d'autres estrans à énergie modérée de la région non soumis aux activités du CNPE. Les analyses ont permis de distinguer des assemblages faunistiques caractéristiques qui correspondent à la zonation naturelle de l'estran, qui sont stables par rapport aux années précédentes. Cette zonation est principalement fonction des temps d'exondation, de l'influence des eaux douces (fleuve Aa et eaux de ruissellement), du substrat et de la compétition interspécifique. Les autres facteurs qui pourraient modifier cette zonation (enrichissement en matière organique, perturbation thermique liée au panache de rejet du CNPE, ...) ne l'ont pas modifié en 2020.

En ce qui concerne le benthos subtidal, les sédiments au point B (hors influence de la centrale) sont composés majoritairement de sables fins, alors que ceux du point C (sous l'influence du panache de rejet du CNPE) sont composés essentiellement de sables moyens à fins. Les pélites (fraction fine) ainsi que les particules les plus grossières étaient quasi inexistantes au point C. Le lessivage des fines du sédiment par les eaux rejetées par la centrale, parfaitement matérialisé par les analyses granulométriques, provoque la disparition des espèces vasicoles. Les peuplements benthiques subtidaux établis à ce point restent toujours du type sabulicole et le déficit en densité et biomasse au point C reste toujours significatif par rapport au point B. Malgré ces déficits, la qualité écologique du milieu au point C apparaît comme bonne, voire très bonne en période estivale, et même meilleure qu'au point B. En 2020, elle était également meilleure aux années antérieures évoquant une légère amélioration du milieu. Les résultats enregistrés en 2020 au point C confirment donc à la fois l'impact de la centrale sur les communautés benthiques du champ proche de l'embouchure du canal de rejet, mais aussi la stabilité de cet impact au cours du temps. Le peuplement installé au point C est tout à fait semblable, tant du point de vue de la composition faunistique que de la densité et de la biomasse globale, à ceux établis sur les sédiments similaires dans la région. La zone de déficit est localisée au débouché du canal de rejet et ne s'étend pas *a priori* au-delà de quelques centaines de mètres. Enfin, ce déficit est uniquement dû à l'action de la courantomologie et rien ne permet de penser, avec les informations recueillies, que l'on puisse être en présence d'un autre impact que celui courantomologique du rejet.

**Au vu des données disponibles pour le compartiment benthique en 2020 à Gravelines, il n'apparaît pas d'effet perceptible du fonctionnement du CNPE sur la morphologie de l'estran ainsi que sur les assemblages faunistiques associées.**

## Le domaine halieutique

En 2020, une seule campagne d'échantillonnage a pu être réalisée en juillet (au lieu de deux campagnes réglementaires habituellement réalisées plus tôt dans l'année) du fait de la situation

sanitaire liée à la COVID-19. Ceci a eu pour conséquence l'absence d'œufs et de larves de sprat et de sole dans les échantillons collectés. Lors de cette campagne, les valeurs d'abondance de larves de crevette grise enregistrées au niveau du point *Contrôle* s'inscrivaient dans l'intervalle de celles des points *Prise*, *Côte* et *Large*. Toutefois, l'influence éventuelle des rejets du CNPE de Gravelines sur cette population reste difficile à évaluer de par notamment l'échantillonnage réglementaire actuel (deux campagnes réglementaires par an), et plus encore en 2020 du fait de la réalisation d'une seule campagne réglementaire, qui ne permet donc pas de couvrir entièrement la période de reproduction de la crevette grise, qui s'étend sur une longue période, et qui conduit donc à une variabilité interannuelle élevée des abondances, rendant difficile l'interprétation de l'évolution à long terme. Au vu de ces éléments, l'incidence de l'abandon d'une campagne réglementaire reste très limitée en regard de l'historique de la surveillance halieutique.

**La stratégie de surveillance du domaine halieutique n'a pas mis en évidence au cours de l'année 2020 à Gravelines, de modification significative des abondances de larves de crevette grise, pouvant être en lien avec l'activité du CNPE.**

\*\*\*\*\*

**Le suivi écologique et halieutique réalisé à proximité du CNPE de Gravelines en 2020, ne met pas en évidence d'influence perceptible du fonctionnement du CNPE sur les différents compartiments pélagiques, benthiques et halieutiques.**

Le suivi des paramètres physico-chimiques, microbiologiques et planctoniques aux points *Prise* et *Référence* ne montrent pas une évolution anormale du milieu marin qui serait imputable au fonctionnement du CNPE de Gravelines. Si la disparition des espèces vasicoles au profit d'espèces sabulicoles confirme cette année encore l'impact courantologique du CNPE sur la communauté benthique subtidale, celui-ci reste circonscrit au débouché du canal de rejet et n'affecte pas la qualité écologique du milieu.



# TABLE DES MATIERES

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>STRATEGIE DE SURVEILLANCE DU CNPE DE GRAVELINES .....</b>	<b>1</b>
Historique.....	1
Lieux de surveillance .....	4
<b>PARAMETRES MESURES ET CAMPAGNES 2020.....</b>	<b>5</b>
Intervenants / opérateurs.....	8
<b>A CONTEXTE GENERAL ET ENVIRONNEMENTAL .....</b>	<b>11</b>
<b>A.1 PRESENTATION DU CNPE.....</b>	<b>13</b>
<b>A.2 CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ET CLIMATOLOGIQUE .....</b>	<b>13</b>
A.2.1 Régime hydrodynamique .....	13
A.2.2 Hydrographie.....	14
A.2.3 Climatologie régionale.....	15
<b>A.3 PARTICULARITES HYDROCLIMATIQUES DE L'ANNEE EN COURS .....</b>	<b>16</b>
A.3.1 Température de l'air.....	16
A.3.2 Précipitations.....	18
A.3.3 Actinométrie.....	19
A.3.4 Direction et force des vents.....	20
<b>A.4 CONCLUSIONS .....</b>	<b>21</b>
<b>B LE DOMAINE PELAGIQUE .....</b>	<b>23</b>
<b>B.1 HYDROLOGIE, PHYSICO-CHIMIE, CHIMIE .....</b>	<b>25</b>
B.1.1 Stratégie de surveillance .....	25
B.1.2 Paramètres / méthodes.....	26
B.1.3 Surveillance aux canaux de prise et de rejet .....	29
B.1.4 Surveillance du milieu récepteur.....	41
B.1.5 Conclusions.....	44
<b>B.2 PHYTOPLANCTON ET BIOMASSE CHLOROPHYLIENNE .....</b>	<b>49</b>
B.2.1 Stratégie de surveillance .....	49
B.2.2 Paramètres / méthodes.....	50
B.2.3 Surveillance au canal de prise .....	52
B.2.4 Surveillance du milieu récepteur.....	59
B.2.5 Dynamique du phytoplancton à méso-échelle.....	61
B.2.6 Conclusions.....	62
<b>B.3 MICROBIOLOGIE .....</b>	<b>67</b>
B.3.1 Stratégie de surveillance .....	67
B.3.2 Paramètres / méthodes.....	67

B.3.3	Surveillance aux canaux de prise et de rejet .....	69
B.3.4	Surveillance du milieu récepteur.....	74
B.3.5	Conclusions .....	75
<b>B.4</b>	<b>ZOOPLANKTON .....</b>	<b>79</b>
B.4.1	Stratégie de surveillance .....	79
B.4.2	Paramètres / méthodes .....	81
B.4.3	Surveillance au canal de prise .....	82
B.4.4	Surveillance du milieu récepteur.....	90
B.4.5	Conclusions .....	94
<b>B.5</b>	<b>MISE EN PERSPECTIVE DES RESULTATS AVEC LA DCE.....</b>	<b>97</b>
B.5.1	Rappel des objectifs DCE dans le bassin Artois-Picardie .....	97
B.5.2	Eléments de qualité suivis.....	98
B.5.3	Comparaison des résultats de la surveillance écologique IGA et DCE.....	102
B.5.4	Remarques générales sur les paramètres communs de la surveillance écologique DCE et CNPE de Gravelines .....	107
<b>C</b>	<b>LE DOMAINE BENTHIQUE .....</b>	<b>109</b>
<b>C.1</b>	<b>MACROFAUNE BENTHIQUE SUBTIDALE .....</b>	<b>110</b>
C.1.1	Stratégie de surveillance .....	110
C.1.2	Paramètres / méthodes .....	110
C.1.3	Résultats des analyses au point B (hors influence) .....	113
C.1.4	Résultats des analyses au point C (sous influence) .....	121
C.1.5	Evolution temporelle des peuplements .....	126
C.1.6	Conclusions .....	126
<b>C.2</b>	<b>MACROFAUNE BENTHIQUE INTERTIDALE .....</b>	<b>129</b>
C.2.1	Stratégie de surveillance .....	129
C.2.2	Paramètres / méthodes .....	129
C.2.3	Résultats d'analyse.....	133
C.2.4	Evolution de l'estran .....	146
C.2.5	Conclusions .....	147
<b>D</b>	<b>LE DOMAINE HALIEUTIQUE .....</b>	<b>149</b>
<b>D.1</b>	<b>ICHTYOPLANKTON .....</b>	<b>150</b>
D.1.1	Stratégie de surveillance .....	150
D.1.2	Paramètres / méthodes .....	151
D.1.3	Résultats d'analyse.....	151
D.1.4	Conclusions .....	156
<b>E</b>	<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>159</b>
<b>E.1</b>	<b>LES PARTICULARITES ENVIRONNEMENTALES .....</b>	<b>159</b>
<b>E.2</b>	<b>LE COMPARTIMENT PELAGIQUE.....</b>	<b>159</b>

E.2.1	Hydrologie, physico-chimie, chimie.....	159
E.2.2	Phytoplancton .....	159
E.2.3	Microbiologie .....	160
E.2.4	Zooplancton.....	161
E.2.5	MISE EN PERSPECTIVE DES RÉSULTATS AVEC LA DCE.....	161
<b>E.3</b>	<b>LE COMPARTIMENT BENTHIQUE .....</b>	<b>162</b>
E.3.1	Macrofaune benthique subtidale .....	162
E.3.2	Macrofaune benthique intertidale .....	162
<b>E.4</b>	<b>LE COMPARTIMENT HALIEUTIQUE .....</b>	<b>163</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>		<b>164</b>
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....		164
REFERENCES HISTORIQUES DE LA SURVEILLANCE .....		167
VALORISATIONS (PUBLICATIONS, POSTERS, ARTICLES, ...) .....		170
<b>GLOSSAIRE .....</b>		<b>173</b>
<b>ANNEXES.....</b>		<b>175</b>



## INTRODUCTION

La "surveillance écologique et halieutique des rejets des centrales nucléaires du bord de mer", vise à étudier l'**évolution temporelle à moyen et long terme** des **différents domaines marins** (pelagos, benthos et halieutique) et de leurs **compartiments associés** (hydrologie, physico-chimie, chimie, phytoplancton, zooplancton, benthos, microbiologie, ...) à une **échelle spatiale locale** (proche des centrales et de sa zone d'influence). La finalité recherchée est de mettre en évidence d'éventuels changements à travers le suivi de paramètres ciblés et caractéristiques de chaque compartiment. La zone d'études peut être élargie au niveau régional si la distribution spatiale des paramètres surveillés le justifie, comme dans le cas de l'halieutique par exemple. Les changements ou les évolutions qui ne pourraient être expliqués par les données obtenues, peuvent donner lieu à des études particulières s'inscrivant en marge de la Surveillance proprement dite.

La surveillance écologique du milieu récepteur du CNPE de Gravelines a été initiée en 1978. Le présent rapport s'inscrit donc dans la **43<sup>ème</sup> année de surveillance** pour ce site.

Le travail réalisé par l'Ifremer et ses partenaires est soutenu par un cadre conventionnel national établi avec EDF (Marché n°C4493C0850). Un cahier des charges détaille les modalités de la surveillance mises en œuvre pour chacun des 5 CNPE couverts par cette convention.

Pour tous les CNPE concernés, la stratégie de surveillance mise en œuvre reflète les exigences réglementaires fixées par l'Autorité de Sureté Nucléaire<sup>7</sup> (ASN).

## STRATEGIE DE SURVEILLANCE DU CNPE DE GRAVELINES

### HISTORIQUE

L'étude, dite d'Avant-Projet, ayant pour but d'évaluer les principales caractéristiques écologiques du site pressenti pour l'implantation de la centrale, fut réalisée de septembre 1974 à décembre 1975. L'étude de Projet, destinée à établir un bilan écologique de référence avant la mise en service de la centrale, fut conduite d'août 1976 à juillet 1977 (Tableau 0-1).

Les études de surveillance de l'environnement marin du site nucléaire de Gravelines ont commencé en février 1978, soit deux années avant la date de mise en fonctionnement de la première unité de production de la centrale (14 mars 1980) et huit années avant que la Centrale n'ait atteint sa puissance maximale (1986). Elles s'attachent aux paramètres jugés les plus significatifs et sensibles permettant de déceler l'importance des effets du fonctionnement de la centrale. Les modalités de prélèvements (les points et les fréquences de prélèvement, la nature des analyses effectuées) ont évolué entre 1978 et 1986 (Tableau 0-1 et Tableau 0-2) au fur et à mesure de la mise en service des six unités de production du CNPE de Gravelines (tranches 1 à 3 en 1980, tranche 4 en 1981 et tranches 5 à 6 en 1985).

Afin d'apprécier plus précisément l'effet du rejet de la centrale nucléaire de Gravelines sur le milieu naturel, une nouvelle stratégie d'échantillonnage a été mise en œuvre en septembre 1986 pour le **domaine pélagique**. Elle consistait à comparer les deux systèmes d'entrée et de sortie de la centrale et également la zone soumise au rejet à une zone hors influence qui est le système de référence, ceci pour trois situations : printanière, estivale et automnale (la campagne automnale a été abandonnée dès 1989).

<sup>7</sup> Autorité administrative indépendante depuis 2006, l'ASN est en charge, entre autre, de toutes les décisions réglementaires à caractère technique (par arrêtés et/ou décisions) et elle contribue à l'élaboration des décrets et des arrêtés ministériels fixant la réglementation générale.

Tableau 0-1 : Chronologie des différentes stratégies de surveillance pour les domaines pélagique (P, bleu clair = mensuel, bleu foncé = hebdomadaire), halieutique (H, violet) et benthique (B, marron) du CNPE de Gravelines

		Mois de l'année											
Surveillance	Années (cycle Surv.)	1			2			3			4		
		P	H	B	P	H	B	P	H	B	P	H	B
Etude d'Avant-Projet	1974												
Etude de Projet	1975												
	1976				11			24			29		
Tranches 1 à 3 (14/03, 1/09, 12/12) Tranche 4 (9/07) <div>Arrêté préfectoral 17/04/1985</div> Tranches 5 et 6	1977				24			22			26		
	1978				7			30			19		
	1979	16	1		12			13	13		10	10	
	1980	17	17		27	20		27			26	2	
	1981	8	22					5	10		7	14	?
	1982	18			27	4		18			2	20	
	1983	24	26					3	10		15	15	
	1984							7	20		25	5	
	1985							13			19	17	
	1986							13	24		15	16	
	1987							16	14		11	2	
	1988							5			6	3	
	1989							12			9	31	
	1990							19	25		3	31	
	1991							10	22		13	22	
	1992							2	14		13	19	
	1993							8	8		17	5	
	1994	31						11	7		2	11	
	1995	19						16	16		30	9	
	1996	4						19	26		14	9	
	1997	28						8	10		10	21	
	1998	9						17	10		20	13	
	1999	6						8	18		28	21	
	2000	31						9	16		14	27	
	2001	22						18	12		7	11	
	2002	8						8	19		5	22	
	2003	27						15	11		13	15	
	2004	7						26	16		3	28	
	2005	31						15	25		23	25	
	2006	17						13	21		13	18	
	2007	29						26	29		21	28	
	2008	22						26	12		25	25	
	2009	29						24	24		27	27	
	2010	18						26	26		26	27	
	2011	10						16	18		31	20	
	2012	10						20	10		13	23	
	2013	14						25	25		10	10	
	2014	16						18			21	21	
	2015	19						17			18	9	
	2016	21						22			8	23	
	2017	16						15			14	7	
	2018	23						16			8	20	
	2019	10						11			8	19	
	2020	14						7			6	6	
	2021												
	2022												
	2023												
	2024												

**Pour le domaine pélagique** : le jour correspond au prélèvement incluant le zooplancton, les jours en rouge correspondent aux campagnes pélagiques annuelles.

**Pour le domaine benthique** : le jour en gras correspond à la campagne intertidale les autres jours aux campagnes subtidales.

La surveillance du domaine pélagique ne s'exerçait alors plus que sur quatre stations, deux stations fixes géographiquement, *Prise* et *Rejet* (canaux d'amenée et de rejet) et deux stations variables géographiquement, déterminées par leur  $\Delta t$ , *Contrôle* ( $t = +3$  ou  $4^\circ\text{C}$ ) et *Référence* ( $t = 0^\circ\text{C}$ ). Les

deux stations *Prise* et *Rejet* étant accessibles facilement et sans moyen nautique, un suivi plus régulier de certains paramètres a été mis en place dès 1987, d'abord mensuellement, puis hebdomadairement de février à septembre à partir de 1989, puis enfin toute l'année à partir de 2003, afin de cerner avec une bonne précision les variations saisonnières dans le milieu naturel non impacté par les rejets de la centrale. En effet, même si la station *Prise* qui reçoit les eaux de l'Avant-Port Ouest de Dunkerque, milieu bien renouvelé pendant la marée, ne peut être assimilée à la station *Référence* du large, le gradient côte-large reste peu important par rapport aux variations temporelles et saisonnières.

Tableau 0-2 : Stations de prélèvement par domaine d'étude (toujours suivies après 1986). Pour le domaine pélagique les compartiments étudiés sont indiqués (H, hydrologie ; P, phytoplancton ; Z, zooplancton ;  $\mu$ , microbiologie). - : station abandonnée

		Domaine															
		Pélagique						Halieutique				Benthique					
Surveillance	Années (cycle Surv.)	Prise	Rejet	Radeau	Rejet amont	Contrôle	Référence	Côte	Contrôle	Large	Prise	B	C	EFGH	IJKL	MN	
Etude d'Avant-Projet	1974																
	1975																
Etude de Projet	1976					HP	HPZ										
	1977					HP	HPZ										
Tranches 1 à 3 (14/03, 1/09, 12/12) Tranche 4 (9/07)	1978	HPZ				HPZ	HPZ										
	1979	HPZ				HPZ	HPZ										
	1980	HPZ				HPZ	HPZ										
	1981	HPZμ				HPZ	HPZ										
	1982	HPZμ				HPZ	HPZ										
	1983	HPZμ				HPZ	HPZ										
	1984	HPZμ				HPZ	HPZ										
	1985	HPZμ				HPZ	HPZ										
	1986	HPZμ	HPμ			HPZ	HPZ										
	1987	HPZμ	HPμ	HPμ		HPZμ	HPZμ										
	1988	HPZμ	HPμ	HPμ		HPZμ	HPZμ										
	1989	HPZμ	HPμ	HPμ		HPZμ	HPZμ										
	1990	HPZμ	HPμ	HPμ		HPZμ	HPZμ										
	1991	HPZμ	HPμ	HPμ		HPZμ	HPZμ										
	1992	HPZμ	HPμ	HPμ		HPZμ	HPZμ										
	1993	HPZμ	HPμ	HPμ		HPZμ	HPZμ										
	Tranches 5 et 6	1994	HPZμ	HPμ	HPμ		HPZμ	HPZμ									
		1995	HPZμ	HPμ	HPμ		HPZμ	HPZμ									
1996		HPZμ	HPμ	HPμ		HPZμ	HPZμ										
1997		HPZμ	HPμ	HPμ		HPZμ	HPZμ										
Arrêté préfectoral 17/04/1985	1998	HPZμ	HPμ	HPμ		HPZμ	HPZμ										
	1999	HPZμ	HPμ	HPμ		HPZμ	HPZμ										
	2000	HPZμ	HPμ	HPμ		HPZμ	HPZμ										
	2001	HPZμ	HPμ	HPμ		HPZμ	HPZμ										
Arrêté préfectoral	2002	HPZμ	HPμ	HPμ		HPZμ	HPZμ										
	2003	HPZμ	HPμ	HPμ		HPZμ	HPZμ										
	2004	HPZμ	HPμ	HPμ		HPZμ	HPZμ										
	2005	HPZμ	HPμ	HPμ		HPZμ	HPZμ										
2006-2012	2006	HPZμ	HPμ	HPμ		HPZμ	HPZμ										
	2007	HPZμ	HPμ	HPμ		HPZμ	HPZμ										
	2008	HPZμ	HPμ	HPμ		HPZμ	HPZμ										
	2009	HPZμ	HPμ	HPμ		HPZμ	HPZμ										
	2010	HPZμ	HPμ	HPμ		HPZμ	HPZμ										
	2011	HPZμ	HPμ	HPμ		HPZμ	HPZμ										
2013-2018	2012	HPZμ	HPμ	HPμ		HPZμ	HPZμ										
	2013	HPZμ	HPμ	HPμ		HPZμ	HPZμ										
	2014	HPZμ	HPμ	HPμ		HPZμ	HPZμ										
	2015	HPZμ	HPμ	-	HPμ	HPZμ	HPZμ										
	2016	HPZμ	HPμ	-	HPμ	HPZμ	HPZμ										
	2017	HPZμ	HPμ	-	HPμ	HPZμ	HPZμ										
2018-2024	2018	HPZμ	HPμ	-	HPμ	HPZμ	HPZμ										
	2019	HPZμ	HPμ	-	-	HPZμ	HPZμ										
	2020	HPZμ	HPμ	-	-	HPZμ	HPZμ										
	2021	HPZμ	HPμ	-	-	HPZμ	HPZμ										
	2022	HPZμ	HPμ	-	-	HPZμ	HPZμ										
	2023	HPZμ	HPμ	-	-	HPZμ	HPZμ										
Décision ASN n° 2018-DC-0647 du 16 octobre 2018	2024	HPZμ	HPμ	-	-	HPZμ	HPZμ										

La surveillance du **domaine halieutique** a également connu de nombreuses évolutions en ce qui concerne la période et la fréquence d'échantillonnage, les points de prélèvements suivis et les espèces identifiées. La surveillance consistait à comparer deux stations côtières impactées par le panache de rejet de la centrale (*Côte* et *Contrôle*) à une station située au large hors influence de la centrale (*Large*). D'abord mensuel de 1976 à 1984, le suivi de l'ichtyoplancton et des larves de

crevettes grises a été restreint à la période printemps-été de 1985 à 2000, puis seulement à deux campagnes annuelles entre avril et mai, complétées par un prélèvement au canal d'amenée (point *Prise*).

Le suivi écologique du **benthos subtidal** de la région de Gravelines était réalisé depuis 1979 durant une campagne annuelle comprenant quatre stations (A, B, C et D) représentatives des trois peuplements benthiques identifiés localement lors d'études antérieures. A partir de 1990, le suivi s'est focalisé sur les évolutions respectives des stations B et C dans la mesure où la station B (hors-influence) représentait les potentialités du peuplement des sables fins plus ou moins envasés à *Abra alba*, tandis que la station C (située au débouché du canal de rejet) représentait le résultat de l'effet de la circulation d'eau sur ce peuplement.

Le suivi du **benthos intertidal** sur la plage du Petit-Fort-Philippe, a quant à lui, très peu évolué depuis 1979. Seule une radiale de deux stations, situées sur le haut de l'estran, a été rajoutée en 2000 afin d'avoir une analyse plus précise de l'impact mise en évidence sur les niveaux supérieurs de l'estran.

## LIEUX DE SURVEILLANCE

Le programme de surveillance actuel couvre les domaines pélagique, halieutique et benthique. Les modalités de prélèvements (les points et les fréquences de prélèvement, la nature des analyses effectuées) se font dans le respect de la nouvelle Décision n°2018-DC-0647 de l'Autorité de Sûreté Nucléaire du 16 octobre 2018, toutefois certains paramètres font l'objet de mesures complémentaires à ce qui est défini dans la Décision ASN. Les points échantillonnés par domaine d'étude sont géolocalisés sur la carte Figure 0-1 et dans le Tableau 0-3.

Tableau 0-3 : Localisation et description des lieux de surveillance pour le CNPE de Gravelines

LIBELLE		Coordonnées GPS (WGS84, Degrés, minutes décimales)		Commentaire
		Latitude	Longitude	
Péla- gique	<b>REJET</b>	2,143	51,021	Point représentatif des eaux rejetées dans le milieu marin par le CNPE.
	<b>REFERENCE</b>	2,152	51,057	Point de référence au large, hors influence de la tâche thermique du rejet.
et/ou	<b>CANAL DE PRISE</b>	2,152	51,023	Point représentatif de l'eau de mer pompée par le CNPE.
Halieu- tique	<b>CONTRÔLE</b>	2,137	51,037	Point situé au large du rejet, en limite de l'influence de la tâche thermique.
	<b>CÔTE</b>	2,125	51,025	Point à proximité de la plage de Petit-Fort-Philippe.
	<b>LARGE</b>	2,110	51,063	Point hors zone d'influence du CNPE.
Benthos intertidal	<b>E</b>	2,109	51,006	Zone comprise entre l'estuaire de l'Aa et la route de Dunes (estran Petit-Fort-Philippe).
	<b>F</b>	2,106	51,009	
	<b>G</b>	2,102	51,012	
	<b>H</b>	2,099	51,014	
	<b>I</b>	2,121	51,011	
	<b>J</b>	2,119	51,013	
	<b>K</b>	2,117	51,015	
	<b>L</b>	2,115	51,016	
	<b>M</b>	2,116	51,010	
	<b>N</b>	2,114	51,011	
Benthos subtidal	<b>B</b>	2,077	51,023	Point hors influence du CNPE.
	<b>C</b>	2,142	51,027	Point sous influence du CNPE.



## PARAMETRES MESURES ET CAMPAGNES 2020

En application de l'Arrêté du 15 septembre 2010 portant homologation de la décision n° 2018-DC-0647 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 16 octobre 2018 relative aux limites de rejets dans l'environnement des effluents du CNPE de GRAVELINES<sup>8</sup>, la liste synthétique des paramètres surveillés (échantillons, stations, fréquences) est détaillée dans le Tableau 0-4. Les procédures d'échantillonnages et les méthodologies analytiques font l'objet d'un chapitre dédié, en introduction de chaque partie concernée dans la suite de ce rapport.

Tableau 0-4 : Liste détaillée des paramètres pris en compte dans la surveillance écologique du CNPE de Gravelines en application de la décision n°2018-DC-0647 (dates des campagnes réalisées en 2020 en rouge, \* = mesures complémentaires)

Domaine	Programme de surveillance écologique et halieutique		
	En application de l'arrêté du 15 septembre 2010, et de la décision modalités n° 2018-DC-0647 du 16 octobre 2018.		
	Paramètre	Points	Fréquence Dates campagnes réalisées en 2020
Pélagique	CNPE fonct.		
	Météorologie		
	Hydrographie		
	Hydrologie	Température	Hebdomadaire
		Salinité*	Prise, Rejet, Contrôle, Référence 2 campagnes/an 22 juin – 02 sept
	Physico-chimie	Turbidité	Mensuel
		néphélométrique*	2 campagnes/an 22 juin – 02 sept
	Chimie	Oxygène dissous*	22 juin – 02 sept
		Chlore résiduel	Hebdomadaire
		Haloformes	Hebdomadaire
		Bromophénols	Mensuel
		Ammonium	Hebdomadaire
		Nitrates	2 campagnes/an 22 juin – 02 sept
		Nitrites	22 juin – 02 sept
		Phosphates*	Mensuel
		Silicates*	2 campagnes/an 22 juin – 02 sept
	Microbiologie	Vibrions halophiles	Hebdomadaire
			2 campagnes/an 22 juin – 02 sept
	Phytoplancton	Pigments chlorophylliens	Hebdomadaire
		Flore totale	2 campagnes/an 22 juin – 02 sept
	Zooplancton	Biomasse sestonique	Mensuel
		Faune totale	2 campagnes/an 22 juin – 02 sept
Halieutique	Ichtyoplancton	Soles et sprats (abondance des œufs et larves)	4 campagnes/an (dont 2 non-réglementaires) (Sem 13,15, 17 annulées COVID) 07 juil
			2 campagnes/an (Sem 15 annulée COVID) 07 juil
	Macrofaune	Crevettes grises (abondances des stades zoés et mégalopes)	4 campagnes/an (dont 2 non-réglementaires) (Sem 13,15, 17 annulées COVID) 07 juil
			2 campagnes/an (Sem 15 annulée COVID) 07 juil

<sup>8</sup> <https://www.asn.fr/content/download/162560/1648091/version/3/file/2018-DC-0647.pdf>

Domaine		Programme de surveillance écologique et halieutique <i>En application de l'arrêté du 15 septembre 2010, et de la décision modalités n° 2018-DC-0647 du 16 octobre 2018.</i>		
		Paramètre	Points	Fréquence Dates campagnes réalisées en 2020
Benthique	Intertidal	Sédiment (granulométrie) Macrofaune totale	3 radiales E, F, G, H* M, N I, J, K, L*	<u>1 campagne/an</u> 08 juin
	Subtidal	Sédiment (granulométrie) Macrofaune totale	B (hors influence) C (sous influence)	<u>4 campagnes/an</u> 06 fév, 18 mai, 07 juil, 01 sept

**Deux campagnes pélagiques annuelles** sont réalisées afin de comparer le milieu récepteur des eaux rejetées par la centrale à une zone hors influence qui est le système de référence. En 2020, elles ont été réalisées le 22 juin, pour la mission printanière, et le 02 septembre, pour la mission estivale (Tableau 0-5), à bord du navire de la SNSM de Gravelines (DK779894). Lors de chaque mission, quatre points sont étudiés, deux à terre depuis les berges des canaux de prise d'eau et de rejet, et deux en mer :

- le point *Prise* (situé à l'entrée du canal d'amenée de la centrale),
- le point *Rejet* (situé en sortie du canal de rejet),
- le point *Contrôle* (situé dans le panache de rejet avec échauffement résiduel de 3 à 4°C),
- le point *Référence* (situé au large, au-delà de la zone d'influence de la centrale).

Tableau 0-5 : Dates et horaires des campagnes pélagiques 2020

Date	Pleine mer (heure locale)	Coefficient de marée	<i>Prise</i>	<i>Rejet</i>	<i>Contrôle</i>	<i>Référence</i>
22/06/2020	14:16	79	13:00	12:50	12:50	13:30
02/09/2020	13:50	84	10:50	10:14	12:50	13:22

Afin d'avoir une vision plus fine des variations saisonnières naturelles ou en lien avec les effluents liquides du CNPE, des prélèvements hebdomadaires sont aussi réalisés aux points *Prise* et *Rejet* tout au long de l'année. Ils concernent l'hydrologie (température, salinité, sels azotés), la microbiologie (vibrions halophiles) et les dérivés de chloration (chlore total et chlore libre, haloformes ; ainsi que les bromophénols mais uniquement au canal de rejet et mensuellement). Le phytoplancton et les pigments chlorophylliens sont également échantillonnés hebdomadairement au canal de prise, de même que le zooplancton, mais à une fréquence mensuelle. Depuis 2016, quatre paramètres supplémentaires sont suivis mensuellement aux points *Prise* et *Rejet* : la turbidité, l'oxygène dissous, les phosphates et les silicates.

Le **programme de surveillance de l'ichtyoplancton** (œuf et larves de poisson) comprend quatre campagnes printanières :

- deux campagnes non-réglementaires au point *Prise*, qui alternent avec,
- deux campagnes réglementaires de quatre points :
  - point *Prise* (à l'entrée du canal d'amenée de la centrale),
  - point *Côte* (à proximité de la plage de Petit-Fort-Philippe),
  - point *Contrôle* (dans le panache de rejet),
  - point *Large* (hors zone d'influence de la centrale).

Cependant, la crise sanitaire, qui aura profondément marqué l'année 2020, a eu pour effet, à Gravelines, l'abandon d'une campagne réglementaire (sur 4 points), ainsi que des deux campagnes complémentaires, non-réglementaires, réalisées au point *Prise*. Du point de vue réglementaire, sur les 16 échantillons prévus, seuls 8 ont donc pu être réalisés (2 échantillons × 4 points × 1 campagne).

**Pour le domaine benthique**, en zone intertidale, une campagne annuelle est réalisée, habituellement vers la fin du printemps ou début de l'été, comprenant deux radiales de 4 points et 1 radiale à 2 points de hauts niveaux, couvrant l'ensemble de la zone intertidale comprise entre l'estuaire de l'Aa et la route de Dunes (estran Petit-Fort-Philippe).

En zone subtidale, la surveillance du peuplement à *Abra alba* consiste en la réalisation de 4 campagnes de deux points, l'un hors influence (Point B), l'autre sous influence (Point C) par le fonctionnement de la centrale.

## INTERVENANTS / OPERATEURS

L'Ifremer fait appel à des prestataires extérieurs pour réaliser une part des activités que l'institut n'est pas en mesure de réaliser. Le Tableau 0-6, ci-dessous, présente, pour les différents domaines d'activité allant du prélèvement jusqu'à la rédaction du rapport annuel, l'opérateur responsable de l'action.

Tableau 0-6 : Répartition des responsabilités entre les différents opérateurs en charge des domaines d'activités liés à la surveillance écologique du CNPE de Gravelines

GRAVELINES										
Domaine	Compartiment	Programme de surveillance écologique et halieutique								
		En application de l'arrêté du 18 septembre 2003				OPERATEURS				
		Paramètre	Ech.	Stations	Fréq.	Privé	Ana-lyses	Banca-risation	Traite-ment	Rap-port
Pélagique	Hydrologie	Température	1 sub-surf.	PRISE (Pnt 325) REJET (point 327)	Hebdo ****	Fid ANAL	Fid ANAL	Ifremer	Ifremer	Ifremer
			Profil vert.	REF. (pnt 302) CTRL. (pnt 324)	2/an*	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer
		Salinité	1 sub-surf.	REJET (point 327)	Hebdo ****	Fid ANAL	Fid ANAL	Ifremer	Ifremer	Ifremer
			Profil vert.	REF. (pnt 302) CTRL. (pnt 324)	2/an*	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer
	Physico-chimie / Chimie	Chlore résiduel	1 sub-surf.	PRISE (Pnt 325)	Hebdo	Fid ANAL	Fid ANAL	Ifremer	Ifremer	Ifremer
		Haloformes (Bromoforme, Chloroforme, monochlorodibromométhane, dichlorobromométhane)		REJET (Pnt 327)	Mens	Fid ANAL	EXCELL	Ifremer	Ifremer	Ifremer
		Bromophénols	1 sub-surf.	PRISE (Pnt 325)	Hebdo ****	Fid ANAL	EUROFINS	Ifremer	Ifremer	Ifremer
		Azote (ammonium)		REJET (Pnt 327)	Hebdo ****	Fid ANAL	EUROFINS	Ifremer	Ifremer	Ifremer
		Azote (nitrates)		REF. (pnt 302), CTRL. (pnt 324)	2/an*	Ifremer	EUROFINS	Ifremer	Ifremer	Ifremer
		Azote (nitrites)				Ifremer	EUROFINS	Ifremer	Ifremer	Ifremer
		Azote (ammonium)				Ifremer	EUROFINS	Ifremer	Ifremer	Ifremer
		Azote (nitrates)				Ifremer	EUROFINS	Ifremer	Ifremer	Ifremer
		Azote (nitrites)				Ifremer	EUROFINS	Ifremer	Ifremer	Ifremer
		Turbidité néphélométrique	1 sub-surf.	PRISE (Pnt 325), REJET (Pnt 327)	Mens ****	Fid ANAL	Fid ANAL	Ifremer	Ifremer	Ifremer
		Oxygène dissous				Fid ANAL	EUROFINS	Ifremer	Ifremer	Ifremer
		Phosphates				Fid ANAL	EUROFINS	Ifremer	Ifremer	Ifremer
		Silicates				Fid ANAL	EUROFINS	Ifremer	Ifremer	Ifremer
		Turbidité néphélométrique				Ifremer	EUROFINS	Ifremer	Ifremer	Ifremer
		Oxygène dissous				Ifremer	EUROFINS	Ifremer	Ifremer	Ifremer
	Phytoplankton	Variations spatiales et temporelles	1 sub-surf.	PRISE (Pnt 325)	Hebdo ****	Fid ANAL	Fid ANAL	Ifremer	Ifremer	Ifremer
		Succession des espèces				Fid ANAL	Fid ANAL	Ifremer	Ifremer	Ifremer
		Biomasse chlorophyllienne	1 sub-surf.	REJET (Pnt 327), REF. (pnt 302), CTRL. (pnt 324)	2/an*	Ifremer	Fid ANAL	Ifremer	Ifremer	Ifremer
		Teneur en chlorophylle active				Ifremer	Fid ANAL	Ifremer	Ifremer	Ifremer
		Variations spatiales et temporelles				Ifremer	Fid ANAL	Ifremer	Ifremer	Ifremer
		Succession des espèces				Ifremer	Fid ANAL	Ifremer	Ifremer	Ifremer
	Zooplankton	Variations spatiales et temporelles	1 WP2 (form.)	PRISE (Pnt 325)	Mens ****	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer
		Succession des espèces	1 WP2 (cong.)			Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer
	Zooplankton	Variations spatiales et temporelles	1 WP2 (form.)	REJET (Pnt 327), REF. (pnt 302), CTRL. (pnt 324)	2/an*	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer
		Succession des espèces	1 WP2 (cong.)			Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer
	Micro-organismes	Vibrions halophiles	1 sub-surf.	PRISE (Pnt 325), REJET (Pnt 327)	Hebdo ****	Fid ANAL	LICAAL	Ifremer	Ifremer	Ifremer
				REF. (pnt 302), CTRL. (pnt 324)	2/an*	Ifremer	LICAAL	Ifremer	Ifremer	Ifremer
Benthique	Benthos intertidal	Sédiment (granulométrie)	carottier (1/32 m)	2 Radiales à 4 pnts 1 Radiale à 2 pnts	1 /an (en juin)	GEMEL	GEMEL	GEMEL	GEMEL	GEMEL
		Macrofaune totale	13 carottiers (1/50 m²)			GEMEL	GEMEL	GEMEL	GEMEL	GEMEL
	Benthos subtidal	Sédiment (granulométrie)	1 benne Van Veen, (1m²)	Pnt B (hors infl.) Pnt C (sous infl.)	4 /an	GEMEL	GEMEL	GEMEL	GEMEL	GEMEL
		Macrofaune peuplement à <i>Abra alba</i>	10 benne Van Veen, (1m²)			GEMEL	GEMEL	GEMEL	GEMEL	GEMEL
Halieutique	Soles et sprats	Variations spatiales et temporelles	2 éch. Bongo	PRISE (Pnt 325)	4/an***	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer
	Crevettes grises					Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer
	Soles et sprats (œufs et larves)	Variations spatiales et temporelles	2 éch. Bongo	CÔTIER (313) CTRL. (pnt 324) LARGE (Pnt 318)	2/an***	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer
	Crevettes grises					Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer

\* : 2 campagnes/an : une au printemps et une en fin d'été.

\*\*\* : Les campagnes halieutiques doivent couvrir au mieux la période de reproduction de la sole et du sprat, ainsi que la présence des zoés et mégalopes de crevette grise (printemps).

\*\*\*\* : Lors des 2 campagnes annuelles, ces prélèvements et analyses hebdomadaires ou mensuels doivent être réalisés de façon concomitante avec ceux réalisés uniquement lors des 2 campagnes annuelles, de sorte que toutes les stations soient échantillonnées et analysées de manière coordonnée lors des campagnes annuelles de printemps et fin d'été (NB : en ce qui concerne la température et la salinité, à la mesure de subsurface doivent être ajoutés des profils de sonde aux stations canal d'aménée et de REJET (Pnt 327)).

EUROFINS : EUROFINS Hydrologie nord - rue Maurice Caullery - ZI Dorignies - 59500 DOUAI

Fid ANAL : FLANDRES ANALYSES - ZAC Grande Porte - 10 rue des saveurs - BP29 - 59180 LA CHAPELLE LA GRANDE

LICAAL : LICAAL - 54 Bis Rue Hondchoote, 59492 HOYMILLE

GEMEL : GEMEL, 115 quai Jeanne d'Arc - 80230 SAINT VALERY SUR SOMME

SARCO : Laboratoire EXCELL SAS - 25 Rue Aristide Bergès - 33270 FLOIRAC.

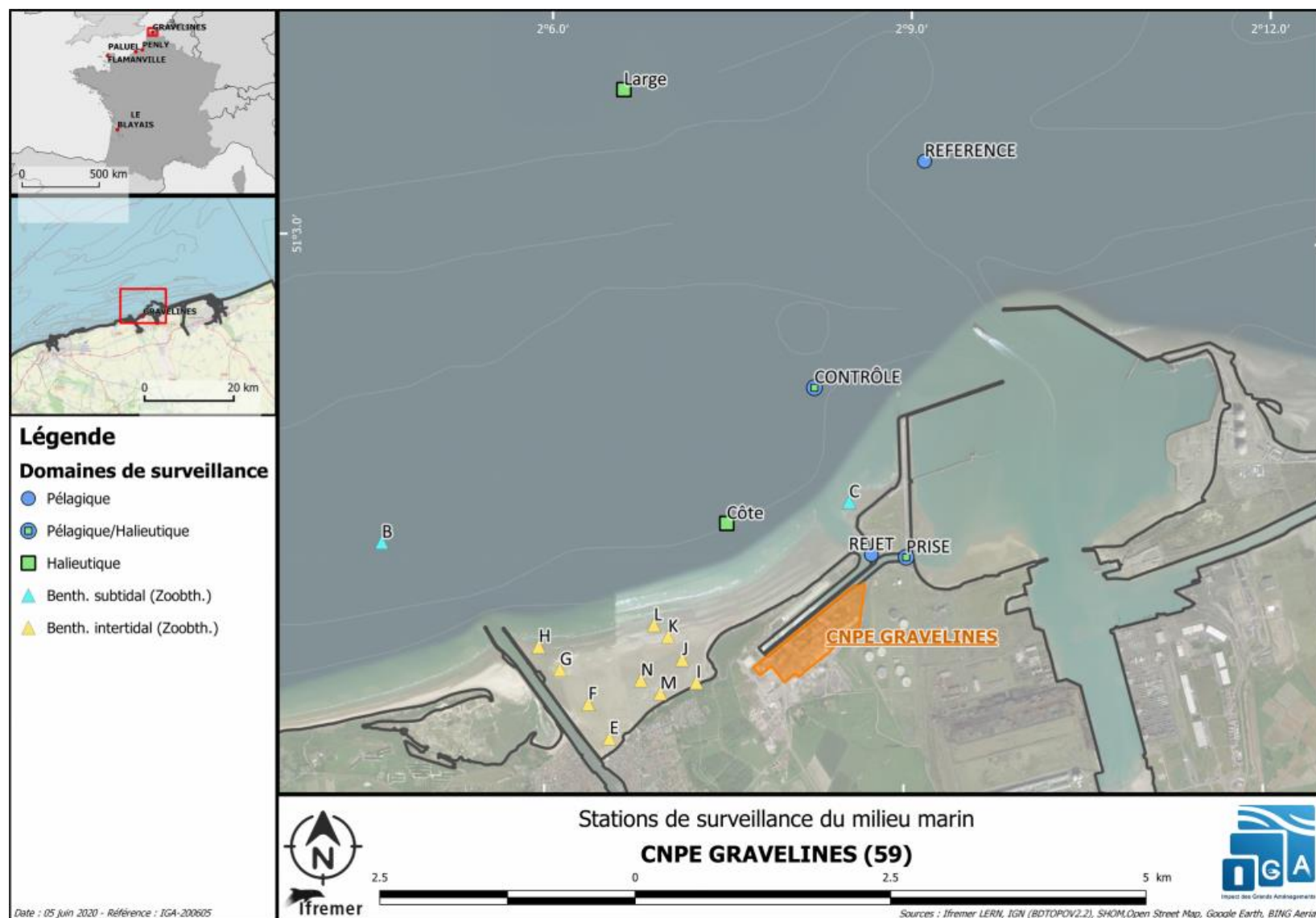


Figure 0-1 : Localisation des points suivis de la surveillance écologique du milieu marin autour du CNPE de GRAVELINES



## A CONTEXTE GENERAL ET ENVIRONNEMENTAL

### **Rédaction/mise en page**

Guillaume Wacquet (LER-BL)

Marie-Pierre Bulté (Météo France)

Catherine Conseil (Météo France)

### **Analyses/traitement des données**

EDF (fonctionnement du CNPE)

Météo France (climatologie)

### **Prélèvements**

Flandres Analyses

### **Données**

DREAL (débit de l'Aa)

EDF (fonctionnement du CNPE)

Météo France (stations météorologiques de Dunkerque et Calais-Marck)





## A.1 PRESENTATION DU CNPE

Le Centre Nucléaire de Production d'Électricité (CNPE) de Gravelines est composé de six réacteurs d'une puissance électrique unitaire d'environ 900 MWe. Le circuit de refroidissement est alimenté en eau de mer prélevée dans l'Avant-Port Ouest de Dunkerque et son débit est de  $40 \text{ m}^3$  par seconde et par tranche. Le débit nominal total du rejet est ainsi de  $240 \text{ m}^3$  par seconde. L'eau réchauffée est rejetée dans un canal à ciel ouvert qui se déverse à la côte.

Depuis 1984, des installations aquacoles (depuis 2012, Aquanord Ichthus) utilisent une partie de cette eau chaude pour l'élevage de bars et de daurades royales. Dans cette ferme aquacole, les poissons sont élevés en circuit ouvert dans un mélange d'eau de mer comprenant des apports naturels (alimentation en eau froide depuis le canal de prise) et des apports issus des circuits de refroidissement de la centrale nucléaire (alimentation en eau chaude depuis le canal de rejet). Le rejet des eaux transitant par les bassins d'élevage de la ferme aquacole se fait dans le canal de rejet de la centrale (face à la tranche 1 ; 80 %). Depuis l'été 2003, un second rejet situé plus en amont sur le canal de rejet est en service (face à la tranche 4 ; 20 %). Les effets observés au rejet de la centrale sont donc la résultante des influences conjuguées des deux installations, le CNPE et la ferme aquacole (Figure A-1).

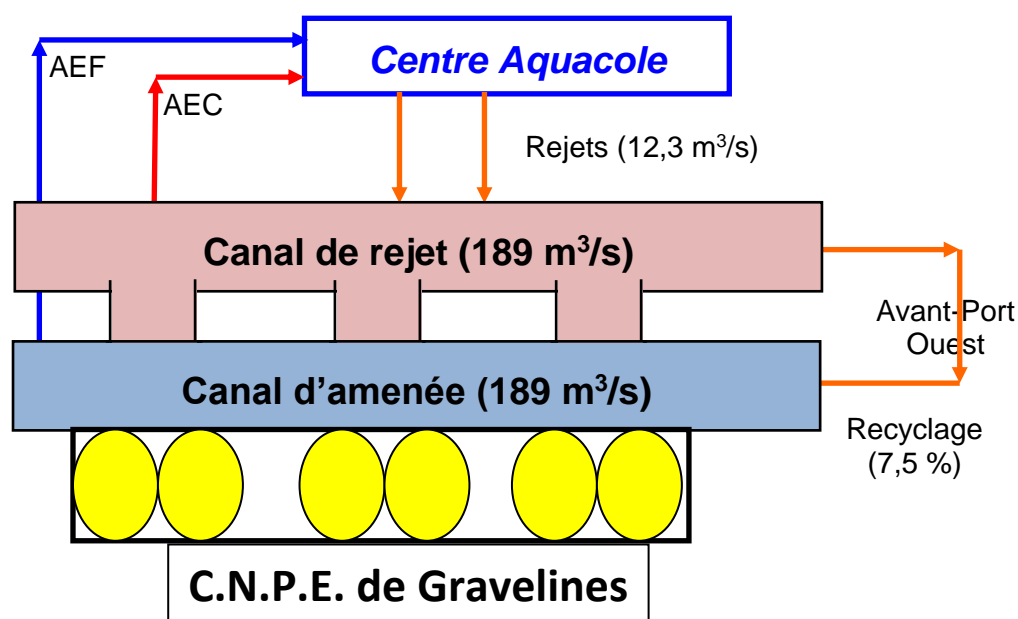


Figure A-1 : Schéma de la circulation de l'eau sur le site de Gravelines (valeurs chiffrées en 2020; AEC : Alimentation Eau Chaude ( $7,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) - AEF : Alimentation Eau Froide ( $5,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ))

## A.2 CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ET CLIMATOLOGIQUE

### A.2.1 REGIME HYDRODYNAMIQUE

Le site de Gravelines est situé à l'ouest de la Mer du Nord, à proximité du Détroit du Pas de Calais. Cette situation, alliée à la faible profondeur des eaux, a pour conséquence un hydrodynamisme important. Le régime hydrodynamique de la façade méridionale de la Mer du Nord est contrôlé par la circulation tidale de type semi-diurne, et par l'action des tempêtes. Le régime de marnage est de type macrotidal, compris entre 3,5 m par coefficient de morte-eau et 5,6 m par coefficient de vive-eau. Les courants de marée le long du littoral dunkerquois sont parallèles à la côte et dissymétriques : le courant de flot, dirigé vers le nord-est, est plus rapide et intense que le courant de jusant, dirigé vers le sud-ouest. Le flot est dominant sur l'ensemble de la façade sud de la Mer

du Nord (Figure A-2). Les vitesses maximales enregistrées sont d'environ  $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Devant Dunkerque, le flot est présent entre 3 heures avant et 3 heures après la pleine mer (SHOM, 1988).

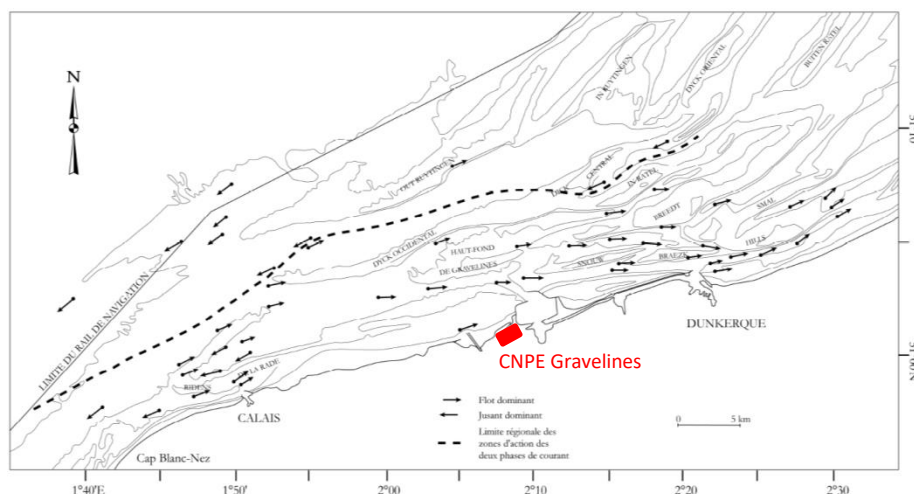


Figure A-2 : Résultantes de courants de marée et zone d'action dominante du flot et du jusant à l'échelle régionale (Bertier, 2009)

## A.2.2 HYDROGRAPHIE

L'apport continental le plus proche est celui de l'Aa, petit fleuve côtier qui draine l'arrière-pays (région de Saint-Omer) et la plaine maritime (bassin versant de  $392 \text{ km}^2$ ). En raison de la très faible altitude de cette plaine, les écoulements à la mer sont contrôlés par des écluses. Il en est de même pour les deux autres exutoires de la région : Dunkerque (canal Exutoire) et Calais (canaux de Marck, de la Rivière Neuve et de Saint-Omer). La dérivation du canal de Bourbourg est utilisée en période de crue pour évacuer d'importants volumes d'eau par le Port Est de Dunkerque. L'influence de ces cours d'eau n'est pas prépondérante sur la qualité de l'eau de mer transitant par l'Avant-Port Ouest de Dunkerque. Les dessalures significatives observées sur le site ont lieu par temps sec, quand le vent de nord-est, établi sur de longues périodes, modifie les courants et amène sur le site des eaux de la côte Belge (Belgrano *et al.*, 1990).

Historiquement, la station de mesure utilisée pour l'observation des débits de l'Aa est celle de Wizernes. Cependant, depuis fin 2019, des travaux ont lieu à l'emplacement de cette station (arasement du seuil afin de rétablir la continuité écologique). De plus, bien qu'elle ait été déplacée à quelques centaines de mètres en aval, la station est désormais sous influence d'une usine un peu plus en aval. Pour l'année 2020, aucune mesure de débit en continu n'est donc disponible à Wizernes.

Une autre station (Elnes), plus en amont sur le bassin versant, a alors été retenue pour les mesures des écoulements mensuels moyens de l'Aa (aucune autre station de mesure des débits en aval). Bien que, sur une même période (2015-2019), les dynamiques des mesures de débit pour les deux stations soient identiques, il est à noter que les valeurs mesurées à Elnes restent inférieures à celles mesurées à Wizernes ( $-2,0 \pm 0,9 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ). Ceci s'explique par le rejet de deux affluents dans l'Aa (le Bléquin et le ruisseau d'Acquin) entre les deux stations.

Habituellement, les débits de l'Aa montrent une augmentation des écoulements en période hivernale, suivi d'une diminution progressive jusqu'à la fin de l'été (Figure A-3). De février à avril 2020, les débits mensuels de l'Aa étaient très supérieurs aux valeurs médianes observées depuis 2015, ce qui peut être relié à la pluviométrie excédentaire observée sur cette période (cf. § A.3.1.2).

### Evolution du paramètre DEBIT AA à GRAV. de 2015 à 2020

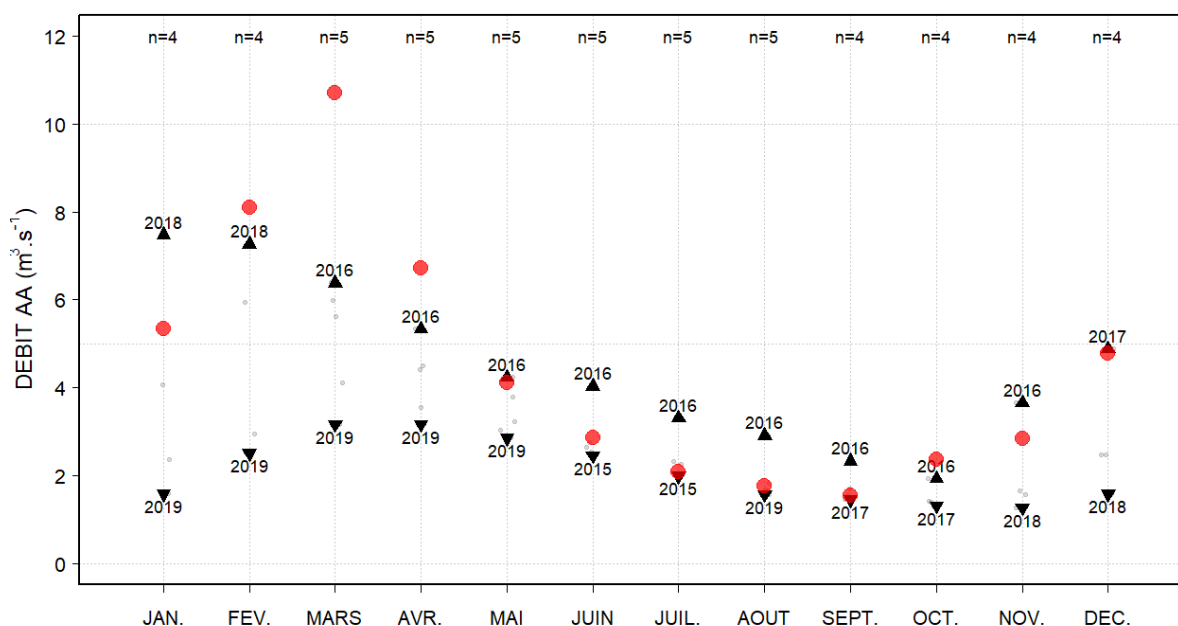


Figure A-3 : Evolution des débits moyens mensuels de l'Aa (points rouges = données 2020), mise en perspective de toutes les mesures réalisées depuis 2015 sur la station de Elnes (points gris ; triangles noirs = valeurs extrêmes mesurées). Source : données DREAL (<http://hydro.eaufrance.fr/>)

## A.2.3 CLIMATOLOGIE REGIONALE

Le Nord-Pas-de-Calais bénéficie d'un climat tempéré océanique avec des amplitudes thermiques saisonnières faibles et des précipitations qui ne sont négligeables en aucune saison. Le climat de la région Nord se distingue aussi par sa caractéristique septentrionale. L'ensoleillement est réduit, les hivers sont assez froids et les pluies hivernales durables.

La synthèse climatique 2020 a été réalisée par Météo France, à partir de données des stations météorologiques situées à proximité du CNPE de Gravelines (Tableau A-1 et ANNEXE A-1).

Tableau A-1 : Stations météorologiques utilisées pour la synthèse climatique du CNPE de Gravelines

Paramètre	Station	Distance	Altitude	Période de référence	Classe
Précipitations	Dunkerque (59)	17 km à l'est-nord-est	11 m	1981-2019	3 (sémaphore proche)
Températures	Dunkerque (59)	17 km à l'est-nord-est	11 m	1981-2019	4 (sol dunaire, source de chaleur)
Vent	Dunkerque (59)	17 km à l'est-nord-est	11 m	1981-2019	3 (obstacle au sud-ouest)
Rayonnement	Calais-Marck (62)	12 km à l'ouest-sud-ouest	2 m	2012-2019	2 (ombres portées par la tour de contrôle)

Les observations de précipitations, températures et vent de Dunkerque sont considérées comme représentatives des conditions météorologiques du CNPE de Gravelines. Les valeurs du bilan annuel 2020 peuvent être comparées aux normales de référence 1981-2019.

La série de rayonnement global mesuré à Calais, démarrée en 1991, représentative des conditions de Gravelines, présente des interruptions. Les statistiques ne peuvent être calculées qu'à partir de 2012. Les valeurs du bilan annuel 2020 sont donc comparées à la période 2012-2019

## A.3 PARTICULARITES HYDROCLIMATIQUES DE L'ANNEE EN COURS

### A.3.1 TEMPERATURE DE L'AIR

Hormis deux faibles gelées les 21 et 25 janvier, les températures sont restées positives et remarquablement douces en janvier et février, grimpant certains jours 5 à 7 degrés au-dessus des valeurs de saison (Figure A-4). De mars à juin, de longs épisodes très doux ont alterné avec de brèves parenthèses plus fraîches que la normale. En juillet, la douceur s'est éclip­sée momentanément en laissant place à des températures conformes ou inférieures à leur niveau habituel, avant une hausse aussi brutale qu'intense le dernier jour du mois. L'été s'est poursuivi avec un épisode caniculaire en août et un pic de chaleur tardif mi-septembre. L'automne calendaire a marqué le début d'un rafraîchissement notable qui s'est prolongé sur les trois premières semaines d'octobre, avant un radoucissement fin octobre. Les deux derniers mois de l'année ont été marqués par une grande douceur, brièvement interrompue par un intermède plus hivernal début décembre.

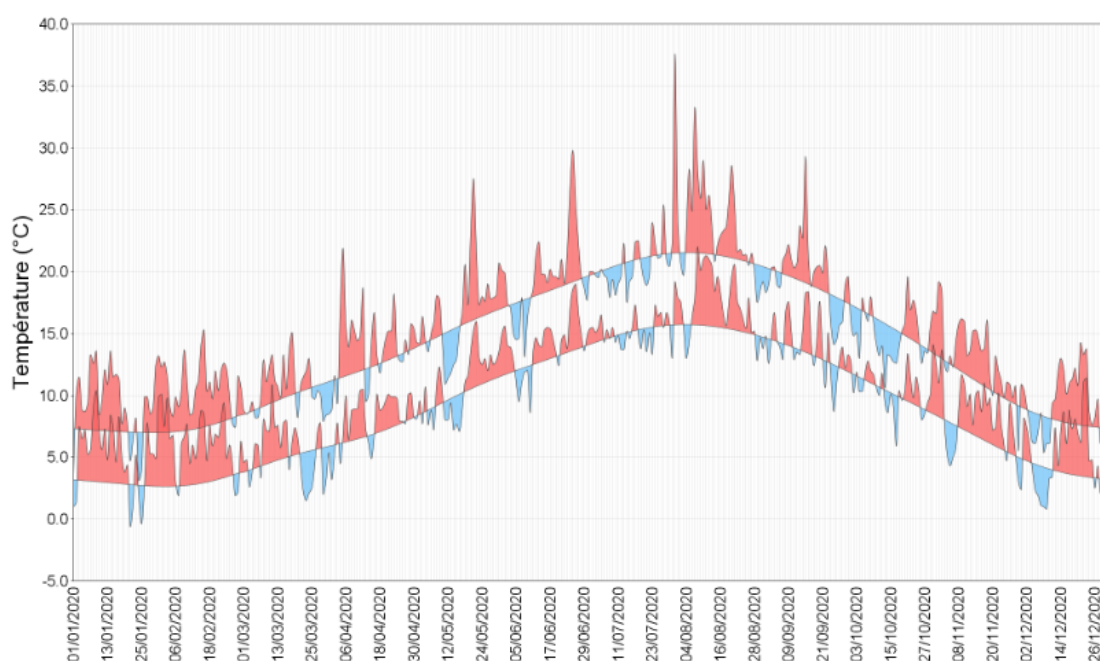


Figure A-4 : Températures minimales et maximales quotidiennes à Dunkerque en 2020 et écarts (positif en rouge, négatif en bleu) à la pseudo-normale quotidienne

Dans la continuité d'un mois de décembre 2019 très doux, l'année 2020 a été jalonnée par des mois plus chauds que la normale, en particulier en janvier, février (3<sup>ème</sup> rang des mois de février les plus doux depuis 1986), août et novembre (Figure A-5). Deux mois font exception : juillet dont la moyenne de températures s'est conformée à la normale, et octobre qui a enregistré une moyenne des températures maximales légèrement en dessous de la normale.

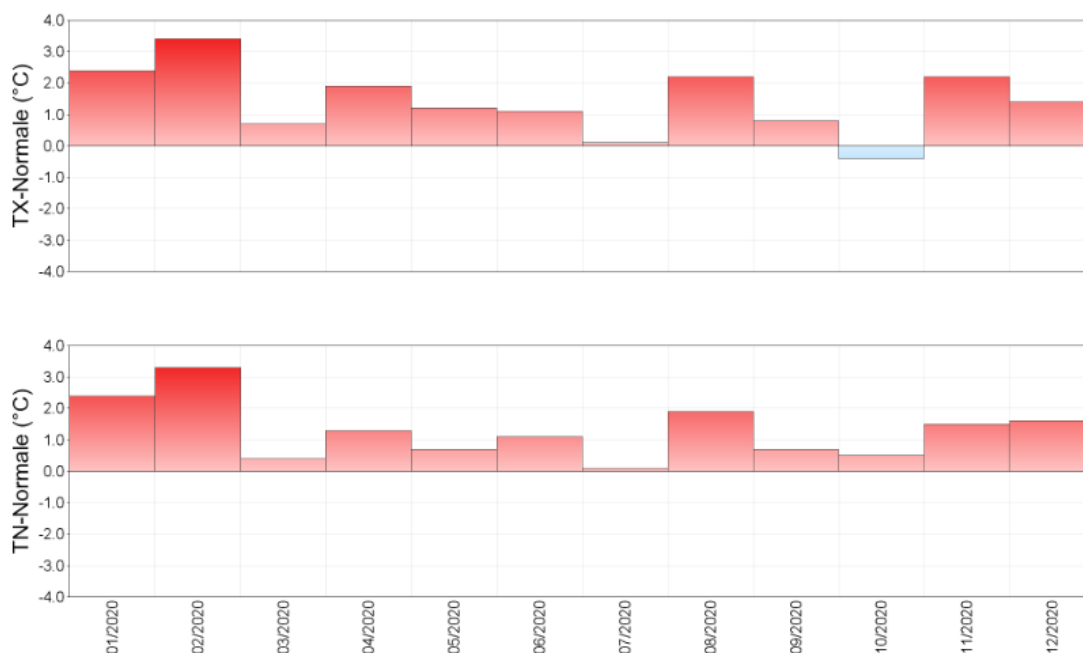


Figure A-5 : Ecart à la normale 1981-2019 des températures minimales (TN) et maximales (TX) à Dunkerque en 2020

De janvier à décembre 2020, les gelées ont été onze fois moins nombreuses que la normale alors que les jours de chaleur ( $\geq 25^{\circ}\text{C}$ ) ont été deux fois plus nombreux que la normale. Le faible nombre de jours de gel et le nombre élevés de jours chauds illustrent la douceur inhabituelle de l'année 2020.

La température moyenne de l'année était de  $12,7^{\circ}\text{C}$  pour une moyenne de  $11,3^{\circ}\text{C}$  sur la période 1981-2019, ce qui place 2020 au 2<sup>nd</sup> rang des années les plus chaudes depuis 1986 derrière 2014 (Figure A-6). C'est également la 7<sup>ème</sup> année consécutive où la température moyenne est supérieure à la normale.

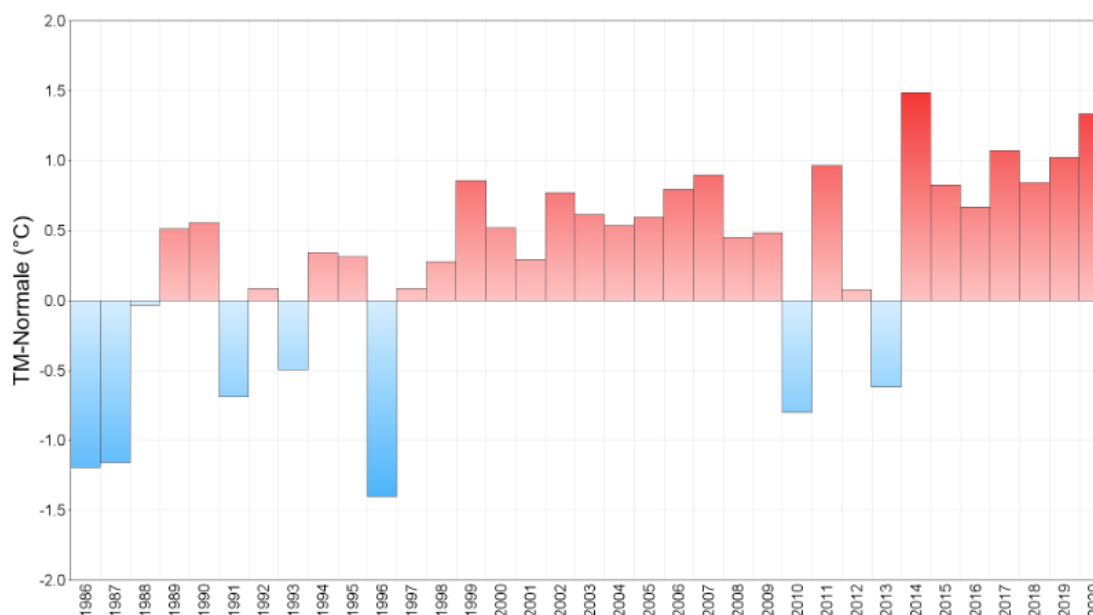


Figure A-6 : Ecart à la normale 1981-2019 des températures annuelles moyennes à Dunkerque de 1986 à 2020

### A.3.2 PRECIPITATIONS

Dans la continuité du quatrième trimestre 2019 très pluvieux, le début d'année 2020 a présenté une pluviométrie excédentaire grâce à des pluies fréquentes et très abondantes tout au long du mois de février jusqu'au 11 mars (Figure A-7). À l'inverse, les 2 mois suivants ont été très secs, en particulier le mois de mai qui a affiché un déficit record de 95 %. Puis, les orages de juin et août ont apporté des quantités de pluie supérieures à la normale compensant la sécheresse de juillet et de septembre. L'alternance s'est poursuivie en fin d'année, octobre ayant été régulièrement et copieusement arrosé (5<sup>ème</sup> rang des mois d'octobre les plus pluvieux depuis 1986), novembre très déficitaire (4<sup>ème</sup> rang des mois de novembre les plus secs depuis 1986) et décembre légèrement excédentaire. Cette succession de périodes pluvieuses et sèches ont amené le cumul annuel à un niveau normal.

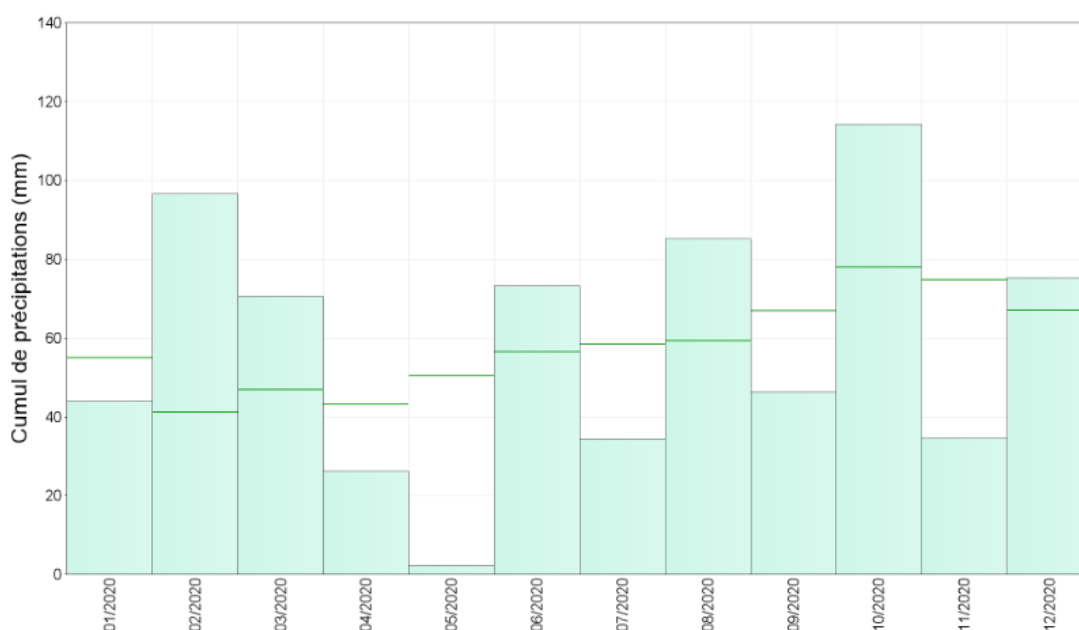


Figure A-7 : Cumul mensuel des précipitations à Dunkerque en 2020 (histogrammes verts), mis en perspective de la normale mensuelle sur la période 1981-2019 (lignes vertes)

Le cumul annuel des précipitations mesurées à Dunkerque a ainsi atteint 702,9 mm, ce qui est conforme à la normale 1981-2019 (Figure A-8). Les jours de pluie étaient cependant plus nombreux que la normale (133 jours contre 122 jours, Figure A-9). Proche de la normale en début d'année, l'humidité des sols superficiels s'est accrue fortement en février à la faveur de pluies très abondantes. Début mars, elle a atteint le seuil de saturation et les records de la période, propices à des situations d'inondations. L'humidité des sols a ensuite baissé rapidement et fortement à compter de la mi-mars, et est passée sous le seuil qui caractérise les sécheresses décennales (1 année sur 10 en moyenne) au mois de mai. Puis, elle est remontée avec les pluies de fin septembre et a fluctué autour de la normale d'octobre à décembre.

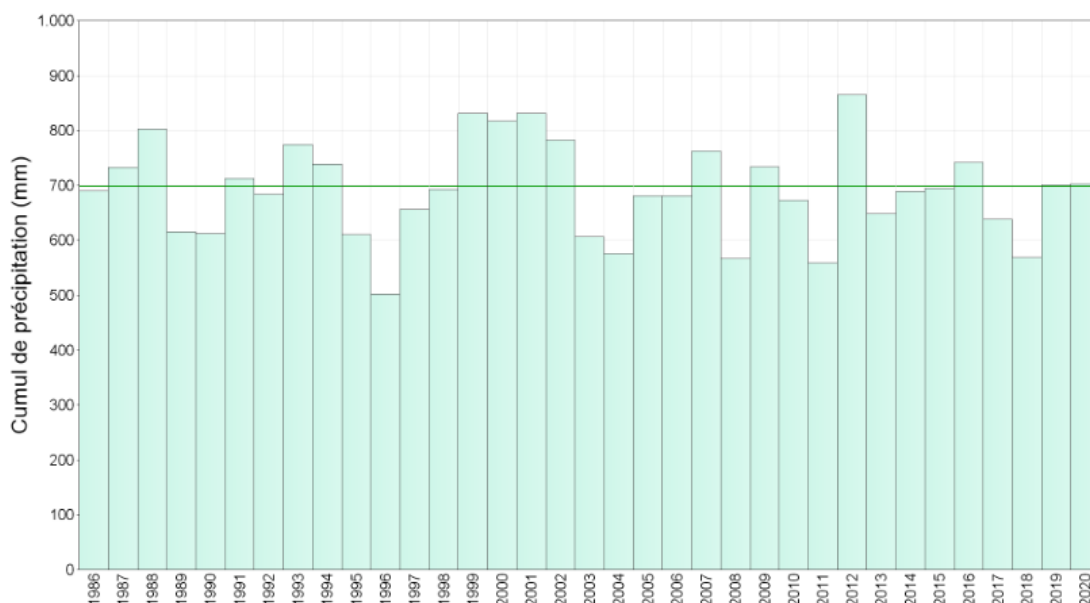


Figure A-8 : Cumul annuel des précipitations à Dunkerque de 1986 à 2020 (histogrammes verts), mis en perspective de la normale annuelle sur la période 1981-2019 (ligne verte)

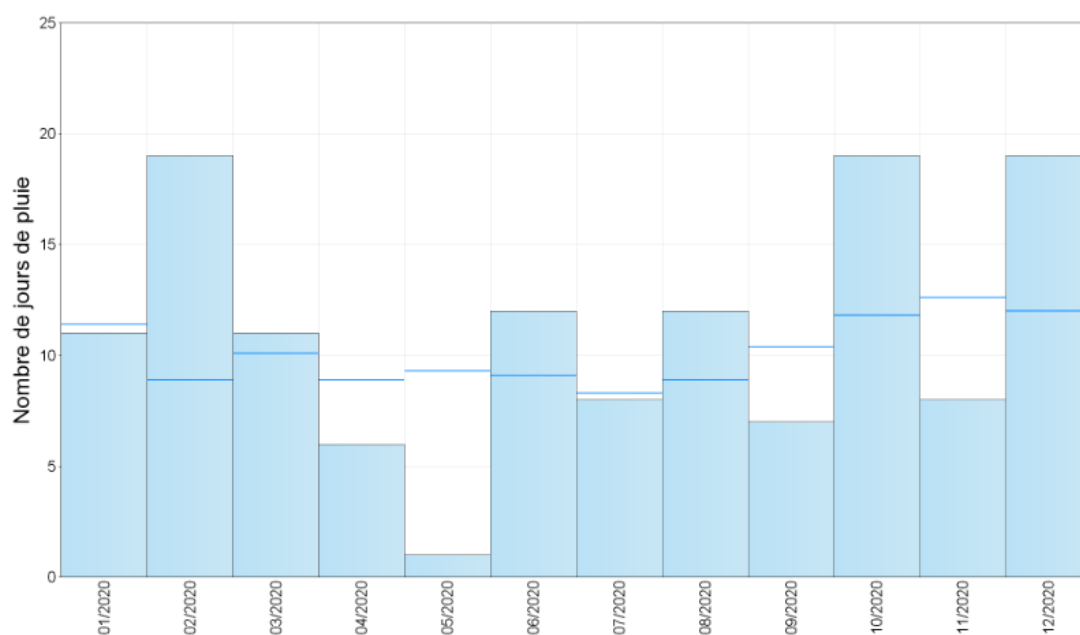


Figure A-9 : Nombres mensuels de jours de pluie ( $\geq 1$  mm) à Dunkerque en 2020 (hsitogrammes bleus), mis en perspective de la normale mensuelle sur la période 1981-2019 (lignes bleues)

### A.3.3 ACTINOMETRIE

Le cumul annuel de rayonnement global pour l'année 2020 était très voisin de la moyenne (2012-2019). En effet, les excédents de rayonnement en mars, avril, novembre mais surtout en mai ont compensés le déficit d'ensoleillement de février, octobre et décembre. En janvier, puis de juin à septembre, le rayonnement a été proche de la moyenne (Figure A-10).

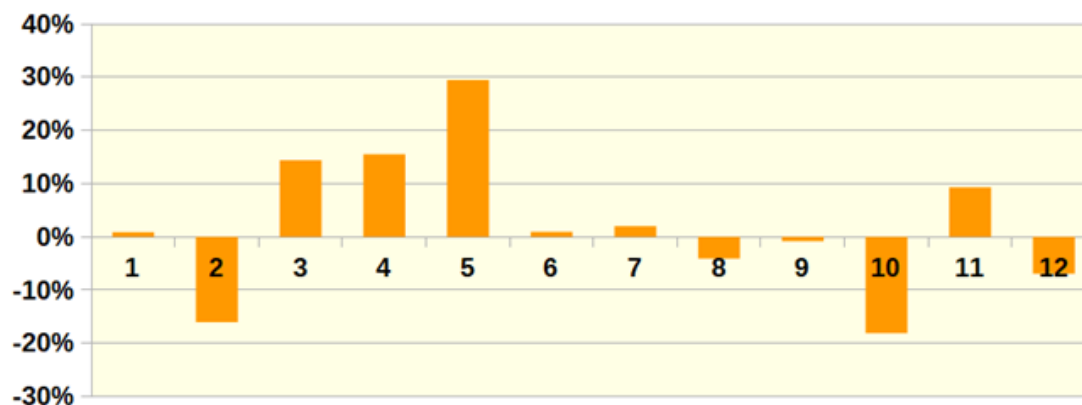


Figure A-10 : Rapports à la moyenne 2012-2019 du rayonnement global mensuel à Calais-Marck en 2020

### A.3.4 DIRECTION ET FORCE DES VENTS

Les vents présentaient en 2020 une fréquence plus marquée des directions du sud-sud-ouest et nord-est, aux dépens des directions de nord-nord-ouest et sud-sud-est, en lien avec le passage de nombreuses tempêtes en février : « Ciara » du 09 au 10 février ; « Dennis » du 15 au 17 février ; « Ellen » le 23 février (Figure A-11 et ANNEXE A-1). Pourtant les vents faibles (5 à 16 km/h) étaient plus nombreux que sur la période de référence (1981-2019), et les vents soutenus (> 29 km/h) moins fréquents.

Sur la côte, l'année 2020 a été à peine moins ventée que la normale (21 km/h contre 22 km/h) malgré quelques épisodes de vent fort, dont plusieurs tempêtes hivernales.

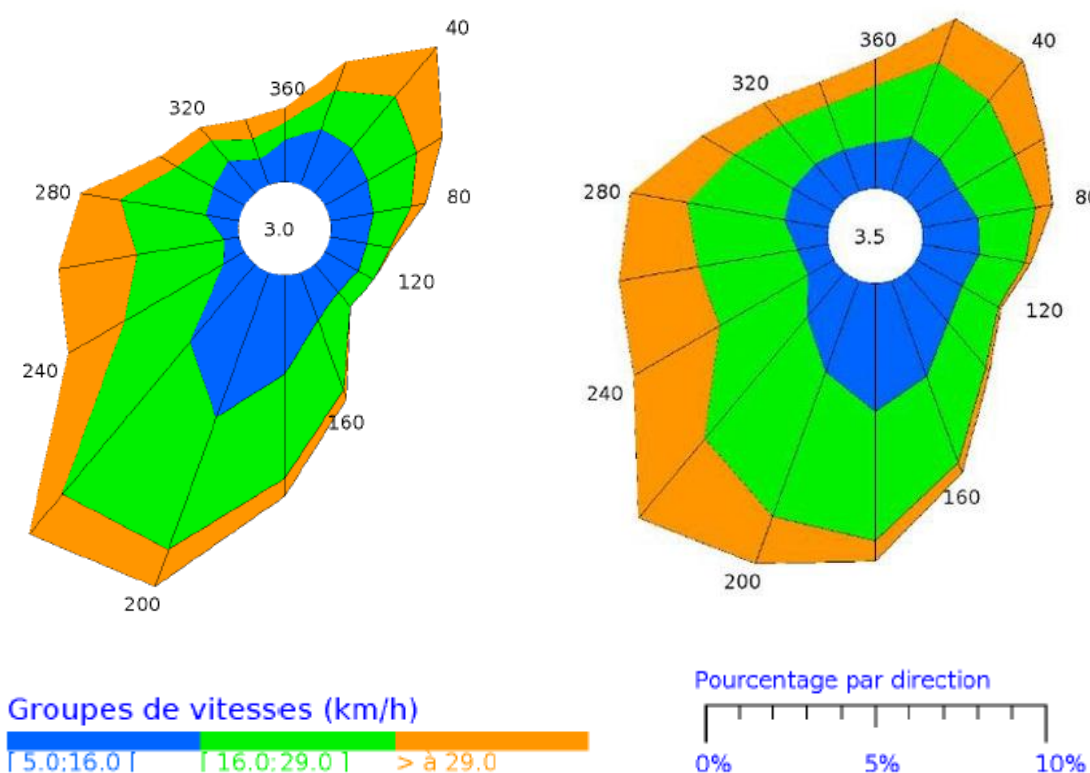


Figure A-11 : Fréquence des vents (%) en fonction de leur direction (90° = Est, 180° = Sud, 270° = Ouest, 360° = Nord) à Dunkerque en 2020 (gauche) et pour la période 1981-2019 (droite). Rose des vents horaires à 10 m, moyennés sur 10 minutes



## A.4 CONCLUSIONS

Deuxième année la plus chaude depuis 1986, après 2014, l'année 2020 était une année très douce et normalement pluvieuse, malgré un déficit pluviométrique record de 95% au printemps puis des périodes de sécheresse en juillet et septembre, qui ont été compensées par des pluies abondantes en raison des nombreux épisodes orageux de juin et août. Sur la côte, l'année 2020 a été moins ventée que la normale, malgré quelques épisodes de vent fort, dont plusieurs tempêtes hivernales.



## B LE DOMAINE PELAGIQUE

### **Rédaction/mise en page**

Guillaume Wacquet (LER-BL)

### **Prélèvements et mesures *in situ***

Flandres Analyses

### **Analyses/Traitement des données**

EDF (fonctionnement du CNPE)

EUROFINS

EXCELL (bromophénols)

Flandres Analyses

### **Prestataires extérieurs**

EUROFINS

Flandres Analyses

### **Expertise thématique**

Guillaume Wacquet (LER-BL)



## B.1 HYDROLOGIE, PHYSICO-CHIMIE, CHIMIE

Après la mise en fonction des six tranches du CNPE et afin d'apprécier plus précisément les effets sur l'eau, pompée dans l'Avant-Port ouest de Dunkerque, du transit dans les installations de la centrale, une nouvelle stratégie d'échantillonnage a été mise en œuvre en septembre 1986. Elle consistait à comparer les deux systèmes d'entrée et de sortie de la centrale et également la zone soumise au rejet à une zone hors influence qui est le système de référence. Afin de cerner avec une bonne précision les variations saisonnières et l'impact éventuel du CNPE sur les paramètres hydrologiques, la fréquence du suivi est passé rapidement de saisonnière à mensuelle en 1987, puis hebdomadaire de février à septembre à partir de 1989, et enfin hebdomadaire toute l'année à partir de 2003.

Hormis la fréquence d'échantillonnage, les paramètres suivis ont aussi changé dans le temps en fonction des cycles de surveillance. Hormis les paramètres historiques température et sels azotés, certains paramètres comme la salinité et l'oxygène dissous ont été abandonnés en 1989 avant d'être de nouveau suivi plus récemment.

### B.1.1 STRATEGIE DE SURVEILLANCE

Depuis 2003, des prélèvements hebdomadaires aux canaux de prise et de rejet sont réalisés pour le suivi de la température et des sels azotés (ammonium, nitrates et nitrites, ces deux dernières formes étant certaines années regroupées). Ces paramètres ont été complétés par la mesure hebdomadaire de la salinité à partir de 2013, puis par le suivi mensuel de la turbidité, de l'oxygène dissous, des phosphates et des silicates en 2016, afin de mieux interpréter les évolutions intra et interannuelles des organismes planctoniques.

En complément, deux campagnes pélagiques annuelles permettent de comparer le milieu récepteur des eaux rejetées par la centrale à des stations de référence situées en dehors de l'influence de la centrale. Les campagnes de 2020 ont eu lieu le 22 juin pour la mission printanière et le 02 septembre pour la mission de fin d'été. Lors de chaque mission quatre points sont étudiés (Tableau B-1) :

- Le point *Prise* (situé à l'entrée du canal de prise d'eau de la centrale),
- Le point *Rejet* (situé juste à la sortie du canal de rejet de la centrale),
- Le point *Contrôle* (dans le panache de rejet, avec échauffement résiduel de 3 à 4°C),
- Le point *Référence* (situé au large, au-delà de la zone d'influence de la centrale).

Tableau B-1: Récapitulatif des paramètres suivis dans les domaines hydrologie, physico-chimie et chimie  
(voir Figure 0-1 page 9 pour la localisation des points)

Paramètre	Point	Fréquence
Température Salinité	<i>Prise, Rejet</i>	Hebdomadaire
	<i>Prise, Rejet, Contrôle, Référence</i>	2 campagnes/an
Turbidité Oxygène dissous	<i>Prise, Rejet</i>	Mensuel
	<i>Prise, Rejet, Contrôle, Référence</i>	2 campagnes/an
Ammonium Nitrates Nitrites	<i>Prise, Rejet</i>	Hebdomadaire
	<i>Prise, Rejet, Contrôle, Référence</i>	2 campagnes/an
Phosphates Silicates	<i>Prise, Rejet</i>	Mensuel
	<i>Prise, Rejet, Contrôle, Référence</i>	2 campagnes/an

Historiquement, les prélèvements hebdomadaires étaient réalisés une à deux heures avant la basse mer, mais à **partir du mois de juillet 2019, pour des raisons de sécurité d'accès au point Rejet, il a été décidé que les prélèvements seraient dorénavant réalisés une à deux heures avant la pleine mer**, comme c'est déjà le cas pour les campagnes pélagiques (Antajan, 2019).

Les 2 campagnes de surveillance ont été menées : **le 22 juin 2020,**  
**le 02 septembre 2020.**

## B.1.2 PARAMETRES / METHODES

### B.1.2.1 ECHANTILLONNAGES, MESURES IN SITU ET PRELEVEMENTS

Conformément à la stratégie mise en place pour le site de Gravelines, les mesures et prélèvements d'eau lors du suivi hebdomadaire sont réalisés à l'aide d'un seau depuis le pont enjambant le canal de prise et depuis la rive est du canal de rejet, au niveau de l'embouchure à la limite de l'enceinte EDF.

Lors des deux campagnes pélagiques annuelles, les prélèvements aux points *Contrôle* et *Référence* sont réalisés en subsurface au moyen d'une bouteille Niskin de 5 litres, et un profil des différents paramètres physico-chimiques est réalisé sur toute la colonne d'eau au moyen d'une sonde multi-paramètres YSI.

### B.1.2.2 METHODES ET PRECISIONS

Les méthodes analytiques mise en oeuvre pour le suivi des paramètres physico-chimiques et chimiques sont détaillées dans le Tableau B-2.

#### Mesures des paramètres physico-chimiques

La **température** est, avec la **salinité**, un des descripteurs de base pour la connaissance du milieu marin. Ils influent sur l'activité biologique dont dépend la production totale, et sur la répartition spatiale des espèces. La mesure hebdomadaire de la salinité se fait par sonde conductimétrique (précision  $\pm 0,1$ ) couplée à une sonde de température (précision  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ ). La salinité est exprimée par un nombre sans dimension qui est un rapport de conductivité (P.S.U. ou « Practical Salinity Unit »). Sur le plan pratique, elle est proche du gramme par kilogramme d'eau.

Les données de températures des thermographes 10 (canal de prise) et 11 (canal de rejet) fournies par le CNPE de Gravelines, permettent également d'avoir une résolution plus fine de l'évolution des températures de l'eau sur le site.

La **turbidité** est un paramètre qui permet d'évaluer la transparence d'une eau par la perte de lumière résultant de sa traversée. Elle est donc fonction de la quantité, de la taille et de la forme des particules en suspension (seston) et varie en fonction des apports des fleuves, de la remise en suspension du sédiment et de la concentration en plancton. La transparence de l'eau conditionne la transmission de l'énergie lumineuse aux producteurs primaires. Elle régit la présence et la production des organismes photosynthétiques (phytoplancton, macroalgues et phanérogames) qui se développent dans la colonne d'eau et sur le fond. La mesure de la turbidité se fait par néphélométrie et est exprimée en Néphélométric Turbidity Unit (NTU). Elle consiste à mesurer la quantité de lumière diffusée à  $90^\circ$  par rapport à la lumière incidente (précision  $\pm 0,1$  NTU).

Le niveau d'**oxygène dissous** est un bon indicateur de la capacité d'un milieu à supporter la vie. L'oxygène en milieu aqueux provient à la fois des processus physiques (échanges atmosphériques entre l'air et l'eau), chimiques, et de l'activité photosynthétique des plantes. Les chutes de niveau d'oxygène peuvent cependant résulter du métabolisme des organismes aquatiques lié au processus de respiration, de la décomposition de la matière organique par les bactéries ou encore de l'oxydation chimique de composés organiques et inorganiques. Sa mesure dans l'eau a été réalisée au moyen d'une sonde et est exprimée en  $\text{mg.l}^{-1}$  (précision  $\pm 0,1 \text{ mg.l}^{-1}$ ).

### Mesures des paramètres biogéochimiques

Le terme « nutriments » ou « sels nutritifs » désigne l'ensemble des composés inorganiques et des ions nécessaires à la nutrition des producteurs primaires (phytoplancton, macroalgues, angiospermes). Ils sont présents naturellement dans le milieu et ne sont pas directement toxiques pour ce dernier. Toutefois, lors d'une augmentation de flux de nutriments en zone côtière (en raison d'apports anthropiques, tels que les rejets dus au lessivage des terres agricoles, les rejets urbains et industriels), les nutriments peuvent être parfois considérés comme une pression à l'origine de nuisances indirectes. En effet, une augmentation de la teneur en nutriments peut engendrer :

- des développements massifs de certaines espèces phytoplanctoniques, phénomènes qui se traduisent par une augmentation des teneurs en chlorophylle *a* dans l'eau et/ou des modifications dans la structure des peuplements phytoplanctoniques,
- des développements massifs de macroalgues opportunistes (ulves, monostromes, entéromorphes).

Ces conséquences directes ont des répercussions sur le bon fonctionnement du milieu en provoquant notamment :

- une diminution de l'intensité lumineuse nécessaire à la photosynthèse néfaste pour le développement du phytoplancton,
- une augmentation des teneurs en matière organique dont la dégradation consomme de l'oxygène dissous ; ce phénomène peut générer des anoxies et provoquer la mort des espèces démersales et benthiques,
- des mortalités de poissons ou de coquillages, soit en raison de la toxicité intrinsèque de certaines espèces phytoplanctoniques pour ces animaux, soit parce que leur forte concentration dans l'eau induit un colmatage des branchies.

La mesure des concentrations pour l'ensemble des nutriments se fait par lecture au spectrophotomètre avec une relation Densité Optique (DO)/concentration selon une courbe de calibration réalisée à chaque série de mesures.

Dans l'eau, l'ammoniac existe sous deux principales formes :  $\text{NH}_3$  et  $\text{NH}_4^+$ . Au pH usuel l'**ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )** reste cependant la forme dominante. L'excrétion des organismes vivants et la décomposition de la matière organique par les bactéries sont les principales sources d'ammonium dans l'eau. Le dosage de  $\text{NH}_4^+$  a été effectué selon la méthode spectrophotométrique d'absorption moléculaire au bleu d'indophénol (NF T90-015-2) qui permet d'analyser la totalité de l'azote ammoniacal. La concentration d'ammonium est exprimée en  $\mu\text{mol.l}^{-1}$ . Le seuil de détection de l'appareil est de  $0,55 \mu\text{mol.l}^{-1}$ .

Le processus de nitrification, par les bactéries dites nitrifiantes, entraîne l'oxydation de l'ammonium en **nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )** et **nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )**. C'est sous cette dernière forme ( $\text{NO}_3^-$ ) que l'azote dissous est le plus assimilable par le phytoplancton et les macroalgues. Les dosages du nitrite et du nitrate ont été effectués selon la méthode spectrophotométrique d'absorption moléculaire au N-naphtyl-éthylènediamine (NF ISO 13395). Leur concentration est exprimée en  $\mu\text{mol.l}^{-1}$ . Le seuil de détection de l'appareil est de  $1,61 \mu\text{mol.l}^{-1}$  pour le nitrate, et  $0,11 \mu\text{mol.l}^{-1}$  pour le nitrite.

Le phosphate désigne les formes dissoutes de l'**ion orthophosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ )**. Il est essentiel à la fabrication de nombreuses molécules vitales dont les protéines et les acides nucléiques : ARN et ADN. Il provient de l'érosion des roches, du lessivage des sols cultivés (engrais) et des effluents domestiques (en majorité détergents phosphatés, urines et selles). Le dosage du phosphate a été effectué selon la méthode spectrophotométrique d'absorption moléculaire au bleu phosphomolybdique (NF ISO 6878). La concentration de phosphate est exprimée en  $\mu\text{mol.l}^{-1}$ . Le seuil de détection de l'appareil est de  $0,32 \mu\text{mol.l}^{-1}$ .

La forme majoritaire du silicate dans l'eau de mer est l'**acide orthosilicique  $\text{Si(OH)}_4$** , forme sous laquelle est exprimée le silicate dissous. Son abondance contrôle le développement d'une partie du phytoplancton, principalement les diatomées qui présentent un test siliceux (le frustule). Le dosage

de cet élément a été effectué selon la méthode spectrophotométrique d'absorption moléculaire au bleu silicomolybdique (NF T90-007). La concentration de silicate est exprimée en  $\mu\text{mol.l}^{-1}$ . Le seuil de détection de l'appareil est de  $0,21 \mu\text{mol.l}^{-1}$ .

Tableau B-2: Référentiel méthode prélèvement et analytiques normalisées pour la physico-chimie et la chimie  
([XXX] Code Sandre ; N.C. : Non Communiqué)

Paramètre	Méthode prélèvement [Code SANDRE] Prétraitement, Volume, conservation avant analyses	Méthode analyse [Code SANDRE] Référentiel	LD / LQ <sup>(1)</sup>	Précision
<b>Température [TEMP]</b> [SANDRE : 1301]	<b>Mesure in situ</b> : Sonde multiparamètre Capteur de température in situ [SANDRE : 500] Aminot & Kérouel (2004), p. 59			$\pm 0,01 \text{ }^{\circ}\text{C}$
<b>Salinité [SALI]</b> [SANDRE : 1842]	<b>Mesure in situ</b> : Sonde multiparamètre Capteur de conductivité in situ [SANDRE : 511] Aminot & Kérouel (2004), p. 65			$\pm 0,01$
<b>Oxygène dissous [OXY]</b> [SANDRE : 1311]	<b>Mesure in situ</b> : sonde multiparamètre Capteur Oxygène à luminescence [SANDRE : 752] Aminot & Kérouel (2004), p.92 / NF EN ISO 25814		-	$\pm 0,1 \text{ mg.l}^{-1}$
<b>Turbidité [FNU]</b> [SANDRE : 1295]	<b>Mesure in situ</b> : sonde multiparamètre Capteur turbidimètre norme ISO 7027 [SANDRE : 415]		-	$\pm 2 \text{ } \%$ FNU
<b>Azote nitreux / Nitrite seul<sup>(2)</sup> [NO2]</b> [SANDRE : 1339 / 6364]	Bouteille Niskin 5 l [60000180] Préfiltration 48 $\mu\text{m}$ Nylon 1 flacon 65 ml Congélateur (-25°C) 6 mois maximum	Spectroph. automatisée (NF EN ISO/IEC 17025:2017) [COFRAC 1-2202] Aminot & Kérouel (2007), p.77 [SANDRE : 754]	LQ : $0,02 \mu\text{mol.l}^{-1}$ (= $1 \mu\text{g.l}^{-1}$ )	6,1 % <sup>(3)</sup>
<b>Azote nitrique / Nitrate seul<sup>(2)</sup> [NO3]</b> [SANDRE : 1340 / 6364]	Bouteille Niskin 5 l [60000180] Préfiltration 48 $\mu\text{m}$ Nylon 1 flacon 65 ml Congélateur (-25°C) 6 mois maximum	Spectroph. automatisée (NF EN ISO/IEC 17025:2017) [COFRAC 1-2202] Aminot & Kérouel (2007), p.77 [SANDRE : 754]	LQ : $0,1 \mu\text{mol.l}^{-1}$ (= $6 \mu\text{g.l}^{-1}$ )	
<b>Ammonium<sup>(2)</sup> [NH4]</b> [SANDRE : 1335]	Bouteille Niskin 5 l [60000180] Préfiltration 48 $\mu\text{m}$ Nylon 1 flacon 65 ml Congélateur (-25°C) 6 mois maximum	Spectroph. automatisée (NF EN ISO/IEC 17025:2017) [COFRAC 1-2202] Aminot & Kérouel (2007), p.77 [SANDRE : 754]	LQ : $0,1 \mu\text{mol.l}^{-1}$ (= $2 \mu\text{g.l}^{-1}$ )	15,4 % <sup>(3)</sup>
<b>Phosphate<sup>(2)</sup> [PO4]</b> [SANDRE : 1433]	Bouteille Niskin 5 l [60000180] Préfiltration 48 $\mu\text{m}$ Nylon 1 flacon 65 ml Congélateur (-25°C) 6 mois maximum	Spectroph. automatisée (NF EN ISO/IEC 17025:2017) [COFRAC 1-2202] Aminot & Kérouel (2007), p.77 [SANDRE : 754]	LQ : $0,04 \mu\text{mol.l}^{-1}$ (= $4 \mu\text{g.l}^{-1}$ )	6,1 % <sup>(3)</sup>
<b>Silicate<sup>(2)</sup> [SiOH]</b> [SANDRE : 1342]	Bouteille Niskin 5 l [60000180] Préfiltration 48 $\mu\text{m}$ Nylon 1 flacon 125 ml Réfrigérateur (4°C) 2 mois maximum	Spectroph. flux Autoanalyseur Seal AA3 (Technicon) [Accrédité COFRAC] Aminot & Kérouel (2007), p.132 [SANDRE : 763]	LQ : $0,2 \mu\text{mol.l}^{-1}$ (= $18 \mu\text{g.l}^{-1}$ )	0,7 % <sup>(3)</sup>
<b>Chlore total [CHLORTOT]</b> [SANDRE : 1399]	Manuel seau (à terre) [SANDRE : 200] ou Niskin 5 l (en mer) [SANDRE : 60000180] 1 flacons 1l Glacière <8°C. 72 h	Spectrophotométrique d'absorption moléculaire à la DPD (Fiquet, 1978) NF EN ISO 7393-2 [SANDRE : en cours]	LQ : $0,1 \text{ mg.l}^{-1}$	N.C.
<b>Chlore libre [CHLORE_LIBRE]</b> [SANDRE : 1398]				
<b>TRIALOMETHANES</b> (ou HALOFORMES) [BROMOFORME] [SANDRE : 1122] [CHLOROFORME] [SANDRE : 1135] [DiBrChMETHANE] [SANDRE : 1158] [DiChBrMETHANE] [SANDRE : 1167]	Manuel seau (à terre) [SANDRE : 200] ou Niskin 5 l (en mer) [SANDRE : 60000180] Glacière <8°C. 72 h	Dosage des hydrocarbures halogénés hautement volatils - Méthodes par chromatographie en phase gazeuse (NF EN ISO 10301 / T90-125 Juillet 1997) [SANDRE : 356]	LQ : $0,5 \mu\text{g.l}^{-1}$	N.C.
<b>BROMOPHENOLS</b> [2,4,6-tribromophénol] [SANDRE : 8525] [2,4-dibromophénol] [SANDRE : 8520] [2,6-dibromophénol] [SANDRE : 8521] [2-bromophénol] [SANDRE : 8522] [3-bromophénol] [SANDRE : 8523] [4-bromophénol] [SANDRE : 8524]	Manuel seau (à terre) [SANDRE : 200] ou Niskin 5 l (en mer) [SANDRE : 60000180] Glacière <8°C. 72 h	SBSE/GC/MS : chromatographie en phase gazeuse + spectrométrie de masse GC/MS (Méthode interne Prestataire) [Q <sup>2</sup> : 60006176] <sup>9</sup>	LD = $0,7 \text{ ng.l}^{-1}$  LQ = $2 \text{ ng.l}^{-1}$	N.C.

<sup>(1)</sup> Avis relatif aux limites de quantification des couples « paramètre-matrice » de l'agrément des laboratoires effectuant des analyses dans le domaine de l'eau et des milieux aquatiques du 21 Janvier 2012 / NOR : DEVL1131786V

<sup>(2)</sup> Le dosage des nutriments dans les eaux salines et saumâtres fait partie de la portée d'accréditation Eurofins de Douai (section Essais, accréditation n° 1-2202, portée disponible sur le site [www.cofrac.fr](http://www.cofrac.fr))

<sup>(3)</sup> Arrêté du 27 Octobre 2011 portant modalités d'agrément des laboratoires effectuant des analyses dans le domaine de l'eau et les milieux aquatiques au titre du code de l'environnement / NOR : DEVL1128052A

<sup>9</sup> Code temporaire en attente codification SANDRE par la Cellule Q<sup>2</sup>.



### B.1.2.3 TRAITEMENT ET EXPLOITATION DES DONNEES

Les traitements et exploitation des données acquises s'articulent principalement autour d'une représentation graphique permettant de mettre en perspective la variabilité spatiale (entre les points) et/ou temporelles (mensuelles) des résultats observés au cours de l'année, avec la variabilité interannuelle observée historiquement depuis que le paramètre est suivi dans le cadre de la surveillance<sup>10</sup>.

Toutes ces dimensions sont combinées sous une seule et même représentation graphique, le "boxplot", dont le principe est rappelé dans la Figure B-1. Les années pour lesquelles des valeurs records ont été observées sont identifiées directement sur le graphique, sauf pour les années où les valeurs minimum observées correspondent à des seuils (LD ou LQ) de nature analytique.

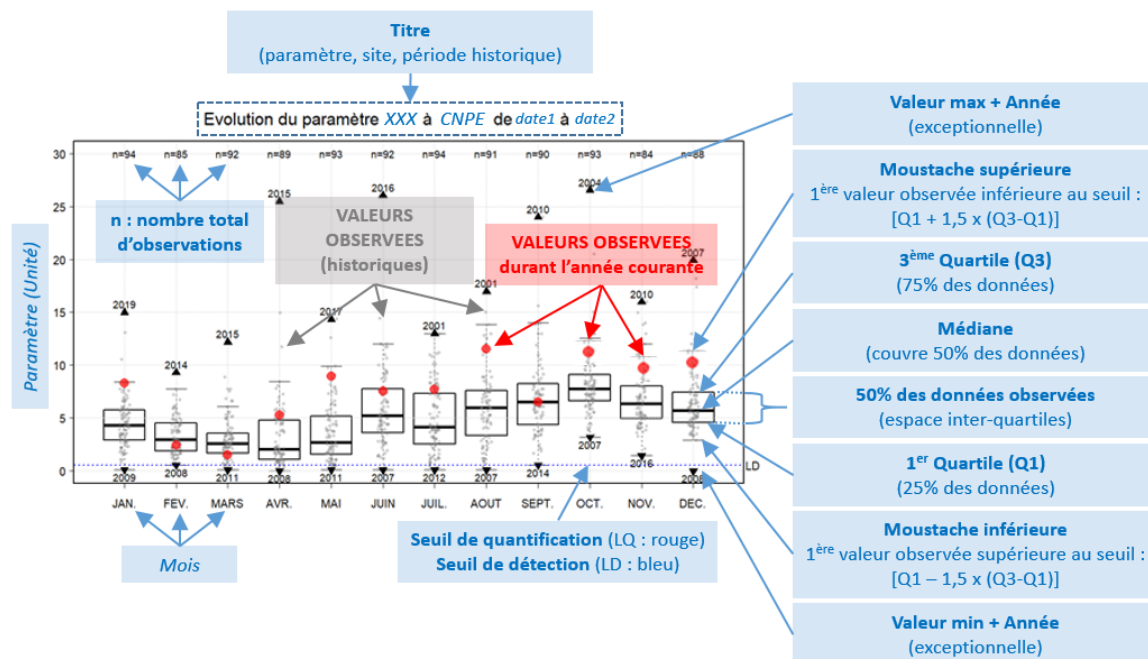


Figure B-1 : Description des graphiques de type "Boxplot" utilisés pour présenter les résultats de la surveillance annuelle en perspective de l'ensemble des observations historiques de la surveillance

## B.1.3 SURVEILLANCE AUX CANAUX DE PRISE ET DE REJET

### B.1.3.1 FONCTIONNEMENT DU CNPE

Ce paragraphe est réalisé à partir des données de fonctionnement communiquées par le CNPE de Gravelines. Les données de températures fournies par EDF proviennent des thermographes situés dans le canal de prise d'eau (en amont des installations, thermographe n°10) et dans le canal de rejet (en aval des installations dans une zone où la dilution des apports thermiques est réalisée, thermographe n°11).

En 2020, la puissance électrique produite par le CNPE correspondait en moyenne hebdomadaire à l'équivalent de 3 à 6 tranches de 900 MWe (Figure B-2 et ANNEXE B-1). La production était comme à l'habitude plus importante en saison froide. La puissance moyenne de la période était de 3 811 MWe, soit l'équivalent de 4,2 tranches. Les débits d'eau de mer de refroidissement des condenseurs ont varié de 148 à 240 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>, soit les débits unitaires de pompage de 3,7 à 6 tranches (Figure B-2 et ANNEXE B-1). Le débit moyen calculé sur une base hebdomadaire était de 198 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>, soit l'équivalent du débit de pompage de 5 tranches.

<sup>10</sup> La stratégie analytique d'un même paramètre peut avoir changé au cours de la surveillance au point d'empêcher la continuité historique de la série.

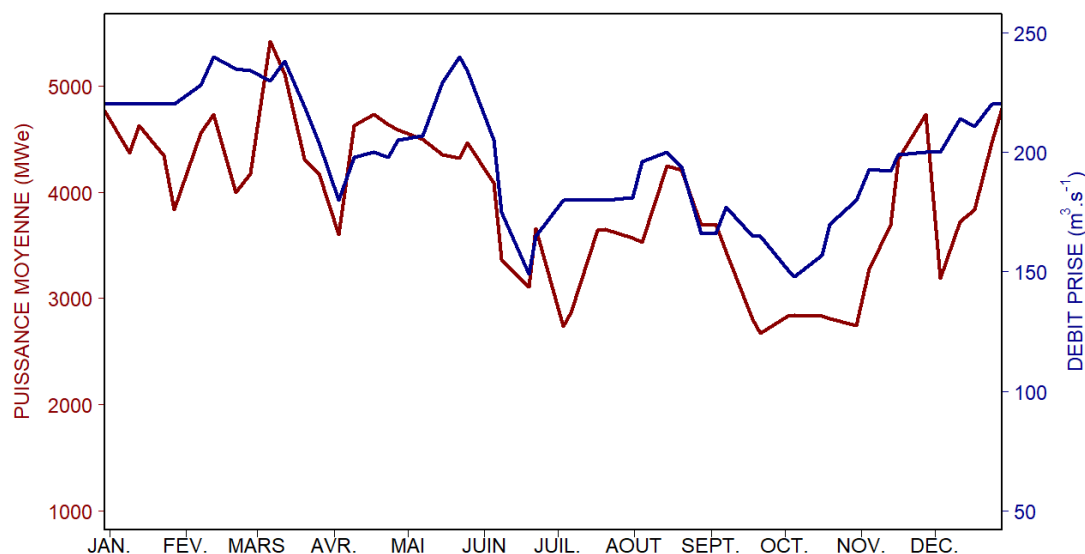


Figure B-2 : Fonctionnement du CNPE de Gravelines en 2020

En première approximation, on peut considérer que la production d'un mégawatt électrique s'accompagne de la dissipation dans l'eau de mer de deux mégawatts thermiques. Il est alors possible de calculer un échauffement théorique du rejet de la centrale sur la base des données hebdomadaires de puissance électrique. Dans la réalité, suite aux variations de la hauteur de l'eau de mer avec la marée, le débit des pompes de refroidissement varie légèrement et l'élévation de température observée fluctue d'environ 10 % autour de la valeur nominale calculée. Les variations de production électrique ne s'accompagnent pas toujours de variations identiques du débit de l'eau de refroidissement pompée ce qui occasionne des variations de l'échauffement de l'eau par transit. Lors de la période 2020, ces variations ont été relativement faibles (Figure B-3 et ANNEXE B-1) :

- échauffement hebdomadaire moyen calculé par EDF :  $9,5 \pm 1,1$  °C,
- échauffement hebdomadaire moyen mesuré par EDF (thermographes 10 et 11) :  $8,8 \pm 1,1$  °C,
- échauffement hebdomadaire ponctuel mesuré par Flandres Analyses au point *Prise* :  $6,1 \pm 2,3$  °C (cf. section B.1.3.2).

L'écart moyen entre l'échauffement calculées et mesurées au canal de rejet par EDF était de 0,7 °C.

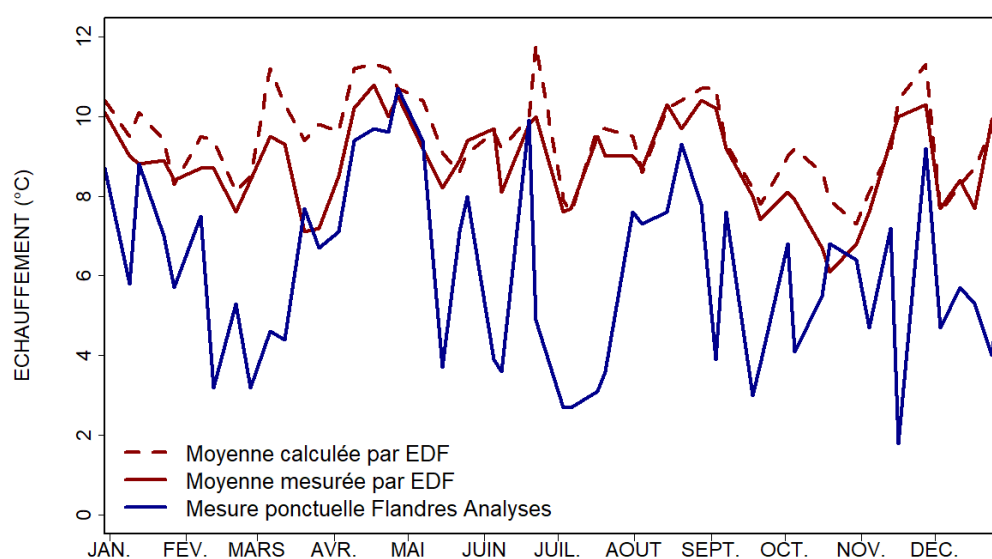


Figure B-3 : Comparaison entre les échauffements calculés et mesurés au canal de rejet en 2020

### B.1.3.2 TEMPERATURE

Les données journalières de température aux canaux de prise et de rejet fournies par EDF en 2020 présentaient, des écarts importants avec les mesures hebdomadaires de Flandres Analyses et avec les données historiques (Figure B-4 et Figure B-5). Les données du thermographe 10 dans le canal de prise sont en moyenne supérieures de plus de 1,5°C à celles du prélèvement hebdomadaire. De même, les données du thermographe 11 dans le canal de rejet sont en moyenne supérieures de plus de 4,2°C à celles du prélèvement hebdomadaire, ce qui se traduit également par un échauffement plus important (Figure B-6).

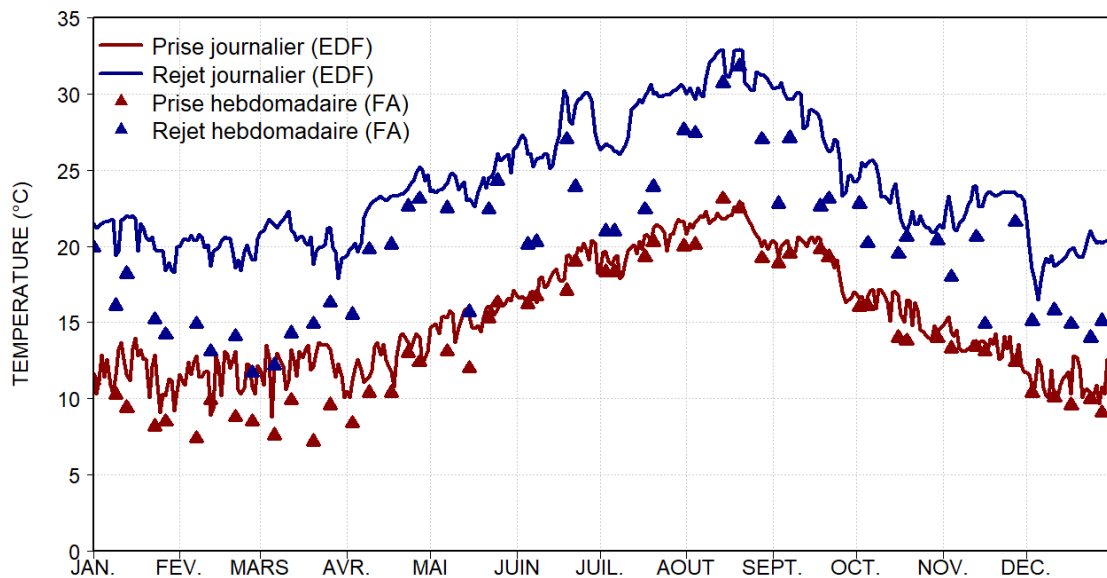


Figure B-4 : Température journalière et hebdomadaire de l'eau aux canaux de prise et de rejet en 2020  
(Données EDF, thermographes 10 et 11 – losanges = données hebdomadaires Flandres Analyses)

Le décalage entre les températures relevées ponctuellement et les mesures réalisées aux thermographes est observé depuis juillet 2019, ce qui correspond à la période de rénovation des thermographes. L'origine de ce décalage est toujours en cours d'analyse. Pour 2020, la différence moyenne avec les données historiques étant plus faibles pour les mesures hebdomadaires (1,8°C) que pour les mesures journalières (2,1°C), l'utilisation des données hebdomadaires est privilégiée dans la suite de ce rapport.

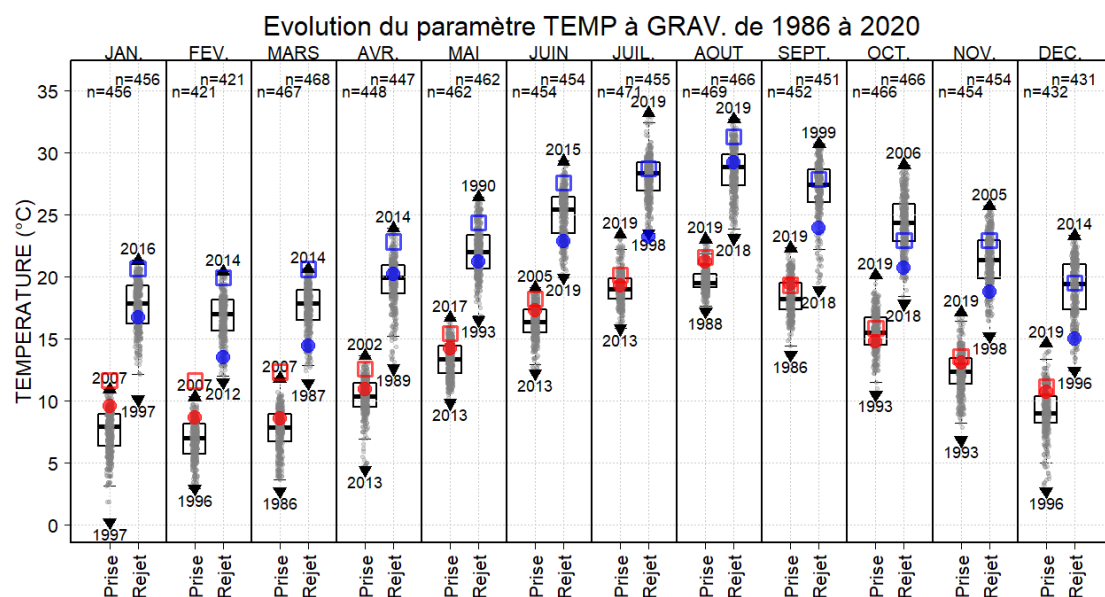


Figure B-5 : Evolution des températures de l'eau aux canaux de prise (rouge) et de rejet (bleu) au cours de l'année (points = données 2020 hebdomadaires; carrés = données 2020 journalières EDF), mise en perspective de toutes les mesures réalisées depuis le début de la surveillance écologique du CNPE (voir Figure B-1 pour détail des boxplots). Sources : 1986-2007 données hebdomadaires au point *Prise*; 2008-2019 données journalières EDF, thermographes 10 et 11

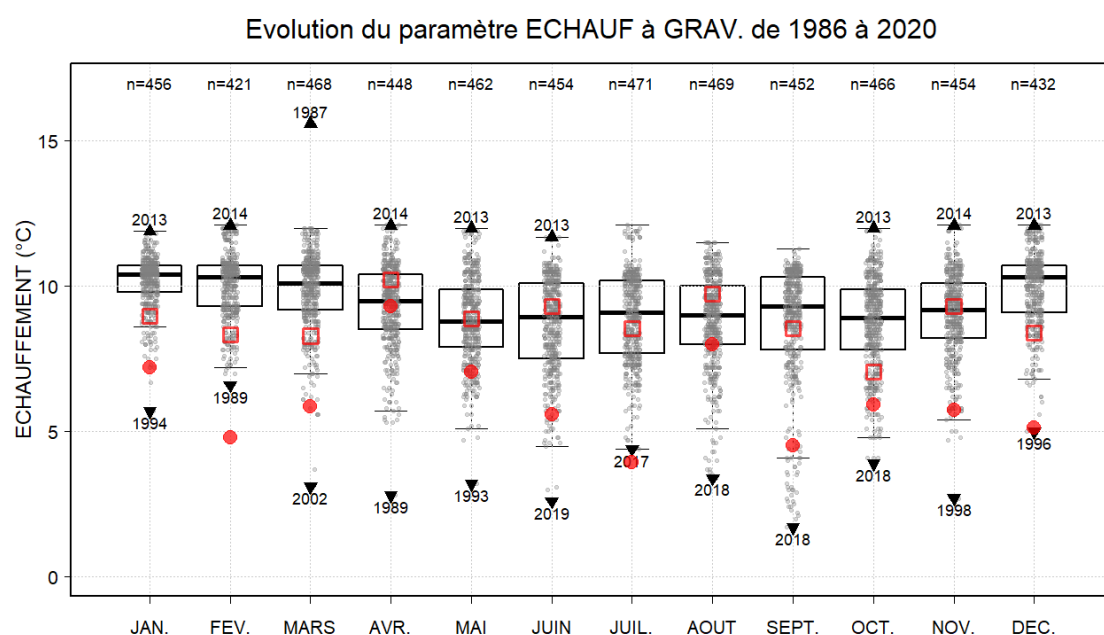


Figure B-6 : Evolution de l'écart mensuel des températures entre les canaux de prise et de rejet au cours de l'année (points = données 2020 hebdomadaires; carrés = données 2020 journalières EDF), mise en perspective de toutes les mesures réalisées depuis le début de la surveillance écologique du CNPE (voir Figure B-1 pour détail des boxplots). Sources : 1986-2007 données hebdomadaires au point *Prise* ; 2008-2019 données journalières EDF, thermographes 10 et 11

Les températures hebdomadaires aux canaux de prise et de rejet étaient dans l'ensemble conformes aux normales saisonnières observées depuis 1986, sauf en juillet où la moyenne du mois (23,2 °C) était parmi les 10 % plus faibles enregistrées au canal de rejet depuis 1986. Malgré tout, comme observé depuis 2014, les écarts de températures par rapport à la médiane mensuelle depuis 1986 étaient positifs en 2020, notamment au cours du second semestre (Figure B-7).

La méthode des sommes cumulées (Ibanez et Fromentin, 1997) permet d'apprécier les tendances générales des paramètres biotiques ou abiotiques d'une série de données. Elle consiste à soustraire à chaque donnée une valeur de référence (en général, la moyenne ou la médiane) et à cumuler les résidus. Graphiquement, elle permet de mettre en évidence des ruptures (ou changements) dans

des séries temporelles illustrées par des décrochements ponctuels dans la série des sommes cumulées : une pente positive correspond à l'observation d'une série de valeurs supérieures à la valeur moyenne. Au contraire, lorsque la série de valeurs observée est inférieure à la valeur moyenne, cela se traduit graphiquement par une pente négative. La somme cumulée de ces écarts des températures du mois à la médiane de la série 1986-2020 montre une tendance nette à la hausse des températures observées dans le canal de prise d'eau depuis 2014 (Figure B-7).

Le transit de l'eau dans la centrale en 2020 s'est traduit par un échauffement hebdomadaire moyen de  $6,1 \pm 2,3$  °C (points rouges, Figure B-6). Cet échauffement était assez faible durant la période hivernale (janvier-février, décembre). Si on utilise les données des thermographes (carrés rouges, Figure B-6), les échauffements mesurés étaient conformes aux normales saisonnières observées depuis 1986, avec un échauffement moyen journalier de  $8,8 \pm 1,1$  °C.

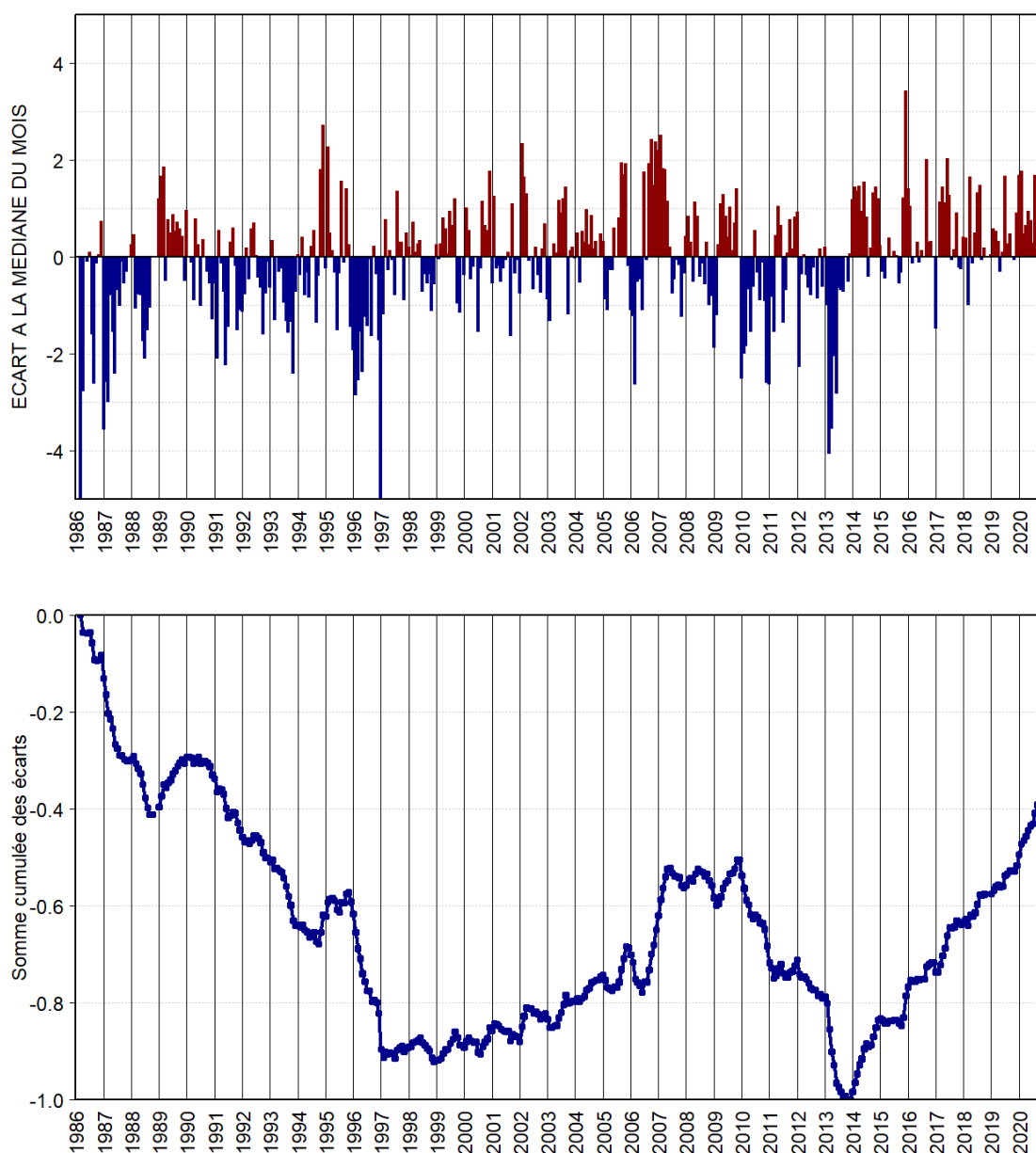


Figure B-7 : Écarts à la médiane mensuelle des températures de l'eau au canal de prise (haut) et somme cumulée des écarts à la médiane (bas) de 1986 à 2020

### B.1.3.3 SALINITE

Depuis janvier 2013, ce paramètre est mesuré hebdomadairement aux canaux de prise et de rejet (Figure B-8). Les mesures de salinité de l'eau étaient semblables entre les canaux de prise et de

rejet. Sans parler de cycle saisonnier, on constate toutefois que la salinité est généralement  $> 34$  durant la période estivale et le début de l'automne (juillet à octobre) comme ce fut encore le cas cette année.

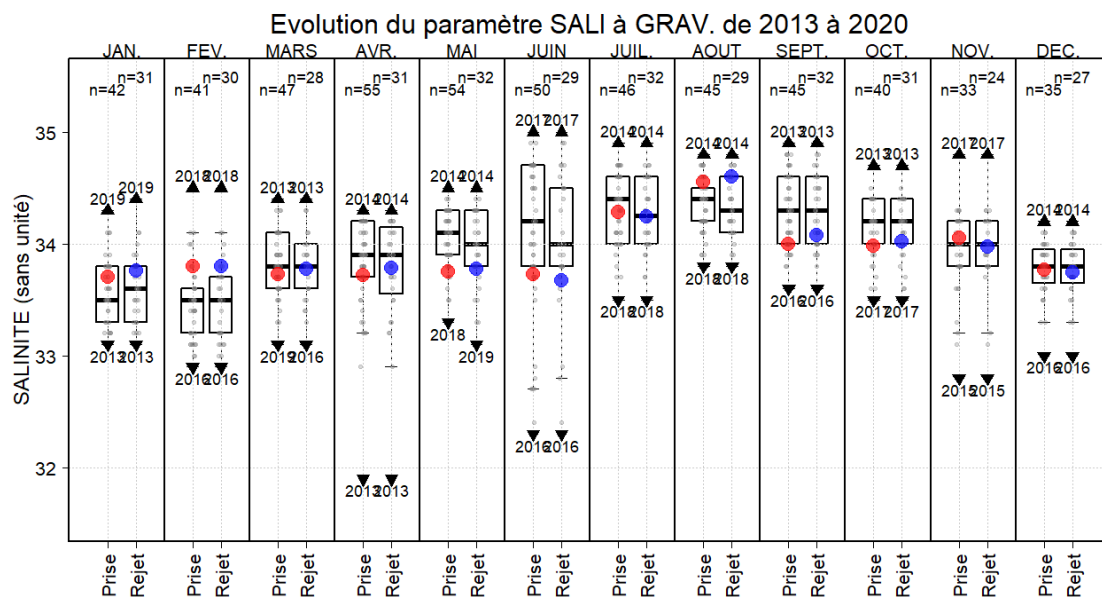


Figure B-8 : Evolution des salinités au canaux de prise (rouge) et de rejet (bleu) au cours de l'année (points = données 2020 hebdomadaires), mis en perspective de toutes les mesures réalisées depuis le début de la surveillance écologique du CNPE (voir Figure B-1 pour détail des boxplots)

#### B.1.3.4 SELS NUTRITIFS AZOTES

Pendant la période non productive (automne-hiver), a lieu la reconstitution des stocks de sels azotés, du fait de la faible abondance des consommateurs primaires (phytoplancton). L'ammonium apparaît en premier, suivi par les nitrites puis les nitrates qui sont aussi les plus abondants. Pendant la période productive (printemps-été), les efflorescences phytoplanctoniques coïncident avec une utilisation de ces nutriments. C'est la régénération de l'ammonium, après le pic d'efflorescence printanière, qui permet généralement de soutenir une nouvelle poussée phytoplanctonique en été. La dynamique des sels azotés en 2020 est présentée Figure B-9 et ANNEXE B-2.

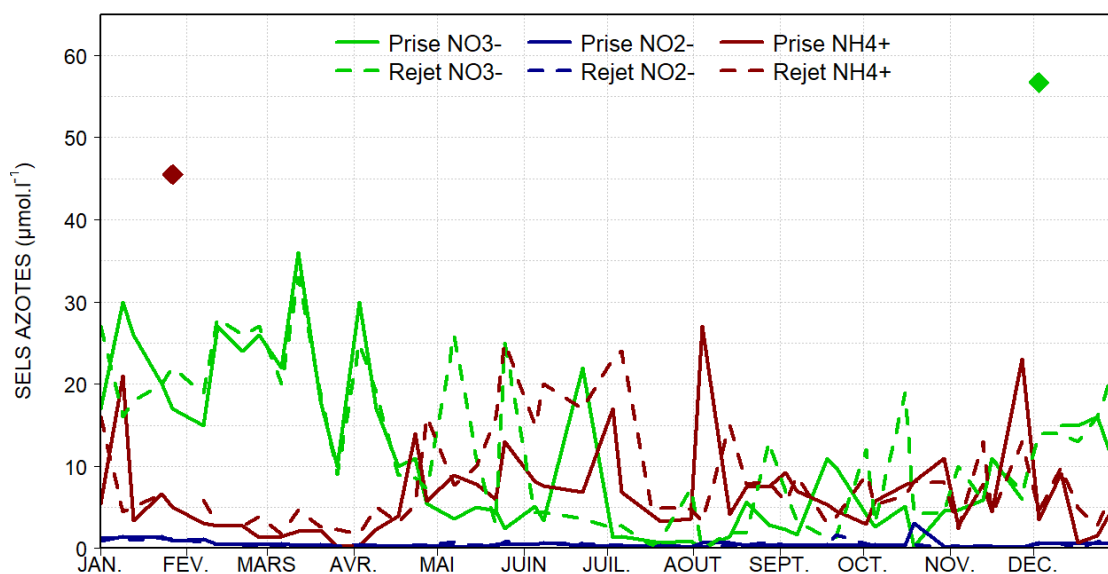


Figure B-9 : Concentration en nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) et ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) aux canaux de prise (traits pleins) et de rejet (pointillés) en 2020 (losanges = données « douteuses »)

De février à avril 2020, une diminution rapide des concentrations en **ammonium** du fait du démarrage de la poussée phytoplanctonique a été observée. L'évolution saisonnière des concentrations en ammonium aux canaux de prise et de rejet ont suivi la même dynamique. Le transit de l'eau s'est traduit en moyenne annuelle par un excédent en ammonium de  $1,62 \mu\text{mol.l}^{-1}$  (écart-type  $6,71 \mu\text{mol.l}^{-1}$ ) dans le canal de rejet. Les concentrations d'ammonium au point *Prise* étaient dans la moyenne des observations depuis 1999 (Figure B-10), alors que celles au point *Rejet* étaient très élevées de mai à juillet (1,5 à 2 fois plus importantes qu'au point *Prise*).

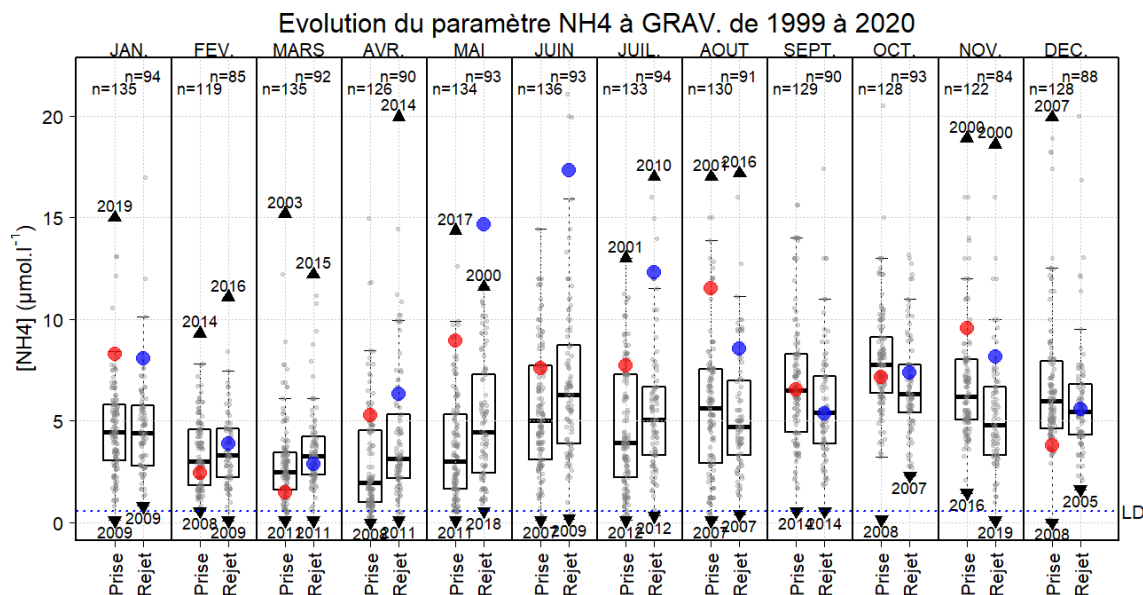


Figure B-10 : Evolution des concentrations mensuelles en ammonium au canaux de prise (rouge) et de rejet (bleu) au cours de l'année (points = données 2020 hebdomadaires), mis en perspective de toutes les mesures réalisées depuis le début de la surveillance écologique du CNPE (voir Figure B-1 pour détail des boxplots)

Les concentrations en **nitrite** aux points *Prise* et *Rejet* étaient dans la moyenne des valeurs observées depuis 1999, sauf de novembre à décembre 2020 qui présentaient des concentrations en nitrite très faibles (données parmi les plus faibles observées depuis 1999), coïncidant avec le début de la régénération automnal des ammoniums (Figure B-11)<sup>11</sup>. En 2020, la différence entre les canaux de prise et de rejet était très faible, puisqu'en moyenne annuelle, un déficit en nitrite de  $0,001 \mu\text{mol.l}^{-1}$  (écart-type  $0,46 \mu\text{mol.l}^{-1}$ ) a été mesuré au canal de rejet.

<sup>11</sup> Les nitrites et les nitrates ont souvent été présentés sans distinction sous le terme « azotes oxydés, NOx » dans les précédents rapports. Depuis novembre 2012, ils sont à nouveau présentés et bancarisés séparément, mais malheureusement, pour certaines années, il n'a pas été possible de retrouver les valeurs distinctes de nitrites et de nitrates qui ont été bancarisées comme NOx.



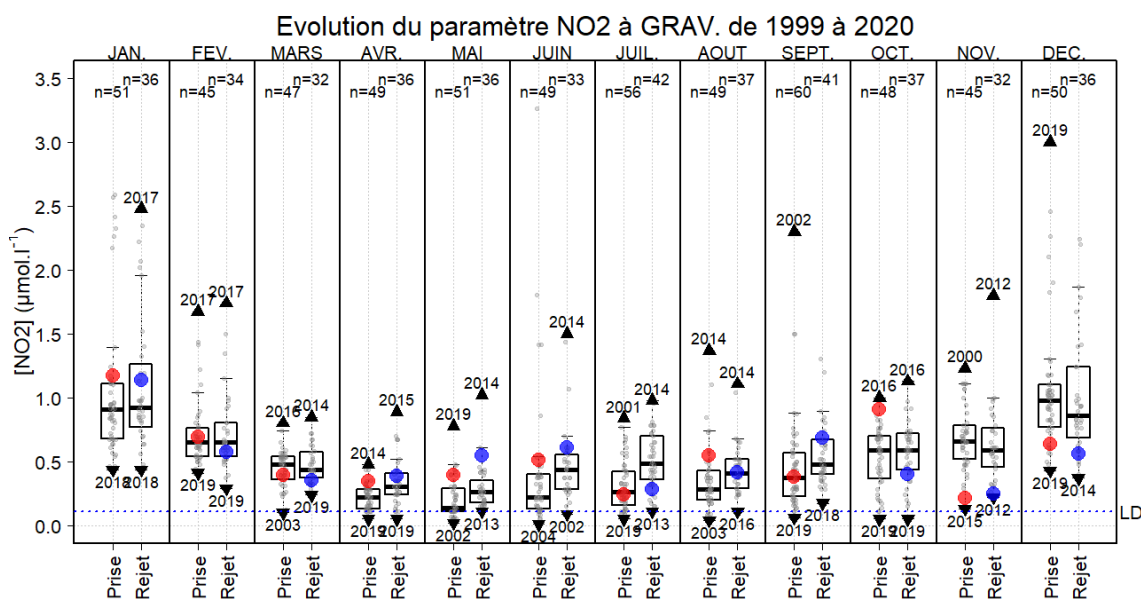


Figure B-11 : Evolution des concentrations mensuelles en nitrite aux canaux de prise (rouge) et de rejet (bleu) au cours de l'année (points = données 2020 hebdomadaires), mis en perspective de toutes les mesures réalisées depuis le début de la surveillance écologique du CNPE (voir Figure B-1 pour détail des boxplots)

Le renouvellement du stock hivernal de **nitrate**, le plus abondant des azotes oxydés, s'observe habituellement de novembre à mars (Figure B-12). A la fin de l'hiver 2020, le stock de nitrate aux points *Prise* et *Rejet* était conforme à l'historique des valeurs mesurées depuis 1999. La prolifération phytoplanctonique, notamment de *Phaeocystis globosa*, qui a démarré mi-mars et augmenté rapidement jusque début mai (cf. Figure B-30), a entraîné l'épuisement de ce stock dès mi-avril au point *Prise* et plus tardivement en mai pour le point *Rejet*. Les concentrations en nitrates sont par la suite restées très faibles jusqu'en novembre. Comme pour les nitrites, la régénération des nitrates a recommencé tardivement à partir de décembre. En moyenne annuelle, un faible excédent en nitrate de 1,45  $\mu\text{mol.l}^{-1}$  (écart-type 7,09  $\mu\text{mol.l}^{-1}$ ) dans le canal de rejet a été observé par rapport au canal de prise.

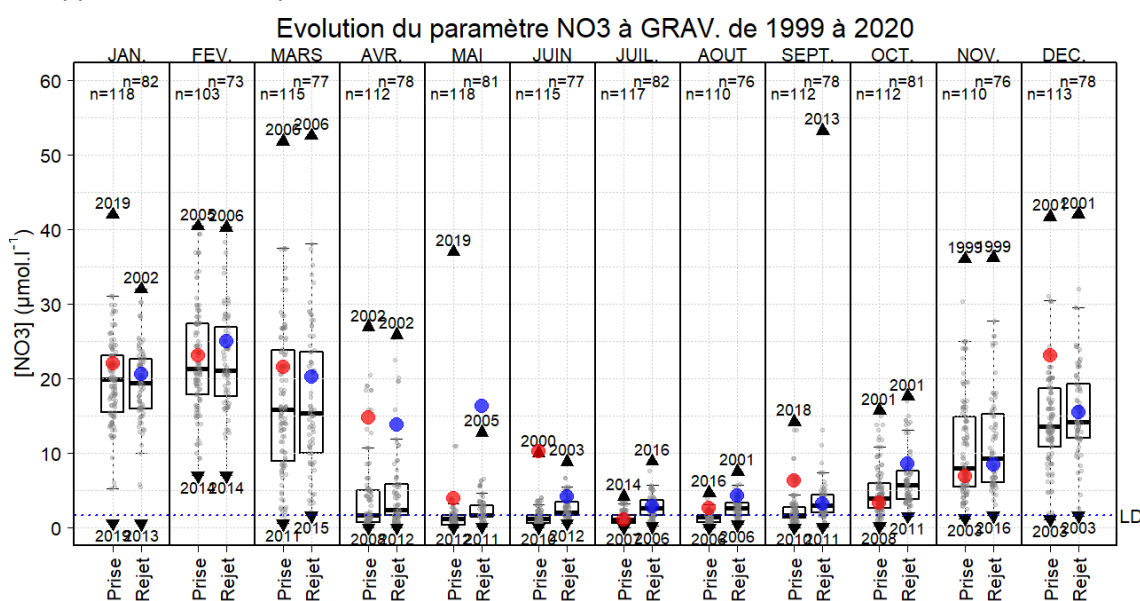


Figure B-12 : Evolution des concentrations mensuelles en nitrate aux canaux de prise (rouge) et de rejet (bleu) au cours de l'année (points = données 2020 hebdomadaires), mis en perspective de toutes les mesures réalisées depuis le début de la surveillance écologique du CNPE (voir Figure B-1 pour détail des boxplots)



### B.1.3.5 PHOSPHATE ET SILICATE

Depuis janvier 2016, ces nutriments sont mesurés mensuellement aux canaux de prise et de rejet (Figure B-13, Figure B-14 et ANNEXE B-3). Les concentrations en phosphate ne présentaient pas de cycle saisonnier distinct, contrairement aux silicates dont les concentrations ont diminué pendant la période de production phytoplanctonique (d'avril à juin). La concentration moyenne annuelle en phosphate était plus importante au canal de prise par rapport au canal de rejet ( $0,13 \pm 1,03 \mu\text{mol.l}^{-1}$ ), tirée par une valeur importante en décembre, alors que celle en silicate était plus importante au canal de rejet ( $0,45 \pm 2,38 \mu\text{mol.l}^{-1}$ ), à l'exception de janvier, juin-juillet et novembre-décembre.

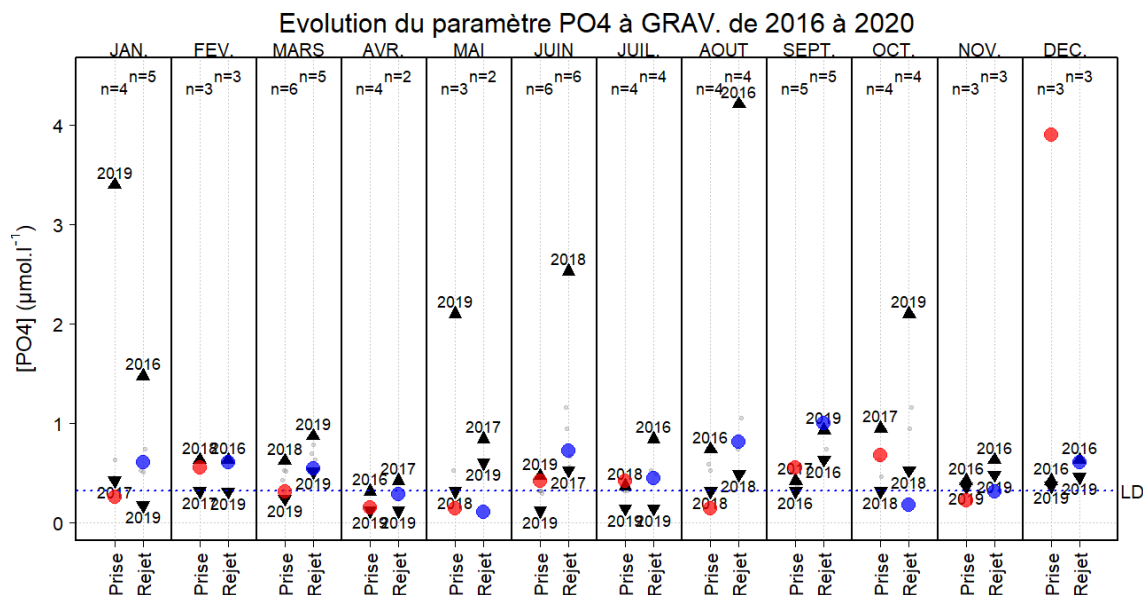


Figure B-13 : Evolution des concentrations mensuelles en phosphate aux canaux de prise et de rejet au cours de l'année (points = données 2020 hebdomadaires), mis en perspective de toutes les mesures réalisées depuis le début de la surveillance écologique du CNPE (voir Figure B-1 pour détail des boxplots)

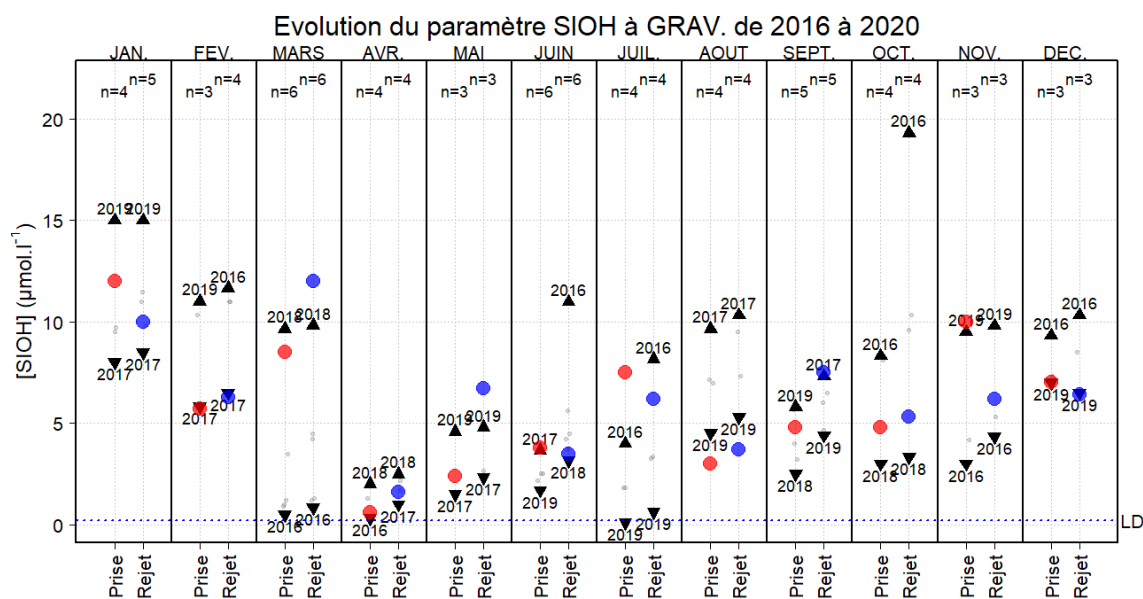


Figure B-14 : Evolution des concentrations mensuelles en silicate aux canaux de prise et de rejet au cours de l'année (points = données 2020 hebdomadaires), mis en perspective de toutes les mesures réalisées depuis le début de la surveillance écologique du CNPE (voir Figure B-1 pour détail des boxplots)

### B.1.3.6 TURBIDITE

Depuis janvier 2016, ce paramètre est mesuré mensuellement aux canaux de prise et de rejet (Figure B-15 et ANNEXE B-3). La turbidité était plus importante en début d'année (> 25 NTU) du fait du passage des tempêtes « Ciara », « Dennis » et « Ellen », entraînant une remise en suspension des sédiments. L'évolution mensuelle de la turbidité était assez semblable entre les points *Prise* et *Rejet*, à l'exception du mois de juillet qui présentait une mesure de turbidité très supérieure au point *Rejet* (48 NTU) par rapport au point *Prise* (9 NTU). En octobre, l'augmentation de la turbidité aux points *Prise* et *Rejet* (> 15 NTU) serait due aux conditions météorologiques particulièrement venteuses et pluvieuses de fin septembre à octobre, entraînant une remise en suspension des sédiments.

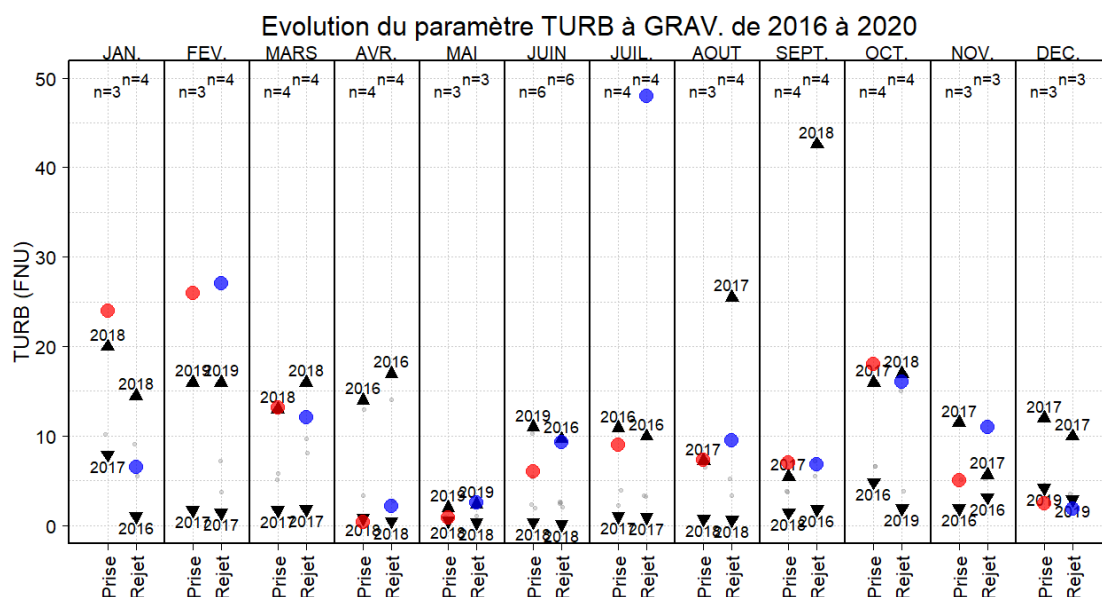


Figure B-15 : Evolution de la turbidité mensuelle aux canaux de prise et de rejet au cours de l'année (points = données 2020 hebdomadaires), mise en perspective de toutes les mesures réalisées depuis le début de la surveillance écologique du CNPE (voir Figure B-1 pour détail des boxplots)

### B.1.3.7 OXYGENE DISSOUS

Depuis janvier 2016, ce paramètre est mesuré mensuellement en surface aux canaux de prise et de rejet (Figure B-16 et ANNEXE B-3). En 2020, les concentrations sur l'année étaient comprises entre 6,2 et 10,4 mg.l<sup>-1</sup> et ne présentait pas de cycle saisonnier. Pour les mois de janvier, février, juin et septembre, les concentrations étaient inférieures à celles mesurées les années précédentes, passant en dessous des 9 mg.l<sup>-1</sup>. En moyenne, les concentrations étaient un peu plus importantes au point *Prise* (en moyenne de 0,17 ± 0,62 mg.l<sup>-1</sup>).

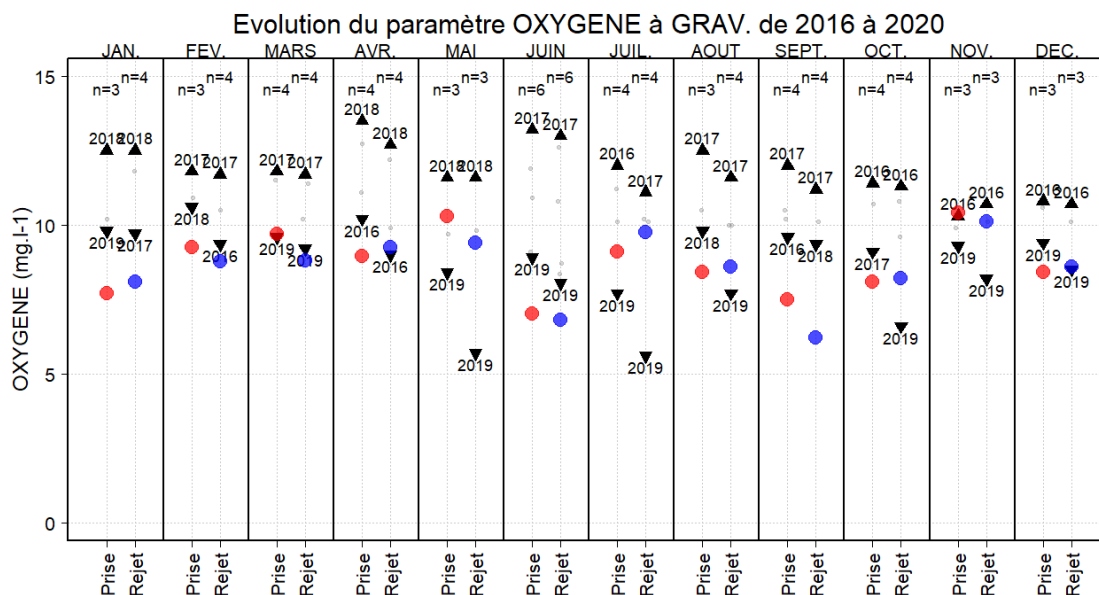


Figure B-16 : Evolution des concentrations mensuelles en oxygène dissous aux canaux de prise et de rejet au cours de l'année (points = données 2020 hebdomadaires), mis en perspective de toutes les mesures réalisées depuis le début de la surveillance écologique du CNPE (voir Figure B-1 pour détail des boxplots)

### B.1.3.8 CHLORATION

Afin de lutter contre les salissures biologiques, du chlore produit par électrolyse de l'eau de mer est injecté dans les circuits de refroidissement du CNPE. Cette chloration n'est autorisée que lorsque la température de l'eau à l'entrée du canal d'amenée est supérieure à 10 °C. L'oxydant injecté (hypochlorite de sodium) est consommé de façon rapide par l'eau de mer et sa concentration résiduelle doit rester inférieure à 1 mg.l<sup>-1</sup>. La disparition du chlore s'accompagne de la formation de composés chimiques plus stables que l'oxydant, les trihalométhanes (ou haloformes, essentiellement le bromoforme CHBr<sub>3</sub>) et d'autres composés en quantités beaucoup plus faibles comme les bromophénols (Khalanski, 2003). Afin de suivre ces différents composés chimiques des prélèvements hebdomadaires dans les canaux de prise et de rejet (chlore et haloformes) et mensuels au rejet (bromophénols) sont réalisés et analysés selon les méthodes indiquées dans le Tableau B-3.

En 2020, les mesures d'oxydant résiduel, exprimées en chlore total (chlore présent sous forme libre et de chlore combiné), aux canaux de prise et de rejet étaient toutes inférieures à la limite de quantification, 0,10 mg.l<sup>-1</sup> en équivalent Cl<sub>2</sub> (ANNEXE B-4).

Tableau B-3 : Méthodes d'analyse du chlore des bromoformes et des haloformes (Limite de Quantification et de Détection : LQ/LD)

Paramètre	Méthode	Unité	Précision	LQ	LD
<b>Chlore total</b>	Spectrophotométrie d'absorption moléculaire à la DPD (diéthyl-p-phenylènediamine) selon le mode opératoire décrit par Fiquet (1978)	mg.l <sup>-1</sup> en eqv. Cl <sub>2</sub>	0,01	0,10	-
<b>Chlore libre</b>			0,01	0,10	-
<b>Chloroforme</b>	Analyse des <b>haloformes</b> par : Chromatographie en phase gazeuse selon la norme NF EN ISO 10301		0,1	1,0	-
<b>Dichloro-bromo-méthane</b>			0,1	1,0	-
<b>Chloro-dibromo-méthane</b>			0,1	1,0	-
<b>Bromoforme</b>			0,1	1,0	-
<b>2,4,6-tribromo-phénol</b>	Analyse des <b>bromophénols</b> par : Chromatographie en phase gazeuse selon la norme NF EN ISO 6468		0,1	2,0	0,7
<b>2,6-dibromo-phénol</b>			0,1	2,0	0,7
<b>2,4-dibromo-phénol</b>			0,1	2,0	0,7
<b>4-bromo-phénol</b>			0,1	2,0	0,7
<b>3-bromo-phénol</b>			0,1	2,0	0,7
<b>2-bromo-phénol</b>			0,1	2,0	0,7

La Figure B-17 permet de visualiser la concentration en bromoforme en relation avec la température de l'eau au canal de prise. D'après les informations fournies par le CNPE de Gravelines, l'électrochloration a été mise en service entre le 12/04/2020 et le 07/12/2020 alors que la température de l'eau était supérieure à 10 °C. En dehors de cette période, aucun haloforme n'a été détecté dans le canal de rejet (ANNEXE B-5).

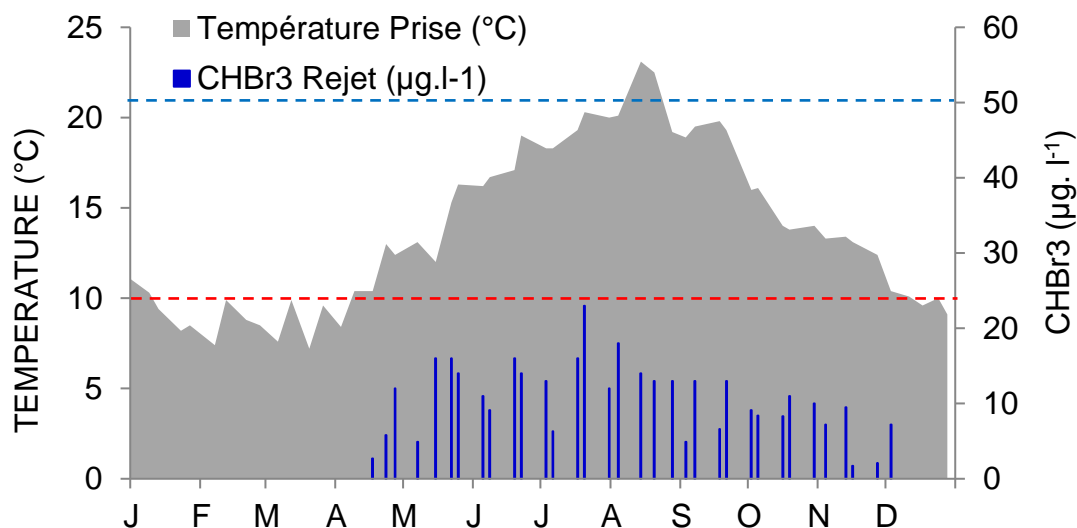


Figure B-17 : Concentration du bromoforme au canal de rejet en relation avec la température de l'eau au canal de prise en 2020 (La chloration n'est autorisée que lorsque la température est supérieure à 10 °C, ligne pointillée rouge; la concentration de bromoforme au canal de rejet doit être inférieure à 50 µg.l<sup>-1</sup>, ligne pointillée bleue)

En période de chloration, la concentration moyenne de bromoforme au canal de rejet était de  $10,6 \pm 4,8 \mu\text{g.l}^{-1}$ , soit bien en deçà de la concentration maximale autorisée de  $50 \mu\text{g.l}^{-1}$ . Cette concentration moyenne correspond à la fourchette basse des valeurs habituellement observées les années précédentes (environ 10 à 20 µg.l<sup>-1</sup>).

Durant la période estivale (juillet-août), de faibles concentrations de bromoforme ont aussi été détectées au canal de prise (ANNEXE B-5). Parmi les autres haloformes, seul du dibromochlorométhane a également été détecté en faible quantité au canal de rejet le 22 juin ( $1,5 \mu\text{g.l}^{-1}$ ).

La persistance du bromoforme en mer permet également d'avoir une indication approximative du pourcentage d'eau de refroidissement passant une seconde fois dans la centrale (« taux de recirculation »). En période de chloration, ce taux est estimé en calculant le rapport entre la quantité de bromoforme mesurée aux points Prise et Rejet. Pour 2020, le taux de recirculation moyen était de 7,5 % ( $\pm 5,9$  %) ce qui correspond aux moyennes observées depuis 2006 (7,2 %, Figure A-1 et Figure B-18).

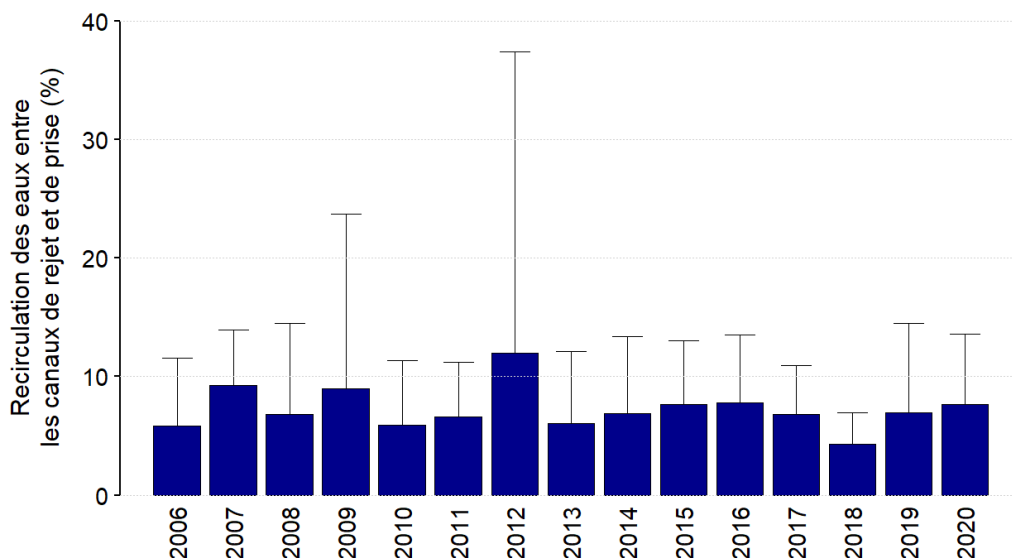


Figure B-18 : Pourcentage annuel moyen d'eau de refroidissement (« taux de recirculation ») qui passe une seconde fois dans le CNPE de Gravelines en période de chloration (avec écart-type)

En 2020, la concentration moyenne de bromophénols était de 70,5 ng.l<sup>-1</sup> durant la période de chloration, avec un maximum de 193,5 ng.l<sup>-1</sup> mesuré en juin (ANNEXE B-4). Depuis 2013, des seuils de quantification plus bas pour ces dosages (< 2 ng.l<sup>-1</sup>, contre 1 µg.l<sup>-1</sup> auparavant) ont été obtenus par le laboratoire d'analyse, ce qui a permis la mise en évidence occasionnelle en période de chloration de divers bromophénols.

## B.1.4 SURVEILLANCE DU MILIEU RECEPTEUR

### B.1.4.1 TEMPERATURE

En raison des turbulences importantes régnant dans le canal de prise et des conditions hydrodynamiques locales fortes, aucune stratification thermique n'a été notée au niveau des points *Prise* et *Référence* (Figure B-19 et ANNEXE B-6). L'écart de température entre ces deux points était faible en juin (0,6 °C) par rapport à septembre (1,9 °C). Au point *Contrôle*, la stratification thermique verticale habituelle du panache de rejet a été observée lors des deux campagnes. Les eaux étaient plus chaudes de 2 à 3 °C sur les 3 premiers mètres en surface, puis les températures se rapprochaient de celles mesurées aux points *Prise* ou *Référence* plus en profondeur. Lors des deux campagnes l'excédent thermique au point *Rejet* étaient 10,3 et 9,8 °C par rapport au point *Prise*.

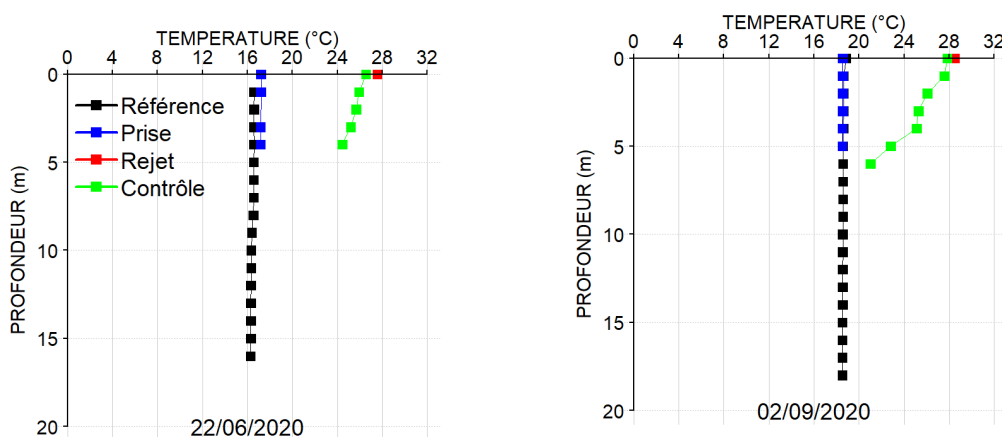


Figure B-19 : Profils de température lors des campagnes pélagiques de juin et septembre 2020

### B.1.4.2 SALINITE

Les profils de salinité aux points *Prise* et *Référence* étaient homogènes sur toute la colonne d'eau lors des deux campagnes pélagiques (Figure B-20 et ANNEXE B-6).

Au point *Contrôle*, la stratification haline verticale habituelle du panache de rejet n'a été observée qu'en septembre, avec une hausse de salinité en profondeur atteignant les valeurs des points *Prise* et *Référence* à partir de 5 mètres.

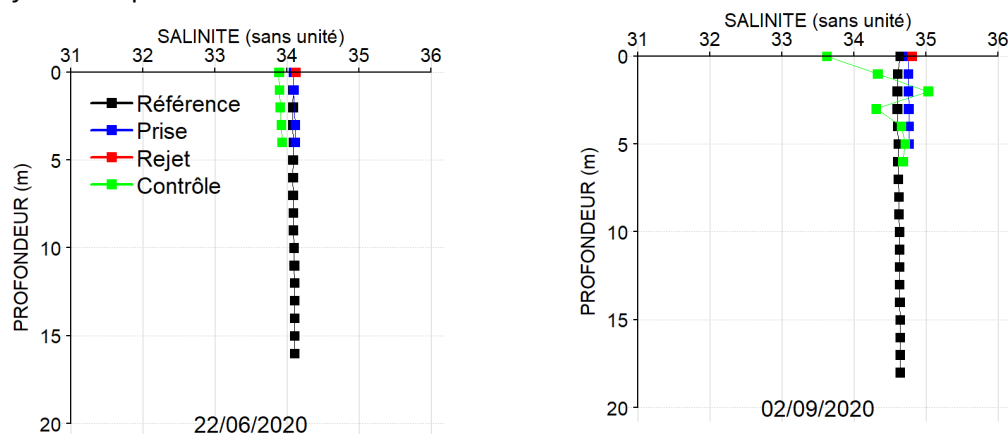


Figure B-20 : Profils de salinité lors des campagnes pélagiques de juin et septembre 2020

### B.1.4.3 TUBIDITE

Lors des deux campagnes pélagiques, la turbidité était plus forte en surface aux points *Rejet* et *Contrôle* qu'aux points *Prise* et *Référence* (Figure B-21). En juin, les profils de turbidité aux points *Contrôle* et *Référence* présentaient une légère augmentation de la turbidité avec la profondeur. En septembre, cette augmentation était beaucoup plus marquée. La turbidité au point *Rejet* était beaucoup moins importante qu'en juin et plus proche de celle des points *Prise* et *Référence*.

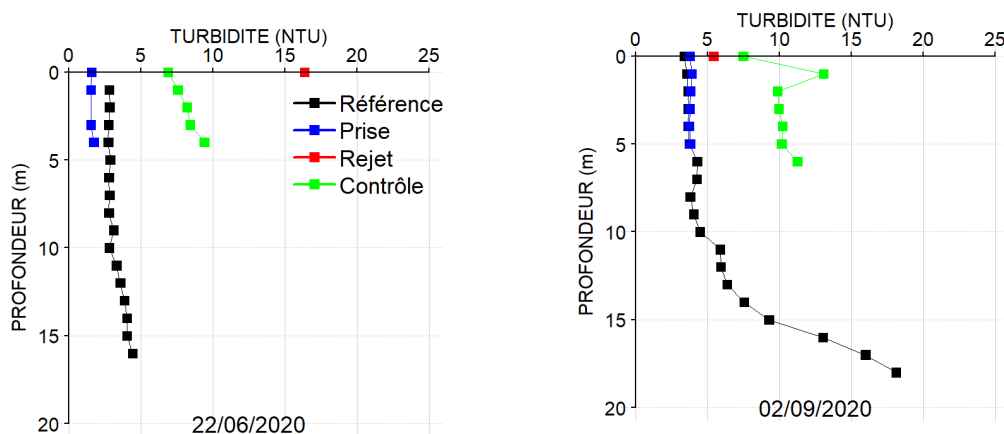


Figure B-21 : Profils de turbidité lors des campagnes pélagiques de juin et septembre 2020

### B.1.4.4 OXYGENE DISSOUS

Les profils de concentration en oxygène dissous étaient à peu près homogènes lors des deux campagnes pélagiques. En juin, la masse d'eau au large (point *Référence*) était plus oxygénée (+ 1,2 mg.l<sup>-1</sup> en moyenne) par rapport aux autres points (avec une oxygénation moyenne de 6.8 mg.l<sup>-1</sup>, Figure B-22 et ANNEXE B-6). En septembre, les masses d'eau aux points *Prise*, *Rejet* et *Référence* étaient plus oxygénés (+ 1,5 mg.l<sup>-1</sup>) que celle du point *Contrôle*.

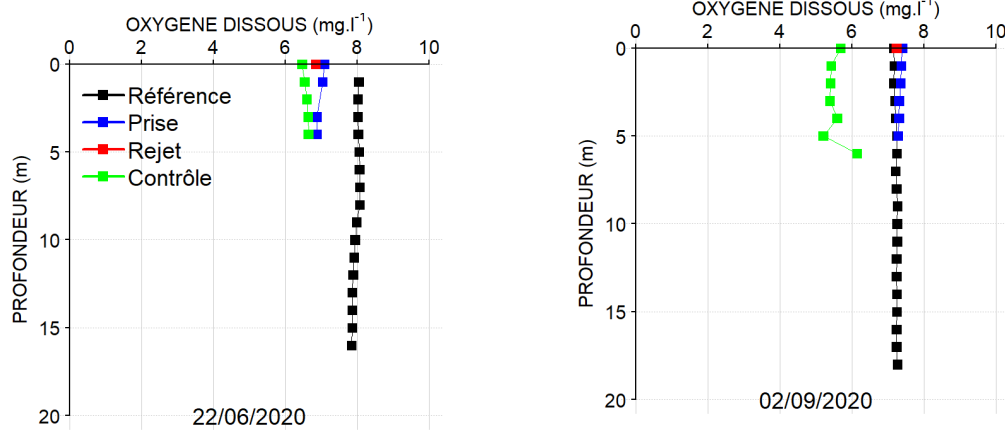
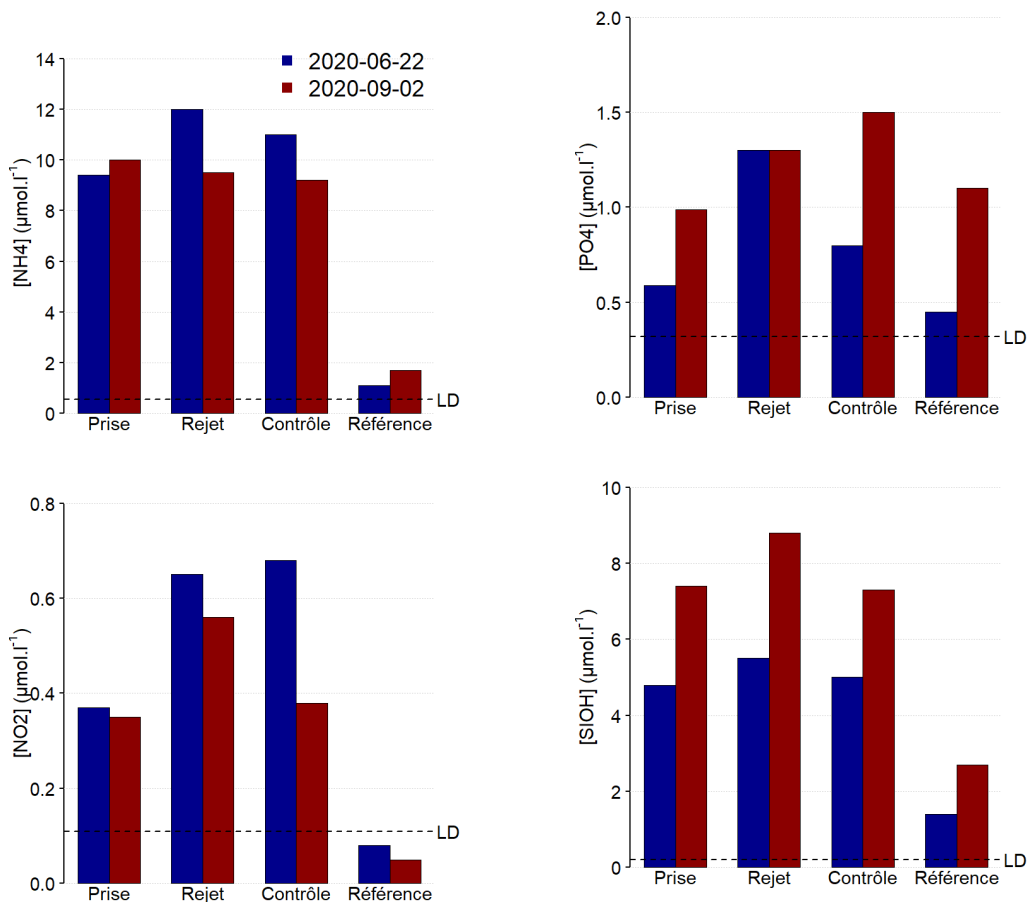


Figure B-22 : Profils de l'oxygène dissous lors des campagnes pélagiques de juin et septembre 2020

#### B.1.4.5 NUTRIMENTS

La campagne pélagique de juin s'est déroulée après le bloom phytoplanctonique printanier et celle de septembre après la poussée phytoplanctonique d'août, d'où des teneurs en nitrates faibles, voire en dessous des seuils de détection, pour les points *Prise* et *Référence*. Les concentrations mesurées en nitrate en septembre étaient supérieures à celles mesurées durant la campagne de juin pour la totalité des points (Figure B-23 et ANNEXE B-6).



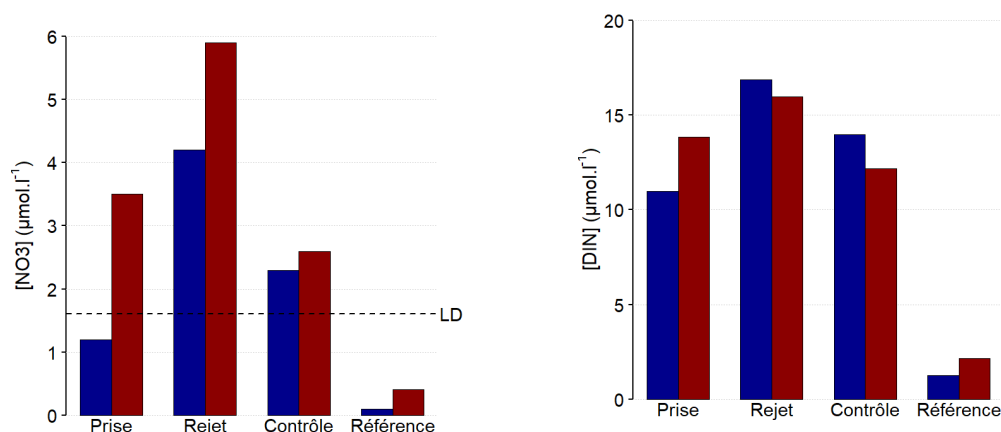


Figure B-23 : Concentrations en ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), nitrite (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), azote dissous inorganique (DIN), phosphate (PO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) et silicate (Si(OH)<sub>4</sub>) lors des campagnes pélagiques de 2020 (la ligne hachurée représente le seuil de détection de chaque nutriment)

Les concentrations en azotes inorganiques dissous (DIN = ammonium+nitrite+nitrate) phosphate et silicate étaient généralement plus fortes au point *Rejet*, mais tendent à diminuer selon un gradient décroissant vers le large, points *Contrôle* puis *Référence*, lors des deux campagnes pélagiques.

## B.1.5 CONCLUSIONS

Lors de ce cycle de surveillance, la température de l'eau au canal de prise était dans l'ensemble conforme aux normales saisonnières depuis 1986, avec un pic de température (23,1 °C) observé le 14 août 2020. **L'année 2020 reste globalement au-dessus de la médiane annuelle de la série (+1,1°C) et confirme l'augmentation des températures observées depuis 2014.**

A titre indicatif, la valeur maximale mesurée au point *Rejet* pour la période novembre-mai 2020 était de 24,3°C (fin mai), et de 31,8°C (août) pour la période juin-octobre 2020. Le transit de l'eau dans la centrale s'est traduit par un échauffement moyen sur l'année de  $6,1 \pm 2,3$  °C sur base des mesures en surface hebdomadaires réalisées par Flandre Analyses, avec une valeur maximale de 10,7°C observée en avril pour l'année 2020.

La dynamique des sels azotés en 2020 était conforme à ce que l'observe habituellement en milieu côtier tempéré. En 2020, la reconstitution des stocks d'azote inorganiques (ammonium et nitrate) en hiver était dans la moyenne des observations faites depuis 1999, grâce notamment à une pluviométrie excédentaire due à des pluies fréquentes et très abondantes en début d'année, et plus particulièrement de début février à mi-mars, d'où des débits élevés des rivières, notamment de l'Aa, et plus d'eaux de ruissellement. Dès le démarrage de la poussée phytoplanctonique (mi-mars), les concentrations en ammonium puis en nitrate ont été rapidement utilisées. La régénération de l'ammonium et des nitrates s'est amorcée en novembre, soutenue par les fortes pluies d'octobre 2020 (5<sup>ème</sup> rang des mois d'octobre les plus pluvieux depuis 1986). **L'évolution saisonnière des concentrations en azote inorganique dissous aux canaux de prise et de rejet ont suivi les mêmes tendances, avec des concentrations légèrement excédentaires dans le canal de rejet** par rapport au canal de prise ( $+1,62 \pm 6,71$  μmol.l<sup>-1</sup> pour l'ammonium et  $+1,45 \pm 7,09$  μmol.l<sup>-1</sup> pour les nitrates). Les concentrations en phosphate ne présentaient pas de cycle saisonnier distinct, contrairement aux silicates dont les concentrations ont diminué pendant la période de production phytoplanctonique (avril-mai). Les concentrations en phosphate et silicate étaient globalement similaires dans les canaux de prise et de rejet (exception faite de décembre 2020 au point *Prise* pour les phosphates).

Le procédé d'électrochloration du circuit de refroidissement permettant de lutter contre le développement de salissures biologiques a été mis en service durant 8 mois au cours de l'année 2020, et uniquement lorsque la température de l'eau au canal de prise était supérieure à 10°C. Le bromoforme est le principal produit dérivé des opérations d'électrochloration, les concentrations



mesurées au point *Rejet* n'ont été détectées qu'en période de chloration et sont restées inférieures à  $50 \mu\text{g.l}^{-1}$ . Le dosage du bromoforme, outre son rôle de traceur de la chloration, permet d'estimer le taux de recirculation de l'eau de refroidissement entre les canaux de rejet et de prise, qui était de 7,5 % cette année. Les composés organohalogénés issus des opérations de chloration (bromophénols) représentaient en moyenne moins de  $1 \mu\text{g.l}^{-1}$ , ce qui est largement en dessous de la limite autorisée ( $300 \mu\text{g.l}^{-1}$ ).

Les températures mesurées au point *Référence* n'ont pas indiqué un réchauffement des eaux par rapport au point *Prise*, et les profils de salinité ne montrent pas de stratification de la colonne d'eau, comme parfois au point *Contrôle*, indiquant que **l'étendue du panache de rejet du CNPE reste toujours géographiquement limitée**. De même, la turbidité de l'eau en surface est toujours plus faible aux points *Prise* et *Référence* et plus importante aux points *Rejet* et *Contrôle*. Le suivi mensuel de ce paramètre a montré que la turbidité était plus importante entre janvier et mars 2020 par rapport au printemps où la turbidité était assez faible. Les concentrations en oxygène dissous étaient plus faibles cette année, notamment aux points *Rejet* et *Contrôle* comme observé lors des deux campagnes pélagiques.

Le suivi hebdomadaire des paramètres hydrologiques réalisés en 2020 permet de mesurer l'influence du CNPE sur le réchauffement de l'eau à l'embouchure du canal de rejet qui est toutefois resté en dessous des limites autorisées par l'ASN. **Les campagnes pélagiques montrent que le réchauffement des eaux s'estompe rapidement vers le large (point *Référence*).**

**Les rejets du CNPE n'affectent pas de façon générale la distribution et les variations saisonnières des paramètres étudiés autres que la température, pour laquelle un échauffement de l'eau géographiquement limité aux abords du point *Rejet*, est mis en évidence. Les résultats de la surveillance des paramètres hydrologique, physico-chimique et chimique pour l'année 2020 mettent en évidence une variabilité spatio-temporelle cohérente avec celle du milieu naturel, qui ne peut donc pas être imputable à l'influence du fonctionnement du CNPE.**



# PHYTOPLANKTON

## **Rédaction/mise en page**

David Devreker (LER-BL)

Guillaume Wacquet (LER-BL)

## **Prélèvements et mesures *in situ***

Flandres Analyses

IFREMER (LER-BL)

## **Analyses/Traitement des données**

Flandres Analyses

IFREMER (LER-BL)

## **Prestataires extérieurs**

Flandres Analyses

## **Expertise thématique**

David Devreker (LER-BL)

Guillaume Wacquet (LER-BL)



## B.2 PHYTOPLANCTON ET BIOMASSE CHLOROPHYLIENNE

Le phytoplancton représente l'ensemble des algues microscopiques qui flottent dans les eaux. C'est le premier maillon de la chaîne alimentaire dans l'écosystème marin. Le rôle majeur du phytoplancton est de contribuer à la production primaire et donc à la consommation de dioxyde de carbone et à la production d'oxygène.

La dynamique des communautés phytoplanctoniques se caractérise par la succession d'assemblages d'espèces selon des schémas pouvant présenter une forte variabilité spatio-temporelle. La succession de ces assemblages est principalement contrôlée par les conditions environnementales (disponibilité des nutriments, de la lumière, conditions hydrodynamique et météorologique) et par la réponse des populations phytoplanctoniques à leurs variations. La diversité et la dynamique des populations phytoplanctoniques résultent ainsi d'interactions complexes entre des facteurs hydrodynamiques, physico-chimiques et biologiques.

Le phytoplancton s'adapte à des perturbations naturelles ou induites par l'homme, en modifiant sa physiologie, son taux de croissance et l'espèce dominante. Il peut donc être utilisé comme indicateurs de changements de qualité des eaux à courts et longs termes. Il est couramment utilisé comme indicateur ou élément de qualité environnementale aussi bien dans les programmes de monitoring que dans les directives européennes (Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE), Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (2008/56/CE)) ou dans les conventions de mers régionales (ex. convention d'Oslo et de Paris - OSPAR). De plus, le phytoplancton peut représenter une menace lorsqu'il est responsable de floraisons toxiques. Les floraisons peuvent provoquer des colorations des eaux, l'asphyxie ou le déclin de la végétation. Les aérosols qui s'en dégagent peuvent avoir des conséquences directes sur la santé humaine. Les déchets et mucus associés peuvent s'accumuler sur les rives et obstruer les filets de pêches. Les coquillages peuvent être contaminés et les poissons tués lors de ces floraisons. Ainsi, en réponse à des apports excessifs de nutriments, le développement du phytoplancton peut provoquer des dysfonctionnements au sein des écosystèmes pélagiques et benthiques (diminution de la concentration en oxygène, mortalité, ...) : c'est ce que l'on appelle le processus d'eutrophisation.

### B.2.1 STRATEGIE DE SURVEILLANCE

#### B.2.1.1 HISTORIQUE DES SUIVIS

Dans le contexte particulier des activités d'exploitation du CNPE de Gravelines, la surveillance écologique du phytoplancton consiste à suivre la biomasse, l'abondance et la composition du phytoplancton marin des eaux côtières, ce qui recouvre notamment la distribution spatio-temporelle des différentes espèces phytoplanctoniques, le recensement des efflorescences exceptionnelles telles que les eaux colorées ou les développements d'espèces toxiques ou nuisibles susceptibles d'affecter le fonctionnement de l'écosystème.

Le protocole de suivi du phytoplancton dans le milieu marin proche du site de Gravelines a peu changé en termes de fréquence d'échantillonnage depuis son lancement à la fin des années 1970. Les principaux changements ont concerné la méthodologie employée pour l'analyse des pigments chlorophylliens (Tableau B-4). En ce qui concerne le suivi hebdomadaire de la flore totale, celui-ci a débuté en 1989 et n'a pas évolué depuis.

Tableau B-4 : Stratégie du suivi des pigments chlorophylliens à Gravelines depuis 1978

Période		Méthode d'analyse		Type de suivi	Analyste
Début	Fin	chl $\alpha$	Phéopigments		
07/02/1978	20/09/1986	UNESCO 1966	Lorenzen 1967	+/- mensuel	SMW
16/04/1987	23/09/1987	Lorenzen 1967		3 campagnes/an	IPL Nord
06/05/1988	21/09/1988	Lorenzen 1967	Lorenzen 1967	3 campagnes/an	IPL Nord
09/01/1989	27/10/1997	UNESCO 1966	Méthode EDF	Hebdomadaire + 2 campagnes/an	IPL Nord
03/11/1997	19/10/1998	Lorenzen 1967	Lorenzen 1967	Hebdomadaire + 2 campagnes/an	IPL Nord
02/11/1998	25/10/2011	UNESCO 1966	Méthode EDF	Hebdomadaire + 2 campagnes/an	IPL Nord
31/10/2011	27/12/2012	UNESCO 1966	Méthode EDF	Hebdomadaire + 2 campagnes/an	Eurofins
03/01/2013	26/12/2018	UNESCO 1966	Méthode EDF	Hebdomadaire + 2 campagnes/an	Flandres Analyses
31/12/2018	présent	Lorenzen 1967	Lorenzen 1967	Hebdomadaire + 2 campagnes/an	Flandres Analyses

SMW : Station Marine de Wimereux ; IPL Nord : Institut Pasteur Lille Nord.

### B.2.1.2 SUIVI ACTUEL

Depuis 1989, deux campagnes pélagiques annuelles permettent de comparer la biomasse et l'abondance phytoplanctonique dans le milieu récepteur des eaux rejetées par la centrale par rapport à des stations de référence situées en dehors de l'influence de la centrale. Les campagnes de 2020 ont eu lieu le 22 juin pour la mission printanière et le 02 septembre pour la mission de fin d'été. Lors de chaque mission quatre points sont étudiés (Figure 0-1 et Tableau 0-3) :

- Le point *Prise* (situé à l'entrée du canal de prise d'eau de la centrale) ;
- Le point *Rejet* (situé juste à la sortie du canal de rejet de la centrale) ;
- Le point *Contrôle* (dans le panache de rejet, avec échauffement résiduel de 3 à 4°C) ;
- Le point *Référence* (situé au large, au-delà de la zone d'influence de la centrale).

En complément, des prélèvements d'eau hebdomadaires au point *Prise* permettent de caractériser les variations saisonnières de la biomasse chlorophyllienne et du phytoplancton. Ils permettent de situer les deux campagnes pélagiques par rapport au cycle saisonnier de l'écosystème.

## B.2.2 PARAMETRES / METHODES

Les prélèvements d'eau se font en surface à l'aide d'un seau pour les prélèvements à terre (*Prise* et *Rejet*) et à l'aide d'une bouteille Niskin pour les prélèvements réalisés en mer (*Contrôle* et *Référence*). Pour la mesure des pigments chlorophylliens un litre d'eau est conservé au frais et à l'abri de la lumière. Pour connaître la composition spécifique et l'abondance du phytoplancton 500 ml d'eau, sont fixés au lugol (2,5 ml par litre d'eau de mer).

### B.2.2.1 CHLOROPHYLLE A ET PHEOPIGMENTS

Jusqu'en 2018, la méthode trichromatique (SCOR-UNESCO, 1966) était appliquée pour définir les concentrations en chlorophylle a (chl  $\alpha$ , Tableau B-4), indicateur de la biomasse phytoplanctonique, et le pourcentage de chlorophylle active qui permet de caractériser l'importance de la biomasse phytoplanctonique dotée de pigments photosynthétiques actifs par rapport au phytoplancton en voie de dégradation. A partir du 31 décembre 2018, la méthode de mesure utilisée est la méthode monochromatique (Lorenzen, 1967). Indépendamment de la méthode, les échantillons d'eau d'un litre sont filtrés sur des filtres en fibre de verre Whatman GF/C de 47 mm. Les pigments chlorophylliens concentrés sur ces filtres sont ensuite extraits dans un solvant (acétone à 90 %).

Après centrifugation de 20 minutes à 6000 tours par minute, l'absorbance du surnageant est mesurée par spectrophotométrie. La limite de quantification est de  $0,10 \mu\text{g.l}^{-1}$ .

### B.2.2.2 DENOMBREMENT DU PHYTOPLANCTON

Un volume de 10 ml, prélevé dans les échantillons d'eau fixés au lugol, est mis à décanter pendant au moins 12 heures dans une cuve de sédimentation, selon la méthode d'Utermöhl (1958). La caractérisation spécifique du phytoplancton et leur dénombrement s'effectuent au moyen d'un microscope inversé IX-51 Olympus ( $\times 40$  à  $\times 600$ ). Un minimum de 100 cellules est dénombré afin d'obtenir une précision d'au moins  $\pm 20 \%$  (Lund, 1958). Les résultats sont exprimés en nombre de cellules par litre ( $\text{cell.l}^{-1}$ ).

### B.2.2.3 TRAITEMENT ET EXPLOITATION DES DONNEES

Les traitements et exploitation des données acquises s'articulent principalement autour d'une représentation graphique permettant de mettre en perspective la variabilité spatiale (entre les points) et/ou temporelles (mensuelles) des résultats observés au cours de l'année, avec la variabilité interannuelle observée historiquement depuis que le paramètre est suivi dans le cadre de la surveillance (susceptible de remonter aux début des années 1980)<sup>12</sup>.

Toutes ces dimensions sont combinées sous une seule et même représentation graphique, le "boxplot", dont le principe est rappelé dans la Figure B-24. Les années pour lesquelles des valeurs records ont été observées sont identifiées directement sur le graphique, sauf pour les années où les valeurs minimum observées correspondent à des seuils (LD ou LQ) de nature analytique.

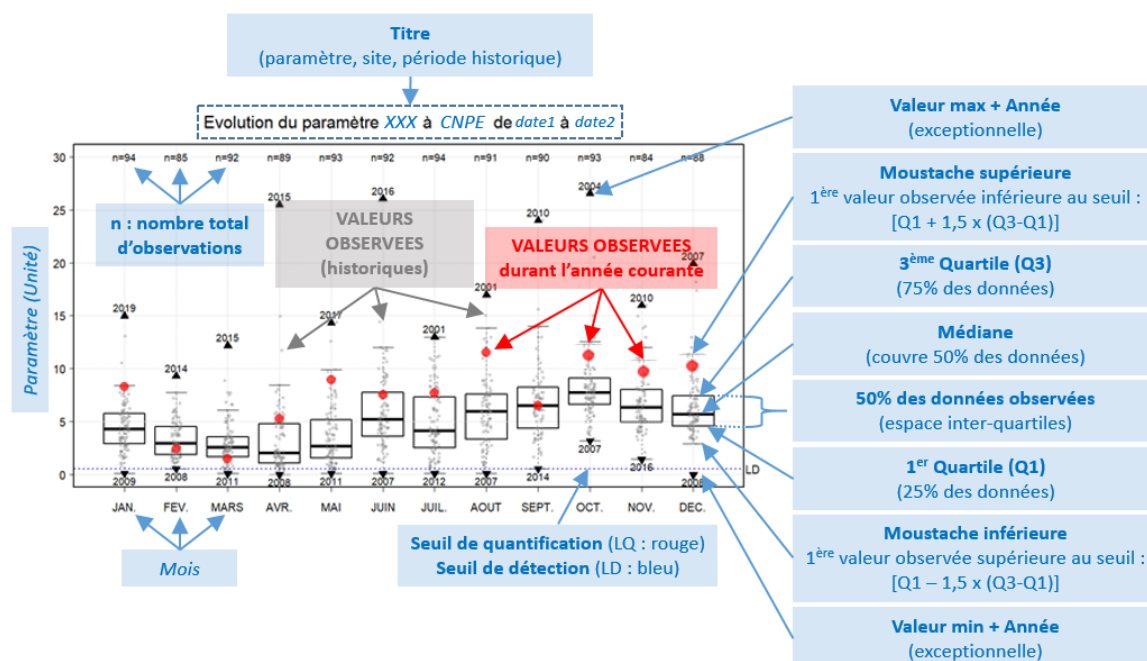


Figure B-24 : Description des graphiques de type "Boxplot" utilisés pour présenter les résultats de la surveillance annuelle en perspective de l'ensemble des observations historique de la surveillance

<sup>12</sup> La stratégie analytique d'un même paramètre peut avoir changé au cours de la surveillance au point d'empêcher la continuité historique de la série.

## B.2.3 SURVEILLANCE AU CANAL DE PRISE

### B.2.3.1 CHLOROPHYLLE A ET POURCENTAGE DE CHLOROPHYLLE ACTIVE

La biomasse phytoplanctonique au point *Prise*, exprimée via la concentration en chl *a*, présente toujours un cycle saisonnier très marqué et est caractérisée par une forte variabilité interannuelle (Figure B-25, ANNEXE B-7 et ANNEXE B-8).

Au cours de la période 1989-2020, la concentration maximale annuelle de chl *a* présentait de fortes fluctuations sur une courte échelle temporelle, avec un minimum à 6,85  $\mu\text{g.l}^{-1}$  en 2017 et un maximum à 52,33  $\mu\text{g.l}^{-1}$  en 2010. À l'échelle de cette période, la concentration moyenne de chl *a* était de 5,11 ( $\pm 5,82$ )  $\mu\text{g.l}^{-1}$ , sachant que la distribution des données est fortement asymétrique avec des valeurs élevées uniquement au printemps. Ainsi, la biomasse phytoplanctonique peut être considérée comme importante pour des valeurs de concentration en chl *a* supérieures à 30  $\mu\text{g.l}^{-1}$  (comme en 1989, 1993, 1995, 1996, 1999, 2001, 2008, 2009, 2010), d'ampleur moyenne (maximum de l'ordre de 25  $\mu\text{g.l}^{-1}$  comme de 1990 à 1992, en 1994, 1998, 2000, 2002, 2007, 2011) voire faible (maximum inférieur à 20  $\mu\text{g.l}^{-1}$  comme c'est le cas depuis 2012, ANNEXE B-8).

Lors du cycle de surveillance de 2020 et par comparaison aux statistiques calculées pour la période 1989-2019, on note que la concentration en chl *a* a été dans la moyenne au début du printemps (mois de mars), qui est la période de développement de la biomasse phytoplanctonique, mais a rapidement diminué pour atteindre des valeurs bien inférieures à la moyenne, voir inférieures au premier quartile, jusqu'à la fin de l'été (Figure B-25-C). Au cours du reste de l'année les concentrations ont été encore particulièrement faibles. Lors de ce cycle de surveillance, la concentration la plus importante a été observée le 26 mars avec 19,30  $\mu\text{g.l}^{-1}$  (ANNEXE B-8). Ainsi le cycle de développement de la biomasse phytoplanctonique de l'année 2020 est marqué par des valeurs très faibles avec toutefois un premier pic de biomasse printanier dans la moyenne des valeurs observées sur la période 1989-2019, le deuxième pic de biomasse usuellement observé au cours de l'été est ici quasiment inexistant (autour de 2  $\mu\text{g.l}^{-1}$  aux mois de juin-juillet). Dans la même gamme de concentration très faible pour la zone géographique, un « pic » de concentration a été observé en septembre autour de 3  $\mu\text{g.l}^{-1}$ .



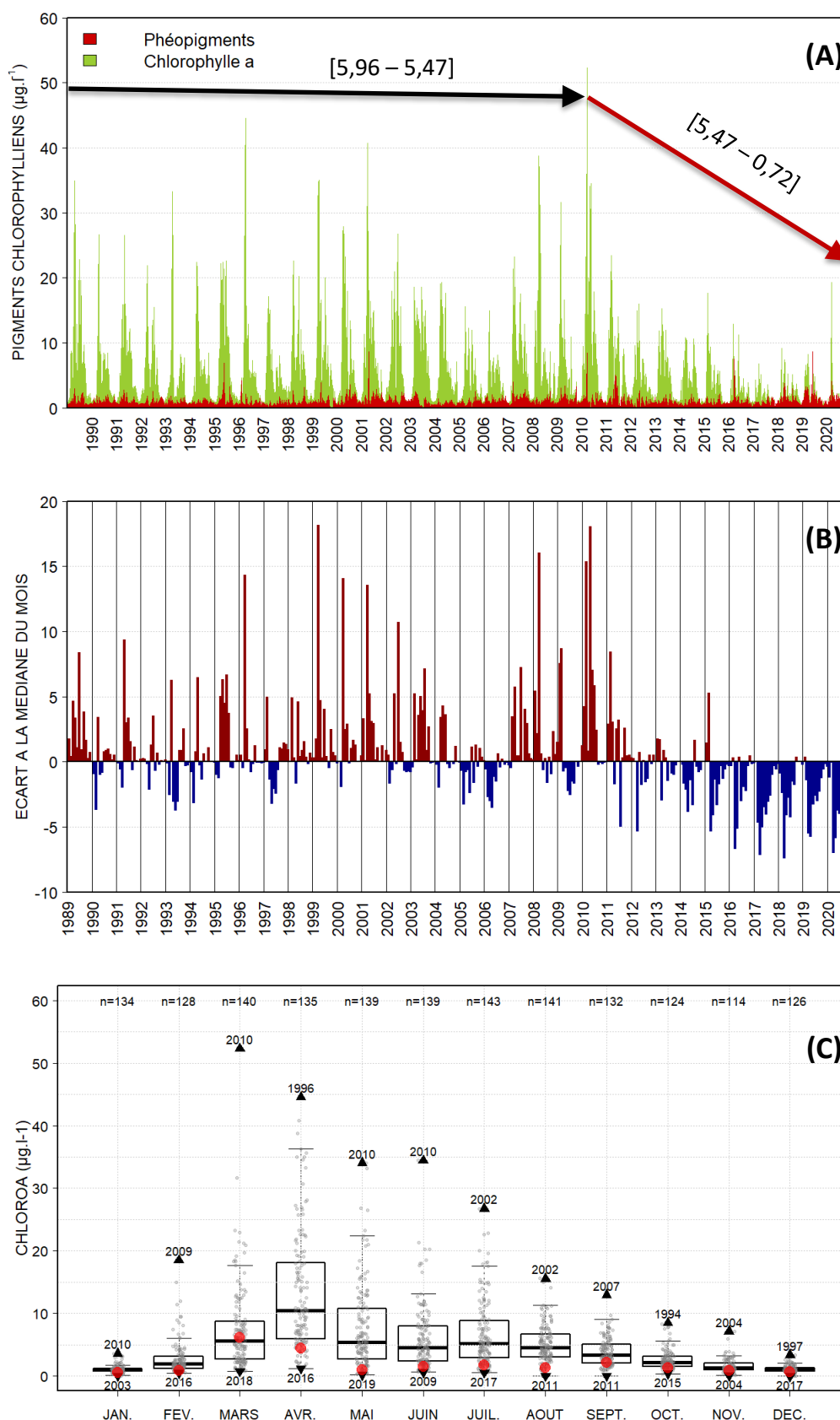


Figure B-25 : (A) Concentration en chlorophylle *a* au canal de prise de 1989 à 2020, les flèches représentent les tendances temporelles significatives (noire = aucune ; verte = positive ; rouge = négative) identifiées grâce à une décomposition de la série par une approche loess (entre crochets = gammes de valeurs des points de la courbe lissée, pour les tendances 1989-2010 et 2010-2020) ; (B) anomalies des concentrations par rapport à la moyenne mensuelle 1989-2019 ; (C) évolution des moyennes mensuelles des concentrations au cours de l'année (points rouges = données 2020 hebdomadaires), mis en perspective de toutes les mesures réalisées depuis le début de la surveillance écologique du CNPE (voir Figure B-24 pour détail des boxplots)

Comme de 2012 à 2019, l'année 2020 présentait exclusivement des anomalies négatives au regard de la moyenne calculée pour la période 1989-2019 (Figure B-25-B). Ceci a également été noté en 2005 et en 2006. Ce phénomène est associé à une forte tendance significative à la diminution des concentrations en chl *a* observée depuis 2011 (Figure B-25-A).

Le pourcentage de chlorophylle active (ANNEXE B-8) était compris entre 39,8 % en décembre et 96 % en mars, avec des valeurs importantes (supérieures à 60 %) en début de printemps et au début de l'automne, et entre 40 et 55 % le reste de l'année. Le phytoplancton échantillonné au point *Prise* présente ainsi un potentiel plutôt moyen d'activité photosynthétique qui peut être modulé par les conditions environnementales (notamment via la disponibilité de la lumière et de nutriments, l'hydrodynamisme).

### B.2.3.2 POPULATIONS PHYTOPLANCTONIQUES

#### Principe de l'indice de diversité de Shannon

La diversité des éléments d'une communauté est une « qualité » qui s'impose d'emblée à l'analyse. En fait, la notion recouvre deux aspects :

- le nombre de catégories d'éléments : nombre de taxons distincts ; on dénombre couramment les espèces (on parlera alors de diversité spécifique), dans d'autres cas les genres (diversité générique), etc.
- la régularité : façon plus ou moins égale ou inégale selon laquelle les individus, pour un nombre de catégories donné (par exemple espèces), se répartissent entre celles-ci.

La seconde notion est plus élaborée que le simple « nombre d'espèces ». Elle correspond cependant à l'intuition courante : si, parmi les espèces dénombrées, l'une d'entre elles (ou un très petit nombre) représente la plus grande partie des individus recensés, les autres étant beaucoup plus rares, on tend à dire que la communauté est « peu diversifiée ». Si au contraire on rencontre un grand nombre d'espèces moyennement abondantes, on tend à qualifier la communauté de « très diversifiée ».

L'indice de diversité de Shannon (1948), exprimé en bits par individu, est calculé à partir d'un logarithme de base 2 selon la formule suivante :

$$H' = - \sum \left( \frac{n_i}{N} \times \log_2 \frac{n_i}{N} \right)$$

avec  $n_i$  l'abondance du taxon  $i$  et  $N$  l'abondance totale à la station considérée  $N$ .

Les valeurs de  $H'$  sont interprétées selon le Tableau B-5, d'après les limites fixées par Vincent *et al.* (2002) dans le cadre de la DCE (Directive Cadre sur l'Eau) pour les zones côtières. Cet indice de diversité donne une information synthétique sur la richesse spécifique et l'équilibre du peuplement considéré. Toutefois, il dépend à la fois du nombre d'espèces et de leurs abondances relatives, donc une faible valeur peut traduire deux situations différentes :

- quand le nombre d'espèces est faible,
- quand le nombre d'espèces est élevé, mais quelques espèces dominant.

Tableau B-5 : Interprétation des valeurs de  $H'$  (bits.ind.<sup>-1</sup>)

Valeur de $H'$	Interprétation
[0-1[	Peuplement très peu diversifié
[1-2[	Peuplement peu diversifié
[2-3[	Peuplement diversifié
[3-4[	Peuplement très diversifié
[4- +∞[	Peuplement extrêmement diversifié

### Interprétation des figures

Pour la **biomasse**, la concentration de chl *a* sur les cinq dernières années est représentée avec des points bleus pour l'année en cours et des points gris pour les quatre années précédentes (Figure B-27).

Pour l'**abondance**, la somme des cellules phytoplanctoniques dénombrées dans une flore totale sur les cinq dernières années, est représentée avec des points de couleurs pour l'année en cours et des points gris pour les quatre années précédentes (Figure B-27 et Figure B-28).

Pour la **composition**, les taxons dominants sont divisés en trois groupes (bacillariophycées, dinophycées, et autres). Pour classer les cinq taxons dominants par groupe, on calcule la proportion de chaque taxon dans l'échantillon par rapport à l'abondance totale, puis on effectue la somme des proportions par taxon sur l'ensemble des échantillons. La concentration maximale par taxon et par trimestre est présentée sur le graphe (Figure B-27).

### Bilan des résultats obtenus au point Prise

Entre 2015 et 2020, l'abondance phytoplanctonique totale par prélèvement a fluctué entre un minimum de 10 200 et un maximum de près de  $22 \cdot 10^6$  cell.l<sup>-1</sup> (Figure B-27 et ANNEXE B-9). Le cycle saisonnier de fluctuation de l'abondance phytoplanctonique était très marqué, avec des valeurs fortes entre avril et mai, période dite productive. La communauté phytoplanctonique est généralement dominée par les bacillariophycées (diatomées), sauf lors de la prolifération de la prymnésiofycée *Phaeocystis globosa* (Figure B-26) entre mars et mai selon les années. Les concentrations maximales de l'ordre de plusieurs millions de cellules par litres étaient liées au développement massif printanier de cette prymnésiofycée.

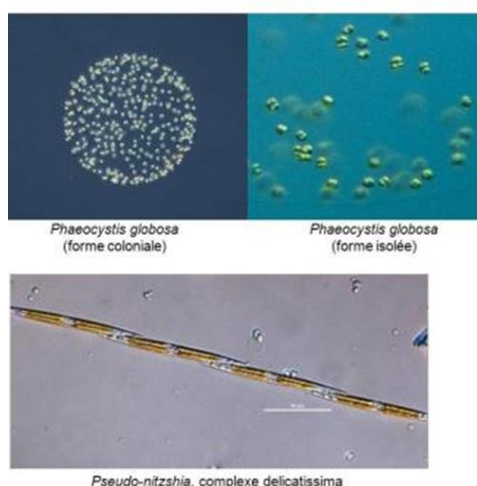


Figure B-26 : Observation de la prymnésiofycée *Phaeocystis globosa* et de la bacillariophycée *Pseudo-Nitzschia*, complexe *delicatissima* en microscopie optique. (sources : <http://www.gtresearchnews.gatech.edu>, <http://planktonnet.awi.de>, <http://www.marinespecies.org>)

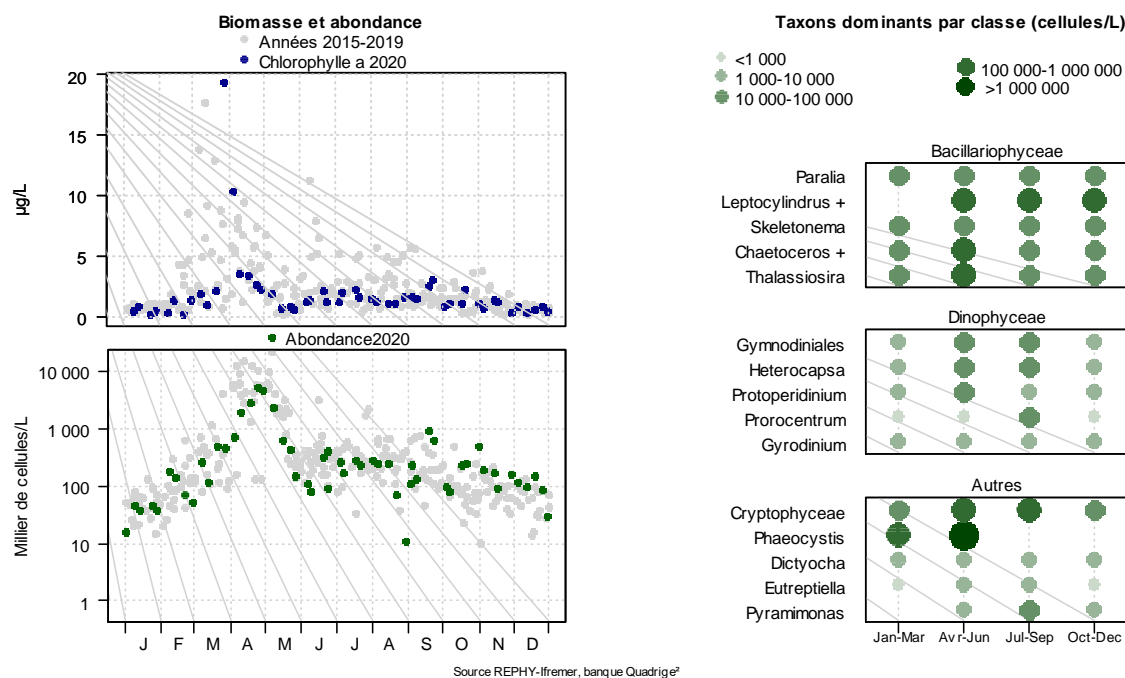


Figure B-27 : Évolution de la biomasse, l'abondance totale et la composition phytoplanktonique entre 2015 et 2020 et classement des taxons dominants par trimestre au point *Prise* pour l'année 2020

Les taxons dominants, pour les trois groupes (bacillariophycées, dinophycées et autres) et leur présence (qualitative ou quantitative) par trimestre, ont été définis au point *Prise* et pour l'année 2019 (Figure B-27).

Les abondances pour la période 2015-2020 des principaux genres contenant des espèces potentiellement productrices de phycotoxines sont présentées pour le point *Prise* (Figure B-28). La présence d'*Alexandrium* spp. est peu commune, mais a toutefois été fréquemment observée au cours de l'année 2020 à de très faibles abondances. La présence de *Dinophysis* spp. est plutôt exceptionnelle au point *Prise*, et n'a pas été observée en 2020. Le genre *Pseudo-nitzschia* complexe *delicatissima* (Figure B-26) est le groupe le plus régulièrement échantillonné. Par son abondance, ce genre peut contribuer à la chute de l'indice de Shannon. Malgré la présence en concentration assez élevée de ce groupe (dépassant le seuil d'alerte de 300 000 cellules par litre en avril), il faut noter que les résultats du réseau REPHY (Réseau National Phytoplancton et Phycotoxines) de l'Ifremer<sup>13</sup>, ont permis de conclure à l'absence de toxines en concentrations supérieures aux seuils réglementaires dans cette zone. A l'échelle des trimestres de l'année 2020, le genre *Pseudo-Nitzschia* complexe *delicatissima* n'a pas fait partie des genres dominants parmi les Bacillariophyceae, ce qui était pourtant le cas au cours des années précédentes.

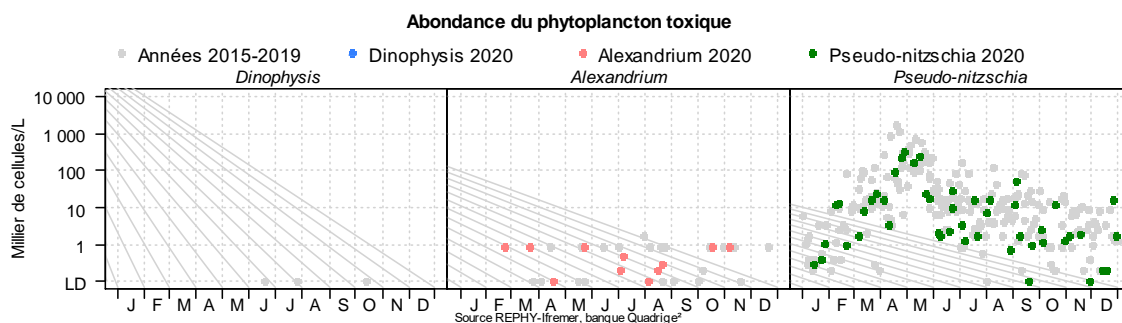


Figure B-28 : Abondances des principaux genres de taxons potentiellement producteurs de phycotoxines au point *Prise* entre 2015-2019 (points gris) et pour l'année 2020 (points de couleurs)

<sup>13</sup> [http://envlit.ifremer.fr/surveillance/phytoplancton\\_phycotoxines/bilan](http://envlit.ifremer.fr/surveillance/phytoplancton_phycotoxines/bilan)

À l'échelle pluriannuelle (2015-2020), il apparaît une très légère augmentation de l'indice de Shannon. Les valeurs étaient comprises entre 0,08 et 4,37 bits.ind<sup>-1</sup> (ANNEXE B-10-A). L'étude de l'évolution annuelle de l'indice de Shannon sur la période 2015-2020 a permis de mettre en évidence un schéma général avec une chute importante de l'indice observé en avril et mai (ANNEXE B-10-C). Cette chute est principalement liée à la prolifération de *Phaeocystis globosa*. Les indices étant généralement plus importants en début d'année et en fin d'année, la communauté phytoplanctonique étant alors bien diversifiée.

Au cours de la période de surveillance de 2020, l'indice de Shannon a fluctué entre 0,45 et 3,94 bits.ind<sup>-1</sup> (Figure B-29 et ANNEXE B-10-B). Le schéma de variation était comparable à celui des périodes de surveillance précédentes avec cependant une forte variabilité de l'indice entre la fin de l'automne et le début de l'hiver.

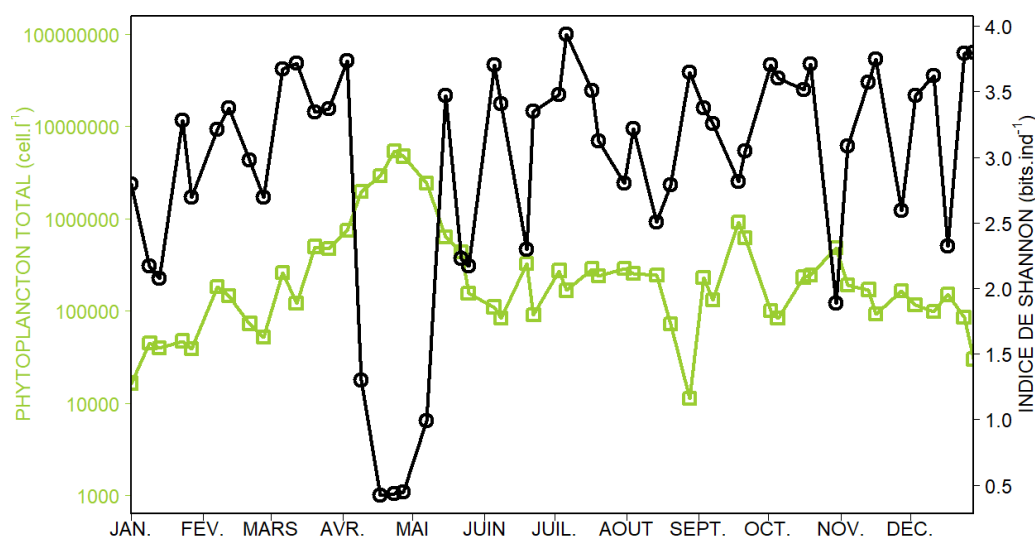


Figure B-29 : Évolution hebdomadaire de l'indice de Shannon (ligne noire) et de l'abondance phytoplanctonique totale (ligne verte) au canal de prise en 2020

Ainsi les périodes hivernale et automnale étaient largement dominées par les bacillariophycées, qui représentaient plus de 90 % du phytoplancton en hiver et plus de 60 % en automne (Figure B-30). Parmi les espèces de bacillariophycées remarquables par leur abondance pendant cette période, on peut noter *Paralia sulcata*, *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros* spp., *Thalassiosira* spp. ou *Leptocylindrus* spp.

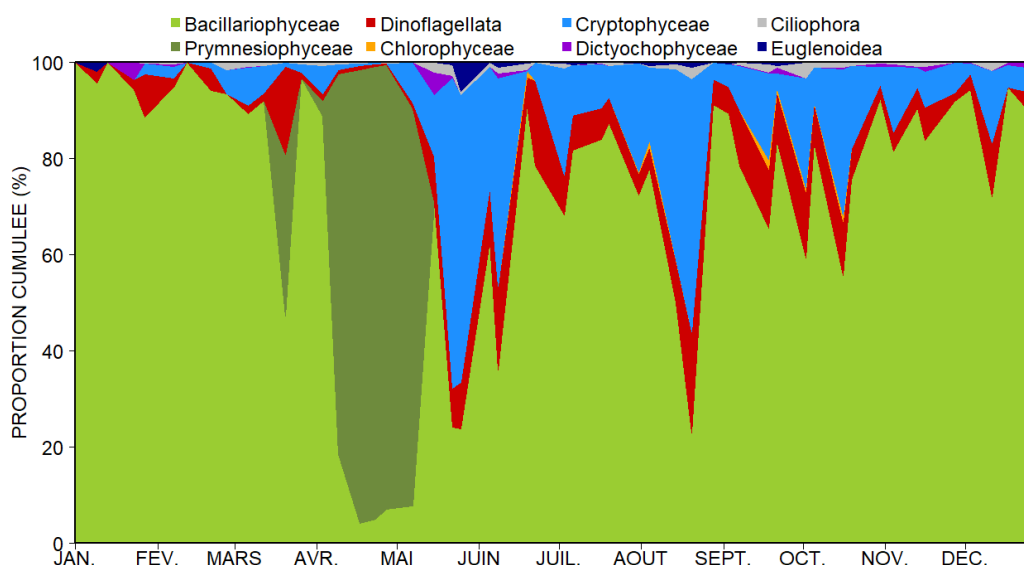


Figure B-30 : Evolution hebdomadaire des proportions cumulées des grands groupes phytoplanctoniques au canal de prise en 2020

Ensuite, le début du printemps a été marqué par la dominance de la prymnésiofycée *Phaeocystis globosa* de mi-mars à mi-mai, pouvant représenter plus de 95 % du phytoplancton (maximum de  $5,12 \cdot 10^6$  cell. $\cdot$ l $^{-1}$  fin avril). Le pic d'abondance était dans la moyenne basse des observations passées et aussi plus étendue dans le temps, puisque début mai les abondances étaient encore très importantes (Figure B-31). Cette période de maximum d'abondance de *Phaeocystis globosa* a également coïncidé cette année avec la période de maximum de la bacillariophycée *Pseudo-nitzschia*, complexe *delicatissima*, de mi-avril à mi-mai, dont le maximum annuel a été observé fin-avril ( $3,25 \cdot 10^6$  cell. $\cdot$ l $^{-1}$ ).

Evolution de l'abondance de PHAEOCYSTIS à GRAV. de 1991 à 2020

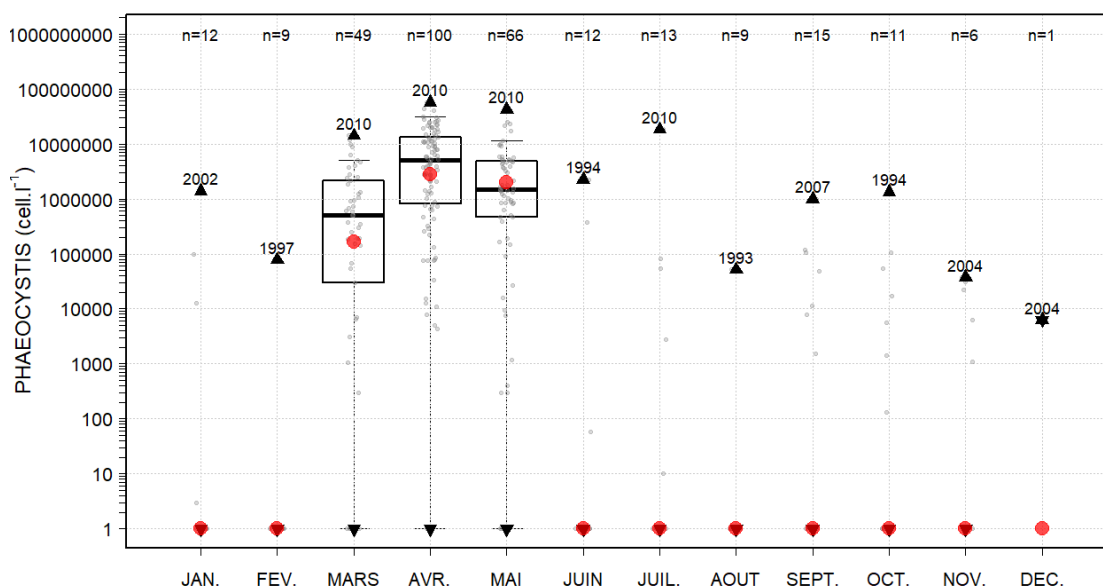


Figure B-31 : Evolution mensuelles des abondances de *Phaeocystis globosa* au canal de prise au cours de l'année (points = données 2020 hebdomadaires), mis en perspective de toutes les mesures réalisées depuis le début de la surveillance écologique du CNPE (voir Figure B-24 pour détail des boxplots)

Rappelons que *Phaeocystis globosa* présente un cycle de vie complexe, polymorphe dont le développement passe de cellules isolées à la formation de colonies, dont la dégradation (par vieillissement ou par action physique du vent ou de la marée) conduit à la formation d'une mousse abondante et nauséabonde. Ce taxon est reconnu comme à l'origine de problème d'eutrophisation du type *Harmful Algal Bloom - High Biomass*. En réponse à des apports importants d'éléments nutritifs (nitrate en particulier) l'excès de biomasse produit dans l'écosystème peut conduire à des dysfonctionnements des compartiments pélagiques et/ou benthiques (hypo~ ou anoxie, mortalités de la faune benthique, ...). Afin de mieux appréhender les conséquences d'une telle prolifération, il faut savoir que le groupe Eutrophisation de la convention d'Oslo et de Paris (OSPAR) pour la protection de l'Atlantique nord-est estime que l'abondance de *Phaeocystis* devient néfaste pour l'intégrité de l'écosystème au-delà d'une concentration de  $10^6$  cell. $\cdot$ l $^{-1}$ . Plus récemment toutefois, Lancelot *et al.* (2009) ont défini ce seuil comme étant de  $25 \cdot 10^6$  cell. $\cdot$ l $^{-1}$  pour les eaux côtières belges. Au cours de la période estivale, les bacillariophycées (parmi les plus représentées : *Chaetoceros* spp., *Guinardia delicatula*, *Thalassiosira* spp., *Skeletonema costatum*, *Pseudo-Nitzschia* complexe *seriata*, *Paralia sulcata*, ou *Leptocylindrus* spp.) étaient à nouveau dominantes mais étaient souvent accompagnées de cryptophycées qui ont été ponctuellement dominantes, et dans une moindre mesure de dinoflagellés (*Prorocentrum triestinum*, *Gymnodinium*, *Heterocapsa*).

Ces résultats sont conformes à ce qui est dénombré dans le cadre de cette surveillance et sont représentatifs de ce qui est observé sur des sites proches (réseaux REPHY/SRN – radiale de Dunkerque, cf. Chapitre B.5).

## B.2.4 SURVEILLANCE DU MILIEU RECEPTEUR

### B.2.4.1 PIGMENTS CHLOROPHYLLIENS

Lors de la campagne annuelle du 22 juin 2020, et contrairement à la seconde campagne de septembre, le schéma d'évolution de la concentration en chlorophylle *a* n'était pas conforme aux observations habituelles (Figure B-32). En effet, ce schéma inhabituel, également observé en 2009 et 2011, montrent une concentration plus élevée au point *Rejet* ( $3,40 \mu\text{g.l}^{-1}$ ) par rapport aux points *Prise* ( $1,49 \mu\text{g.l}^{-1}$ ), *Contrôle* ( $1,18 \mu\text{g.l}^{-1}$ ) et *Référence* ( $2,04 \mu\text{g.l}^{-1}$ ). La forte turbidité mesurée au point *Rejet* (10 fois plus importante qu'au point *Prise*) à cette date pourrait expliquer ce schéma.

Le 02 septembre 2020, le schéma était plus classique, avec une concentration en chlorophylle *a* au point *Rejet* inférieure à celle du point *Prise* ( $\Delta = -0,50 \mu\text{g.l}^{-1}$ ). Cependant, pour les deux campagnes, les concentrations de surface aux points *Contrôle* et *Référence* étaient conformes à l'existence d'un gradient décroissant de la côte vers le large.

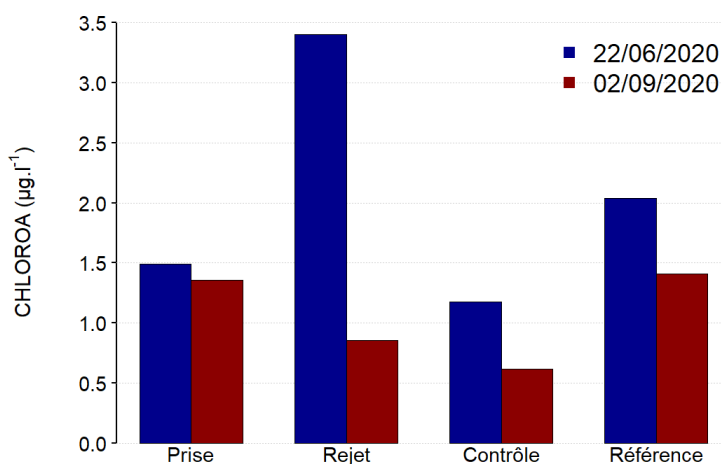


Figure B-32 : Évolution spatiale de la biomasse chlorophyllienne lors des campagnes pélagiques de 2020

Le pourcentage de chlorophylle active (phytoplancton non dégradé) a varié de 41,05 % (*Référence*) à 56,46 % (*Contrôle*) en juin, et de 41,61 % (*Contrôle*) à 54,44 % (*Référence*) en septembre (Figure B-33 et ANNEXE B-11). Lors de la campagne du 22 juin 2020, il était plus élevé au point *Rejet* et *Contrôle* et plus faible aux points *Prise* et *Référence*, ce qui est à l'opposé de ce qui est observé habituellement (une plus forte proportion de phytoplancton dégradé par l'effet conjugué de l'impact thermique et de la chloration lors du transit dans la centrale).

Le 02 septembre 2020, l'évolution de ce pourcentage était plus conforme au schéma habituel, reflétant à la fois l'impact potentiel du transit dans le CNPE sur le phytoplancton et l'hétérogénéité de la distribution spatiale du phytoplancton dans l'eau.



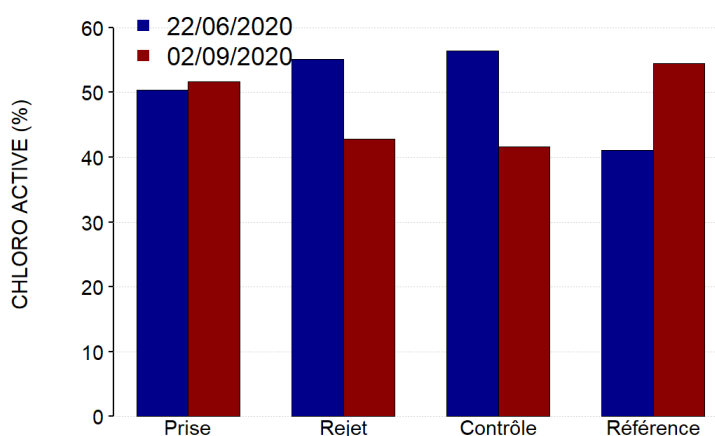


Figure B-33 : Évolution spatiale de la chlorophylle active lors des campagnes pélagiques de 2020

### B.2.4.2 PHYTOPLANCTON

Les échantillons prélevés lors des campagnes de juin et septembre 2020 contenaient, respectivement, entre 17 et 36 taxons et entre 10 et 33 taxons (Tableau B-6). On peut noter une forte baisse de la diversité au niveau du point *Rejet* lors des deux campagnes, ainsi que la faible diversité de la communauté phytoplanctonique présente au point *Contrôle*. Les différences observées entre les deux périodes de surveillance sont davantage liées à la variabilité inter-annuelle de la dynamique phytoplanctonique qu'à un effet du fonctionnement du CNPE.

Tableau B-6 : Évolution spatiale du nombre total d'espèces phytoplanctoniques en surface lors des campagnes pélagiques du 22 juin et du 02 septembre 2020

Campagne	<i>Prise</i>	<i>Rejet</i>	<i>Contrôle</i>	<i>Référence</i>
22/06/2020	36	19	17	27
02/09/2020	22	10	19	33

L'abondance du phytoplancton était beaucoup plus faible (i) aux points *Rejet* et *Contrôle* par rapport aux autres points quelle que soit la campagne, (ii) en septembre par rapport à juin quel que soit le point (Figure B-34). Le point *Référence*, situé hors influence de la centrale, présentait les abondances les plus élevées, principalement dominées par les diatomées. Lors des deux campagnes, les abondances au point *Prise* étaient intermédiaires entre celles des points *Rejet* et *Référence*, ce qui tendrait à montrer l'effet de dégradation sur le phytoplancton lors du passage dans la centrale. Cependant, même si elles sont restées plus faibles qu'habituellement, les abondances au point *Contrôle* étaient intermédiaires entre celles des points *Rejet* et *Référence*, ce qui tendrait à montrer que cet effet de dégradation se dissipe dès que l'on s'éloigne de l'embouchure du rejet.

Ces constatations s'observent également sur la composition phytoplanctonique entre les différents points lors des deux campagnes. Les abondances des bacillariophycées, dinoflagellés et cryptophycées étaient plus faibles au point *Rejet* (à l'exception des dinoflagellés au point *Prise* lors de la campagne du 02 septembre 2020). Concernant les dinoflagellés et les cryptophycées en juin 2020, ceux-ci étaient toujours plus abondants au point *Prise* avec un déficit d'abondance assez important au point *Rejet*.



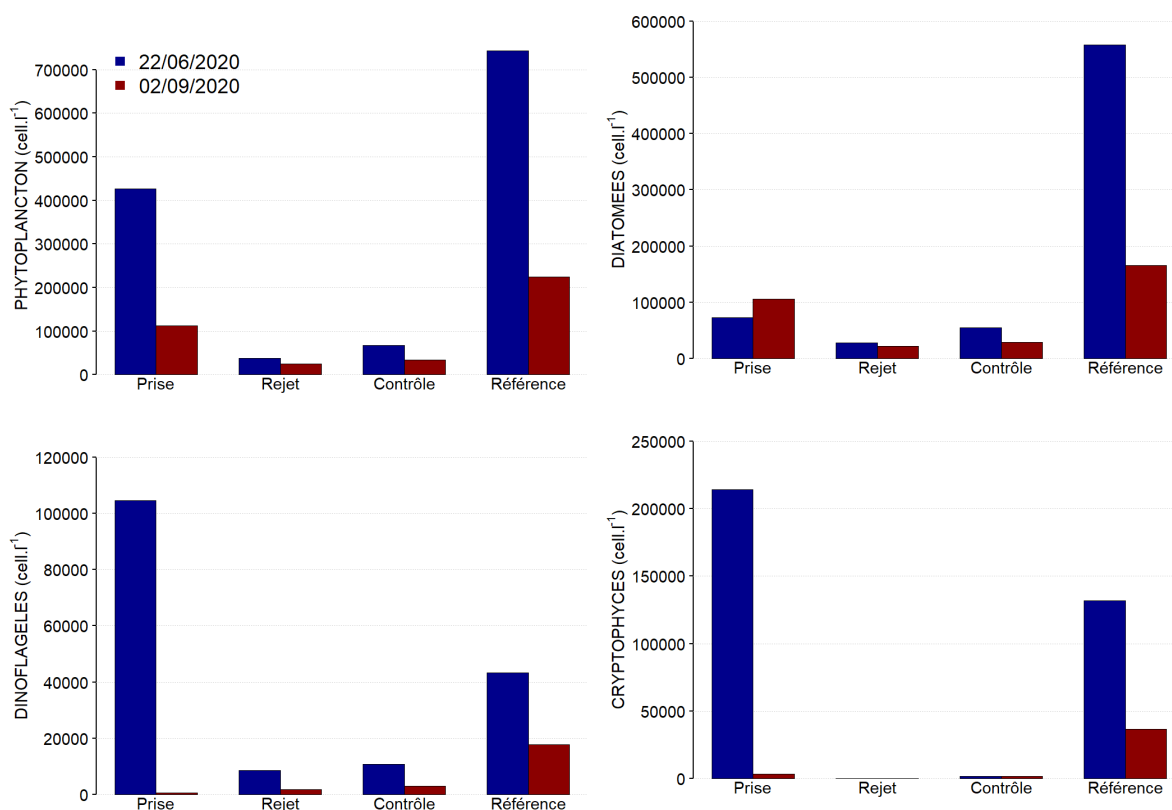


Figure B-34 : Répartition par classe taxinomique des abondances phytoplanctoniques observées lors des campagnes pélagiques du 22 juin et 02 septembre 2020

### B.2.5 DYNAMIQUE DU PHYTOPLANCTON A MESO-ECHELLE

Afin d'appréhender la dynamique des efflorescences phytoplanctoniques à une échelle moins régionale et ainsi pouvoir situer les phénomènes observés lors de ce cycle de surveillance à l'échelle de fonctionnement de l'écosystème Manche – Mer du Nord, un certain nombre d'images satellites ont été sélectionnées (Figure B-35). Ces images correspondent à une représentation de l'estimation de la concentration en chl *a* à partir de paramètres optiques acquis par le capteur MODIS (Gohin *et al.*, 2002 ; Gohin *et al.*, 2008).

La dynamique spatiale observée en 2020 était relativement classique, avec une initiation du développement d'une forte biomasse phytoplanctonique en baie sud de la Mer du Nord et dans la partie orientale des côtes anglaises en fin d'hiver-début de printemps. Le développement phytoplanctonique, maximum en avril et mai, a été assez marqué en avril avec un développement assez important depuis la Mer du Nord jusqu'aux côtes normandes, mais s'est peu étendu en Manche Orientale. En été, les concentrations sont restées très faibles en 2020 près des côtes, mais se sont légèrement développées au niveau du panache de l'estuaire de la Seine et de la Somme. Cette plus forte production à proximité des fleuves, mais plus tardive, s'explique par une limitation par la lumière en début de saison (en raison de fortes turbidités) bien que les nutriments soient disponibles.

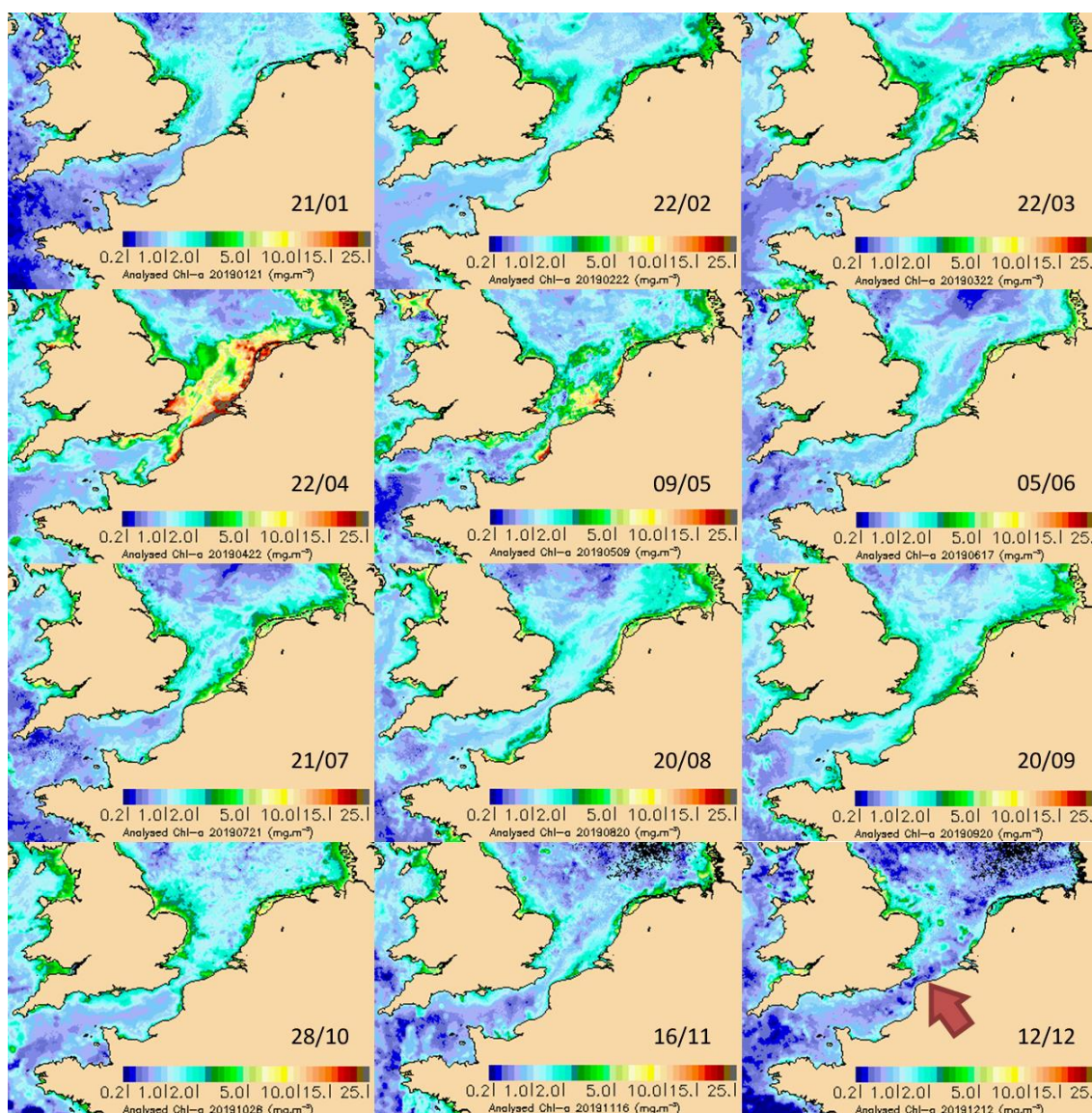


Figure B-35 : Illustration à méso-échelle de la dynamique de développement phytoplanctonique en 2020 via l'estimation de la concentration en chlorophylle *a* par le capteur MODIS (algorithme OC5 IFR) (flèche rouge, carte du 15/12/2020 : emplacement du CNPE) (source : <http://cersat.ifremer.fr>)

## B.2.6 CONCLUSIONS

Le suivi hebdomadaire mis en œuvre en 2020 au point *Prise*, a mis en évidence une évolution hebdomadaire de la biomasse chlorophyllienne et de l'abondance phytoplanctonique légèrement différente par rapport à la connaissance acquise sur le site depuis la mise en place du suivi en 1989. **Les résultats ont montré un cycle saisonnier avec des valeurs printanières et estivales de chlorophylle *a* inférieures aux moyennes observées lors des dernières années** (la moyenne annuelle a été parmi les plus faibles depuis ces six dernières années). Les abondances de phytoplancton se sont globalement montrées dans la moyenne de ce qui est observé depuis 1991, néanmoins le pourcentage de chlorophylle active s'est montré plutôt faible cette année (< 85 % hormis le 26 mars), ce qui pourrait expliquer la faible concentration en chlorophylle *a* malgré la forte concentration en cellule phytoplanctonique. Cette année encore l'efflorescence printanière était donc plutôt faible (concentrations maximales en chl *a* < 20 µg.l<sup>-1</sup>), ce que confirme les anomalies négatives avec la médiane des valeurs observées sur la période 1989-2020, comme c'est le cas depuis 2011. **Cette tendance n'est pas isolée à notre zone d'étude et cela s'observe depuis une dizaine d'années dans l'ensemble de la Manche (Gohin *et al.*, 2019).**

Cette baisse de la biomasse chlorophyllienne pourrait s'expliquer par une consommation rapide du stock d'azote inorganique dissous (ammonium et nitrate), dont les concentrations étaient modérées en février et mars (notamment en ammonium) par rapport aux autres années (Figure B-9) et qui, associées à la pression de prédation du zooplancton, n'ont sans doute pas permis de soutenir de manière plus importante la production des diatomées.

Malgré des biomasses chlorophylliennes très faibles, **la succession des taxons était plutôt conforme à celle observée habituellement en Manche orientale et baie sud de la mer du Nord** avec un développement des diatomées suivi de l'efflorescence de la prymnésiophycée *Phaeocystis globosa* de mi-mars à mi-mai, d'intensité moyenne cette année.

La présence de *Pseudo-nitzschia* complexe *delicatissima*, groupe potentiellement responsable de la production de phycotoxines, était concomitante à celle de *Phaeocystis globosa* avec des concentrations assez élevées et dépassant ponctuellement le seuil d'alerte de 300 000 cellules par litre. Il faut cependant noter que les résultats acquis dans le cadre du réseau phytoplancton et phycotoxines (REPHY) mis en œuvre par l'Ifremer sur le littoral du Nord ont permis de conclure à l'absence de toxines en concentrations supérieures aux seuils réglementaires dans les coquillages.

Les résultats acquis lors des deux campagnes pélagiques sont destinés à mettre en évidence les variations phytoplanctoniques spatiales sur le site du CNPE. Contrairement au schéma habituel, observé lors de la campagne de septembre 2020, les résultats obtenus en juin 2020 ont montré que **la concentration en chlorophylle *a*, ainsi que le pourcentage de chlorophylle active, n'étaient pas plus faible au point Rejet par rapport aux points Prise et Référence, contrairement à la diversité spécifique et à l'abondance phytoplanctonique**. En effet, la hausse de la température, la chloration et les effets mécaniques lors du transit du phytoplancton dans la centrale qui, habituellement, portent atteinte à la structure des cellules phytoplanctoniques (mortalité, rupture des colonies, cassure des appendices), auraient dû avoir un impact sur la concentration en chlorophylle *a*, comme cela est habituellement observé sur ce site. Cette originalité du phénomène ne trouve pas d'explication scientifique au regard des données disponibles.

Pour les deux campagnes pélagiques, **l'impact sur la diversité et l'abondance cellulaire est resté plus étendu spatialement que ce qui est observé habituellement**. En effet, les résultats au point *Contrôle* sont habituellement du même ordre de grandeur qu'aux points *Prise* et *Référence*, ce qui n'était pas le cas en 2020. Cet impact pourrait avoir des conséquences plus importantes cette année sur la dynamique des communautés phytoplanctoniques à l'échelle du fonctionnement de l'écosystème. **Toutefois, la diversité et les abondances observées aux points Rejet, Contrôle et Référence présentaient une variabilité spatiale naturelle du milieu marin et étaient conformes à l'existence d'un gradient croissant de la côte vers le large**, reflétant à la fois l'impact potentiel du transit dans le CNPE sur le phytoplancton et l'hétérogénéité de la distribution spatiale du phytoplancton dans l'eau.

Les données phytoplanctoniques acquises maintenant depuis plus de trente ans sur le site du CNPE de Gravelines constituent l'une des plus longues séries au niveau national français et sont affichées comme une série de référence au niveau européen (groupe de travail Écologie Microbienne et Phytoplanctonique du Conseil International pour l'Exploitation de la Mer – CIEM/ICES ; <http://www.wgpmc.net/>).

**Globalement, le cycle saisonnier du phytoplancton ainsi que la structure des communautés phytoplanctoniques observés en 2020 ne présentent pas de caractéristiques pouvant être reliée à l'activité du CNPE de Gravelines.**



# MICROBIOLOGIE

## **Rédaction/mise en page**

Elvire Antajan (LER-AR)

Dominique Hervio-Heath (SG2M-LSEM)

Guillaume Wacquet (LER-BL)

## **Prélèvements et mesures *in situ***

Flandres Analyses

## **Analyses/Traitement des données**

LICAAL

IFREMER (LER-BN, LER-AR)

## **Prestataires extérieurs**

LICAAL

## **Expertise thématique**

Dominique Hervio-Heath (SG2M-LSEM)

Elvire Antajan (LER-AR)





## B.3 MICROBIOLOGIE

### B.3.1 STRATEGIE DE SURVEILLANCE

#### B.3.1.1 HISTORIQUE DES SUIVIS

La surveillance du compartiment microbiologique a été mise en œuvre en 1978 depuis la digue de l'Avant-Port ouest de Dunkerque. Elle reposait sur le dénombrement hebdomadaire des germes totaux et des germes aérobies revivifiables, l'identification et le dénombrement des vibrions halophiles, et la détermination des contaminations fécales par le suivi d'*Escherichia coli*. Après la mise en service des six tranches de la centrale, en 1986, les prélèvements ont été réalisés hebdomadairement à la prise d'eau de la centrale et au rejet ainsi que lors des campagnes pélagiques dans le milieu récepteur des rejets du CNPE.

Depuis 1989, les études microbiologiques portent uniquement sur les vibrions halophiles, dont les études précédentes ont montré qu'ils étaient particulièrement sensibles aux modifications du milieu, engendrées par le fonctionnement de la centrale (réchauffement des eaux, chloration, etc.) et par d'importantes activités aquacoles sur le site même du rejet (cf. Figure A-1). Les mesures ne concernent que les vibrions cultivables à 37 °C. Six des 129 espèces de *Vibrio* recensées par le site *List of Prokaryotic names with Standing in Nomenclature* (LPSN 2020) sont susceptibles de provoquer des maladies chez l'homme : *Vibrio alginolyticus*, *V. cholerae*, *V. fluvialis*, *V. mimicus*, *V. parahaemolyticus* et *V. vulnificus*. Quatre autres n'ont été isolées que très ponctuellement lors d'infections, ne permettant pas d'établir définitivement leur caractère pathogène : *V. carchariae*, *V. cincinnatiensis*, *V. furnissii*, *V. metschnikovii* (Quilici et Robert-Pillot, 2011). L'infection peut-être causée par contact cutané d'une plaie avec l'eau de mer ou des produits contaminés, ou ingestion de produits de la mer et provoquer des gastro-entérites, dermatites, otites, voire des cas de septicémies. Dans le milieu marin, l'abondance des vibrions varie avec la température de l'eau : peu nombreux en hiver, leur maximum est observé à la fin de l'été. À Gravelines, le transit de l'eau de mer dans la centrale (et les installations aquacoles) entraîne une importante multiplication des vibrions dans le canal de rejet qui amplifie le cycle naturel d'abondance de ces bactéries.

#### B.3.1.2 SUIVI ACTUEL

Les six espèces de vibrions halophiles, sont suivies hebdomadairement sur les points *Prise* et *Rejet*, en même temps que les suivis hydrologiques, et lors des deux campagnes pélagiques annuelles comprenant deux points situés en mer, l'un dans le panache de rejet de la centrale (point *Contrôle*) et l'autre au large hors influence de la centrale (point *Référence*) (cf. Figure 0-1 et Tableau 0-3). Lors de ce cycle de surveillance les campagnes pélagiques ont eu lieu le 22 juin et le 02 septembre 2020.

### B.3.2 PARAMETRES / METHODES

#### B.3.2.1 PRELEVEMENTS

Les prélèvements d'eau sont réalisés en subsurface une à deux heures avant la pleine mer, à l'aide d'un seau pour les points situés à terre (*Prise* et *Rejet*), d'une bouteille Niskin pour les points situés en mer (*Contrôle* et *Référence*). A chaque point de prélèvement, deux litres d'eau sont collectés dans des flacons stériles contenant du thiosulfate de sodium pour neutraliser les oxydants résiduels. Les échantillons sont ensuite transférés au frais ( $\leq 10^{\circ}\text{C}$ ) et à l'obscurité pendant leur transport jusqu'au laboratoire d'analyse LICAAL, dans un délai de 6 heures après le prélèvement (exceptionnellement jusqu'à 12 heures si l'échantillon est bien conservé au frais et à l'obscurité pendant tout ce temps).

### B.3.2.2 DENOMBREMENT ET IDENTIFICATION DES *VIBRIO* CULTIVABLES A 37°C

La méthode d'analyse maintenant appliquée sur l'ensemble des sites en bord de mer depuis 2008 est celle décrite par Tournon & Delesmont (2007), elle permet l'identification des six espèces pathogènes pour l'homme. Les prélèvements d'eau (deux litres par point de prélèvement) sont poolés et sont homogénéisés par agitation des flacons avant d'être filtrés sur une membrane de porosité 0,45 µm. Pour chaque échantillon, plusieurs filtrations sont réalisées avec des volumes variables suivant la saison (eaux fortement chargées en *Vibrio* ou en matières en suspension) et l'historique du point de prélèvement (concentration en *Vibrio*), ils varient de 0,01 ml à 1000 ml. Chaque filtre est ensuite déposé sur une gélose sélective TCBS (Thiosulfate-Citrate-sels Biliaires-Saccharose DIFCO) et incubé pendant 24 heures à 36 ± 2°C.

Les colonies caractéristiques cultivant sur gélose TCBS sont ensuite dénombrées par types morphologiques et deux souches bactériennes de chaque type morphologique sont soumises à des tests biochimiques pour identification (gram, oxydase, halophilie, galerie d'identification API20E ; Tournon & Delesmont, 2007). Depuis 2014, seules les identifications présentant un pourcentage d'identification ≥ 90 % sont prises en compte. En cas de doute entre plusieurs possibilités, des tests complémentaires sont réalisés pour les lever. S'il n'y a pas de tests déterminants entre plusieurs possibilités d'espèces de vibrions, la souche est classée en *Vibrio* spp. En cas de présence des espèces *V. parahaemolyticus* et *V. vulnificus*, les souches sont envoyées pour confirmation moléculaire d'identification et recherche éventuelle de pathogènes (recherche des principaux gènes de virulence) au laboratoire de référence de l'Ifremer à Brest. En cas de suspicion de *V. cholerae*, les souches sont envoyées pour des tests d'agglutinations (recherche des sérogroupes pathogènes O1 et O139) et la confirmation moléculaire d'identification au laboratoire de référence de l'Ifremer à Brest. Une modification dans l'interprétation des profils biochimiques utilisés pour affecter des noms d'espèces aux vibrions isolés est intervenue en 2006 suite à la parution d'un nouveau catalogue analytique API20E. L'utilisation de ce nouveau catalogue a surtout des incidences en ce qui concerne l'espèce *V. cholerae*. De nombreux germes auparavant classés *V. cholerae* sont maintenant considérés comme mal-discriminés entre *V. cholerae* et d'autres espèces ce qui a pour conséquence de diminuer le nombre de *V. cholerae* isolés sur le site. Ceci permet d'écarter du groupe *V. cholerae*, un certain nombre de souches de l'environnement très éloignées du véritable *V. cholerae* épidémique.

### B.3.2.3 CALCUL ET EXPRESSION DES RESULTATS

L'abondance totale en *Vibrio* spp. est calculée en Unité Formant Colonie par litre (UFC.l<sup>-1</sup>) selon la formule suivante :

$$[\text{Vibrio.l}^{-1}] \text{ en UFC.l}^{-1} = N \times 1000 \times 1/V \times 1/d$$

avec : **N** = nombre de colonies identifiées comme étant des *Vibrio*,

**1000** = nombre de millilitres de départ,

**V** = volume filtré en millilitres,

**d** = dilution effectuée si nécessaire avant filtration, sur les eaux présumées fortement chargées en *Vibrio* (1 mL dilué au dixième pour filtrer 10 mL) ou en matières en suspension.

La limite de détection pour cette méthode est de 1 UFC.l<sup>-1</sup>.

La limite de quantification est variable selon le volume d'échantillon analysé (Tableau B-7).

Tableau B-7 : Limite de quantification selon le volume d'échantillon analysé en millilitre

Volume d'échantillon analysé (ml)	1 000	100	10	1	0.1	0.01
Nombre de réplicats par volume analysé	/	/	5	5	10	10
Limite de quantification (LQ) en UFC.l <sup>-1</sup>	1	10	20	200	1 000	10 000

Lorsque les volumes analysés d'un échantillon conduisent tous aux dénombrements de 0 colonie *Vibrio* spp., on indique le nombre de colonies par 1000 ml qui aurait été rapporté s'il y avait eu 1



colonie sur les filtres du plus grand volume d'échantillon analysé. Par exemple, pour le cas où 5 réplicats de 10 ml sont analysés, la limite de quantification sera de :

$$1 \times 1000 \times 1/(10 \times 5) = 20 \text{ UFC.l}^{-1}$$

Le résultat sera retranscrit comme étant  $< 20 \text{ UFC.l}^{-1}$  dans les annexes et la base de données, si aucune colonie de *Vibrio* spp. n'est présente dans les 50 mL filtrés (5x10 mL). Toutefois, pour des besoins de représentation graphique et d'analyse statistique, lorsque le nombre de colonie est inférieur à la limite de quantification (LQ), la valeur a été remplacée par la valeur de la LQ divisée par deux.

### B.3.3 SURVEILLANCE AUX CANAUX DE PRISE ET DE REJET

#### B.3.3.1 ASPECT QUANTITATIF

Les concentrations hebdomadaires de vibrions dans les canaux de prise et de rejet ont suivi un cycle annuel habituel (Figure B-36 et ANNEXE B-12 et ANNEXE B-13), caractérisé par des minima en hiver ( $< 20 \text{ UFC.l}^{-1}$  au point *Prise* et  $< 100 \text{ UFC.l}^{-1}$  au point *Rejet* en février) et des maxima en été ( $320\,000 \text{ UFC.l}^{-1}$  au point *Prise* et  $11\,420\,000 \text{ UFC.l}^{-1}$  au point *Rejet* au mois d'août durant l'épisode caniculaire).

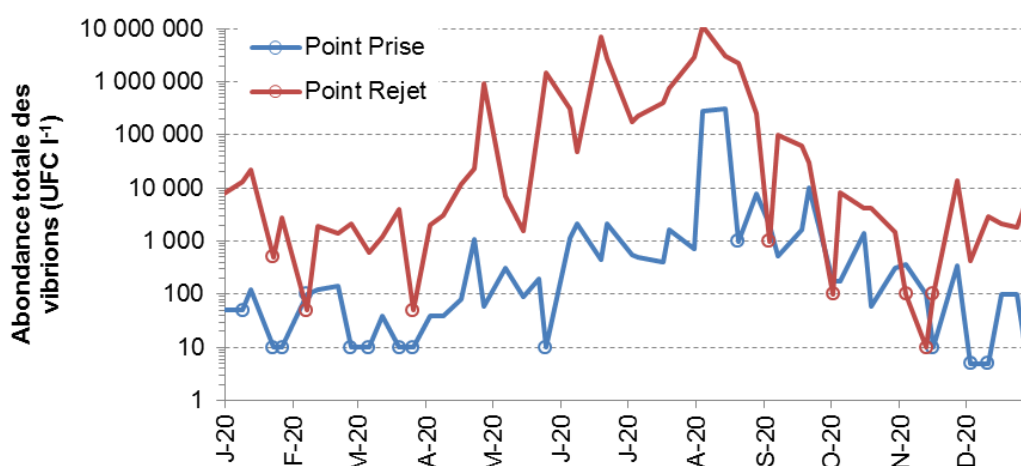


Figure B-36 : Abondance hebdomadaire des vibrions cultivables à 37 °C aux canaux de prise et de rejet (abondances cerclées = abondances inférieures à la limite de quantification et représentées à LQ/2)

Au point *Prise*, la dynamique temporelle des abondances de vibrions présentait, en 2020, peu de divergences avec ce qu'il est coutume d'observer depuis 1997 (Figure B-37). En effet, les abondances étaient  $< 100 \text{ UFC.l}^{-1}$  durant l'hiver et le début du printemps, puis ont augmenté rapidement dès le mois de juin ( $1\,239 \text{ UFC.l}^{-1}$ ) jusqu'à atteindre des abondances mensuelles en août et septembre plutôt élevées par rapport aux données historiques (respectivement,  $29\,097$  et  $2\,044 \text{ UFC.l}^{-1}$ ). Par la suite, les abondances de vibrions sont restées dans la moyenne des observations passées.

Au début du printemps, les abondances de vibrions au point *Rejet* étaient supérieures aux moyennes géométriques mensuelles enregistrées depuis 1997 ( $>$  percentile 75 ; Figure B-38). Cette tendance a perduré tout l'été avec des abondances moyennes supérieures au percentile 90 de la série 1997-2019 de juin à août. Par la suite, les abondances de vibrions au point *Rejet* étaient conformes, voire un peu inférieures, aux observations passées.

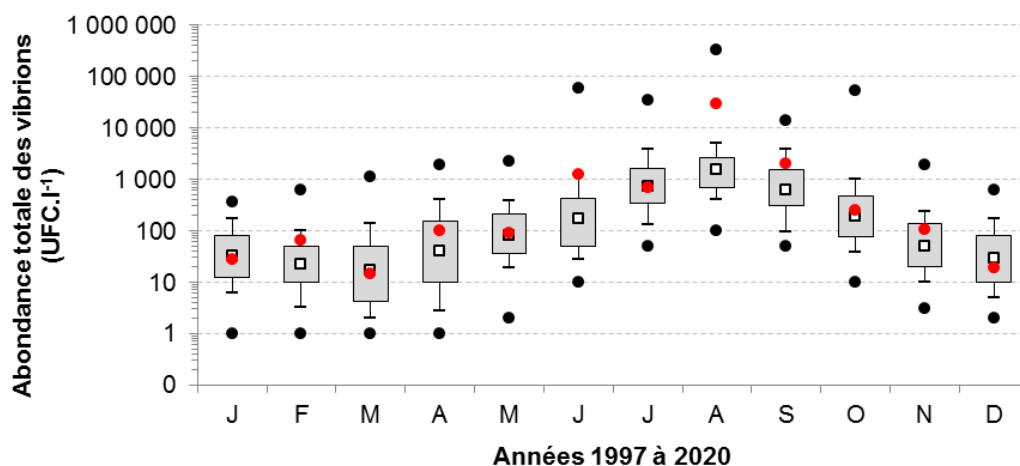


Figure B-37 : Evolution mensuelle de l'abondance totale des vibrions au canal de prise (points rouges = données 2020; la boîte et les moustaches englobent respectivement 50 % et 80 % des valeurs 1997-2019, avec points noirs = données extrêmes et carrés blancs = moyennes géométriques)

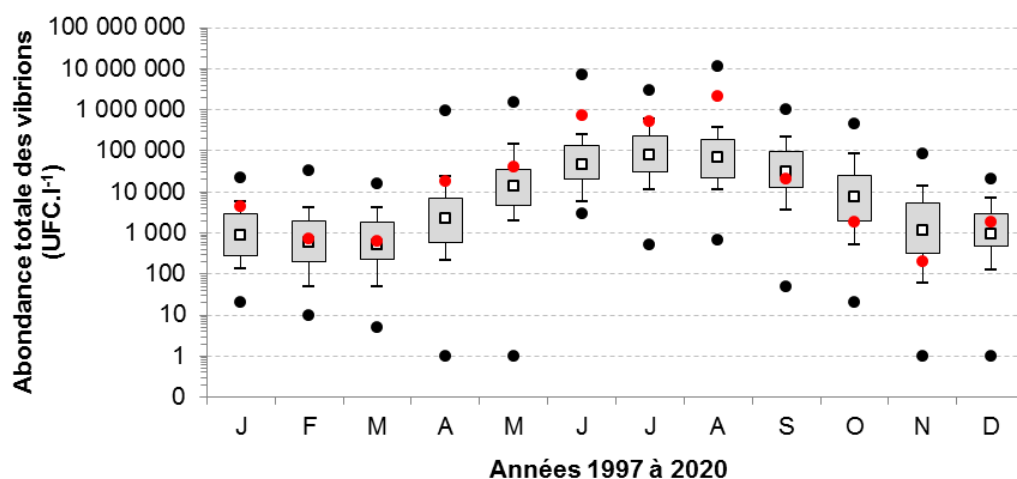


Figure B-38 : Evolution mensuelle de l'abondance totale des vibrions au canal de rejet (points rouges = données 2020; la boîte et les moustaches englobent respectivement 50 % et 80 % des valeurs 1997-2019, avec points noirs = données extrêmes et carrés blancs = moyennes géométriques)

En 2020, les abondances de vibrions ne présentaient donc pas d'écarts importants avec la moyenne géométrique des observations depuis 1997, sauf en période estivale où les abondances, au point *Prise* comme au point *Rejet*, étaient plus élevées (Figure B-39).

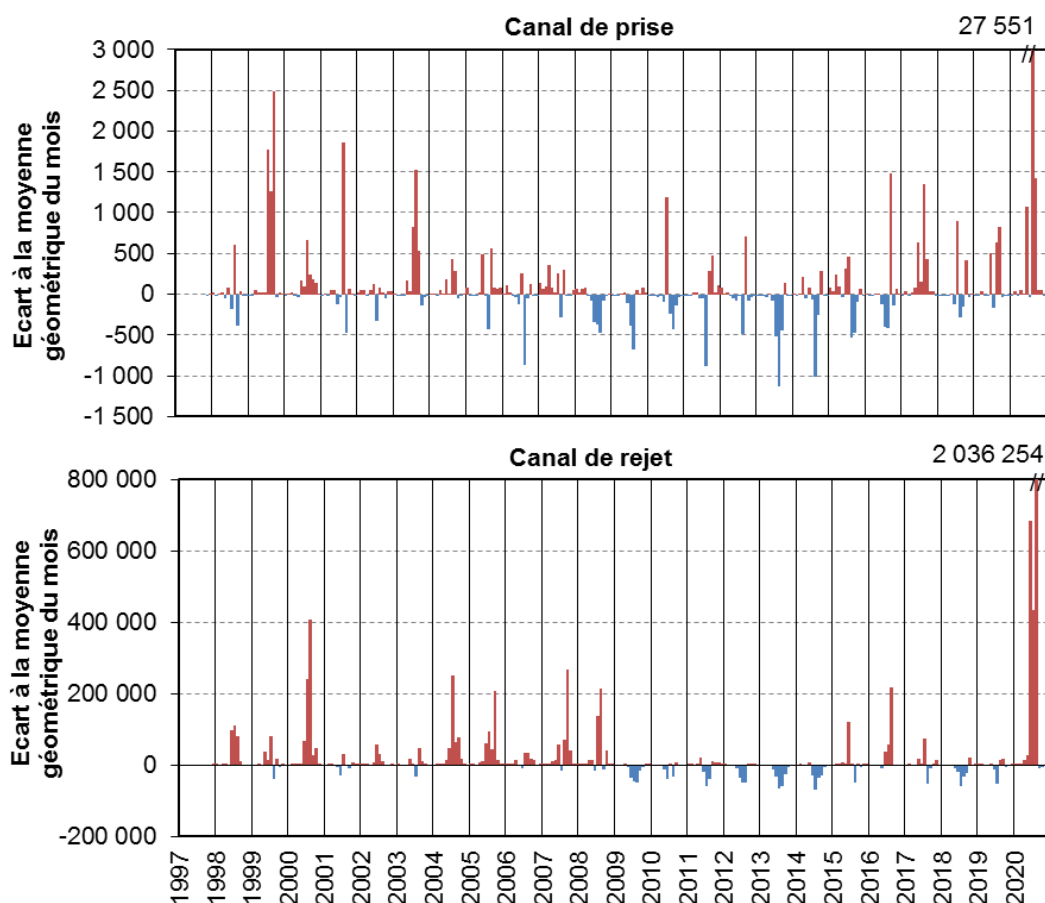


Figure B-39 : Écart à la moyenne géométrique mensuelle des abondances totales de vibrions aux canaux de prise et de rejet de 1997 à 2020

Entre les canaux de prise et de rejet, la moyenne géométrique de l'abondance annuelle des vibrions a été multipliée par 64 en 2020 (Figure B-40). Ce facteur n'avait plus été aussi important depuis 2011.

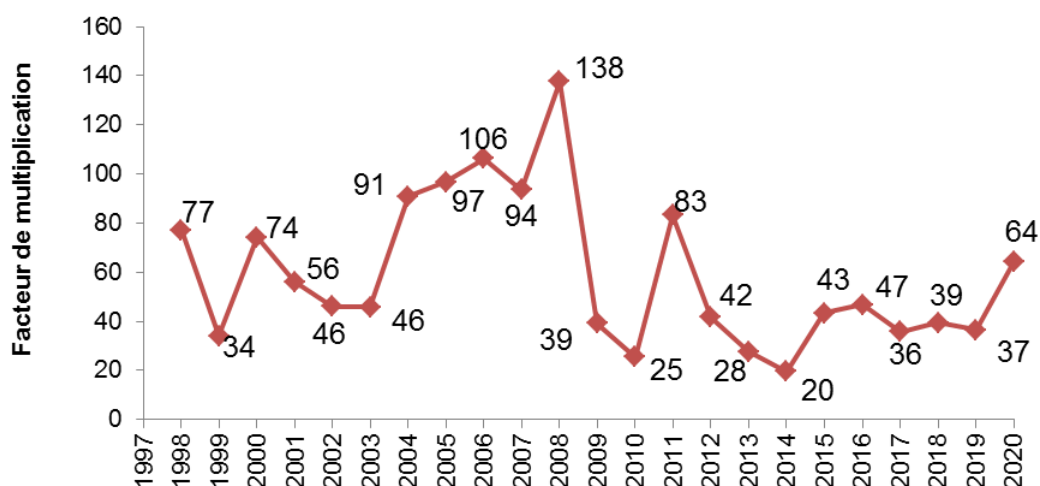


Figure B-40 : Facteur de multiplication annuel des vibrions entre les canaux de prise et de rejet de 1997 à 2020

Le facteur de multiplication mensuel des vibrions entre les canaux de prise et de rejet (Figure B-41) était supérieur au maximum mesuré depuis 1997 en janvier ( $\times 160$ ), du fait des fortes abondances au point *Rejet*. La température moyenne de l'eau était au-dessus des normales pour ce mois ( $+1,6^{\circ}\text{C}$ ), ce qui a pu favoriser la multiplication des vibrions. Après une diminution importante du facteur de multiplication en février, celui-ci a augmenté progressivement, avec des valeurs plutôt fortes par rapport à l'historique, jusqu'à atteindre un nouveau maximum en juillet ( $\times 772$ ). Après

ce pic estival, le facteur de multiplication a fortement diminué (<10) de septembre à novembre en lien avec des abondances de vibrions un peu faibles pour la saison automnale.

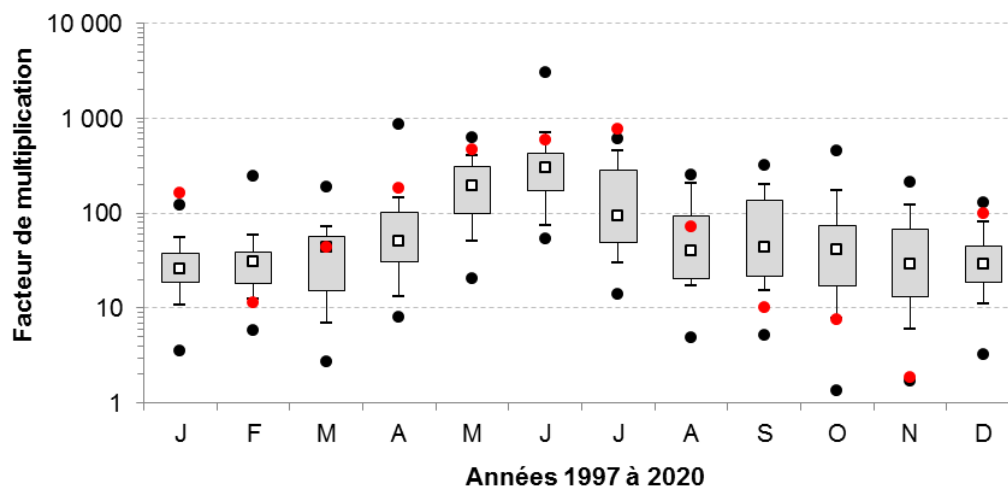


Figure B-41 : Facteur de multiplication mensuel des vibrions entre les canaux de prise et de rejet (points rouges = données 2020 ; la boîte et les moustaches englobent respectivement 50 % et 80 % des valeurs 1997-2019, avec points noirs = données extrêmes et carrés blancs = médianes)

La température de l'eau de mer est, depuis le début des études de surveillance, le facteur du milieu expliquant le mieux les variations de la concentration en vibrions (Figure B-42). En moyenne, sur la période 1997-2019, un accroissement de la température de l'eau de 5,8°C se traduit par une abondance en vibrions environ 10 fois plus grande. Pour les mesures réalisées aux canaux de prise et de rejet en 2020, le même résultat est obtenu pour un accroissement de la température de seulement 4,3°C.

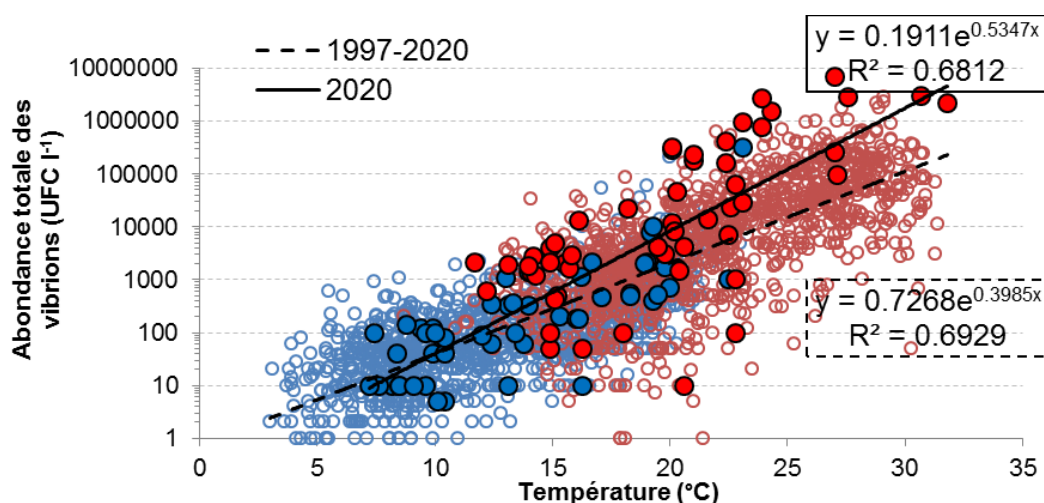


Figure B-42 : Relation entre température et concentration en vibrions aux canaux de prise (bleu) et de rejet (rouge) pour les périodes 1997-2019 (cercles vides) et 2020 (cercles pleins). Droites de régression 1997-2019 (trait en pointillé) et 2020 (trait plein)

La baisse des températures de l'eau observée entre 2008 et 2013 (cf. Figure B-7 ; moyenne annuelle sur la période = 12,4°C) est vraisemblablement la cause principale des faibles concentrations de vibrions observées sur cette période notamment en 2010 et 2013 (Figure B-43). L'augmentation de la température moyenne annuelle en 2014 (13,9°C) a favorisé une augmentation de l'abondance des vibrions au point *Prise*, mais plus encore au point *Rejet*. Depuis, on observait assez peu de variations interannuelles de l'abondance des vibrions, qui restait inférieure à avant 2008, en lien avec une stabilisation des températures moyennes annuelles autour de 13,5°C. En 2020, la température moyenne annuelle au point *Prise* était de 13,8°C et, comme en 2014, s'est accompagné d'une forte augmentation de l'abondance des vibrions au point *Prise*, mais également au point *Rejet*. L'épisode caniculaire du mois d'août, avec des températures de l'eau très au-dessus

des normales, 21,2°C au point *Prise* (+1,6°C) et 29,2°C au point *Rejet* (+1,4°C) expliquent les fortes abondances (> percentile 90 de la série 1997-2019) observées aux deux points.

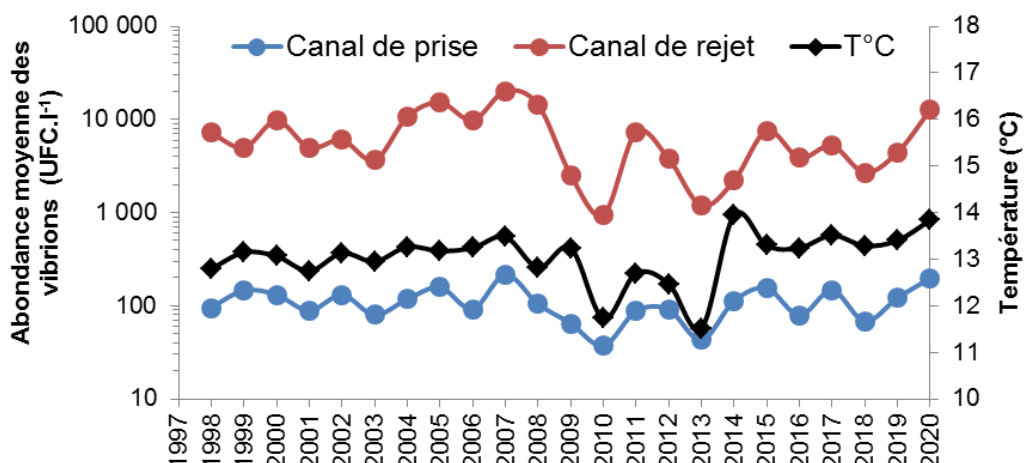


Figure B-43 : Moyennes géométriques annuelles des abondances en vibrions aux points *Prise* (bleu) et *Rejet* (rouge), comparées à la température moyenne de l'eau au point *Prise* (noir) de 1998 à 2020

### B.3.3.2 ASPECT QUALITATIF

Avant 1984, la quasi-totalité de la flore des vibrions isolés sur le site était représentée par *Vibrio alginolyticus*. Parallèlement au développement de l'aquaculture sur le site, une diversité croissante des espèces de vibrions a été observée accompagnée de différences dans la répartition de ces espèces entre les points *Prise* et *Rejet*. Depuis 2007, année de prise en compte des modifications dans l'interprétation des profils biochimiques utilisés pour affecter des noms d'espèces aux vibrions isolés (cf. § B.3.2.2), nous observons peu de différence dans la composition spécifique en *Vibrio* entre ces deux points, à part des modifications de pourcentages des espèces rares mais cela reste peu significatif.

En 2020, *V. alginolyticus* restait l'espèce la plus souvent isolée, elle représentait 98 et 69 % des vibrions, respectivement aux points *Prise* et *Rejet* (Figure B-44 et ANNEXE B-12 et ANNEXE B-13). Les espèces *V. parahaemolyticus* et *V. vulnificus* ont été peu isolées cette année par rapport aux années précédentes (Figure B-45 et ANNEXE B-14). La présence de *V. vulnificus* a été confirmée sur les deux points, alors que celle de *V. parahaemolyticus* uniquement au point *Rejet* et ne représentait que 0,003 % des vibrions. Deux souches de l'espèce *V. cholerae* ont été isolées, pour la première fois depuis 2013, au point *Prise* le 07 février 2020, mais n'étaient pas agglutinables (Nag) par les sérums anti *V. cholerae* O1 et anti *V. cholerae* O139 et étaient, de plus, non-halophile stricte, ce qui permet de les différencier des souches épidémiques présentant un risque sanitaire.

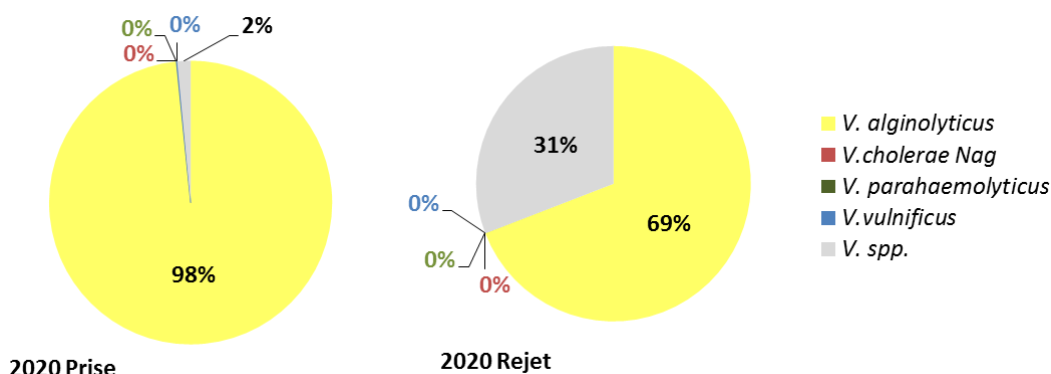


Figure B-44 : Pourcentages moyens d'isolement des diverses espèces de vibrions aux canaux de prise et de rejet en 2020

Le pourcentage de vibrions non identifiés (seuil de validation de l'identification < 90 %) était moins important au point *Prise* cette année (2 %, Figure B-45). Ce groupe inclus également les souches de

*V. parahaemolyticus* et *V. vulnificus* identifiées biochimiquement (API 20E) mais qui n'ont pas été confirmées à l'espèce lors de l'identification moléculaire réalisée par PCR (ANNEXE B-14).

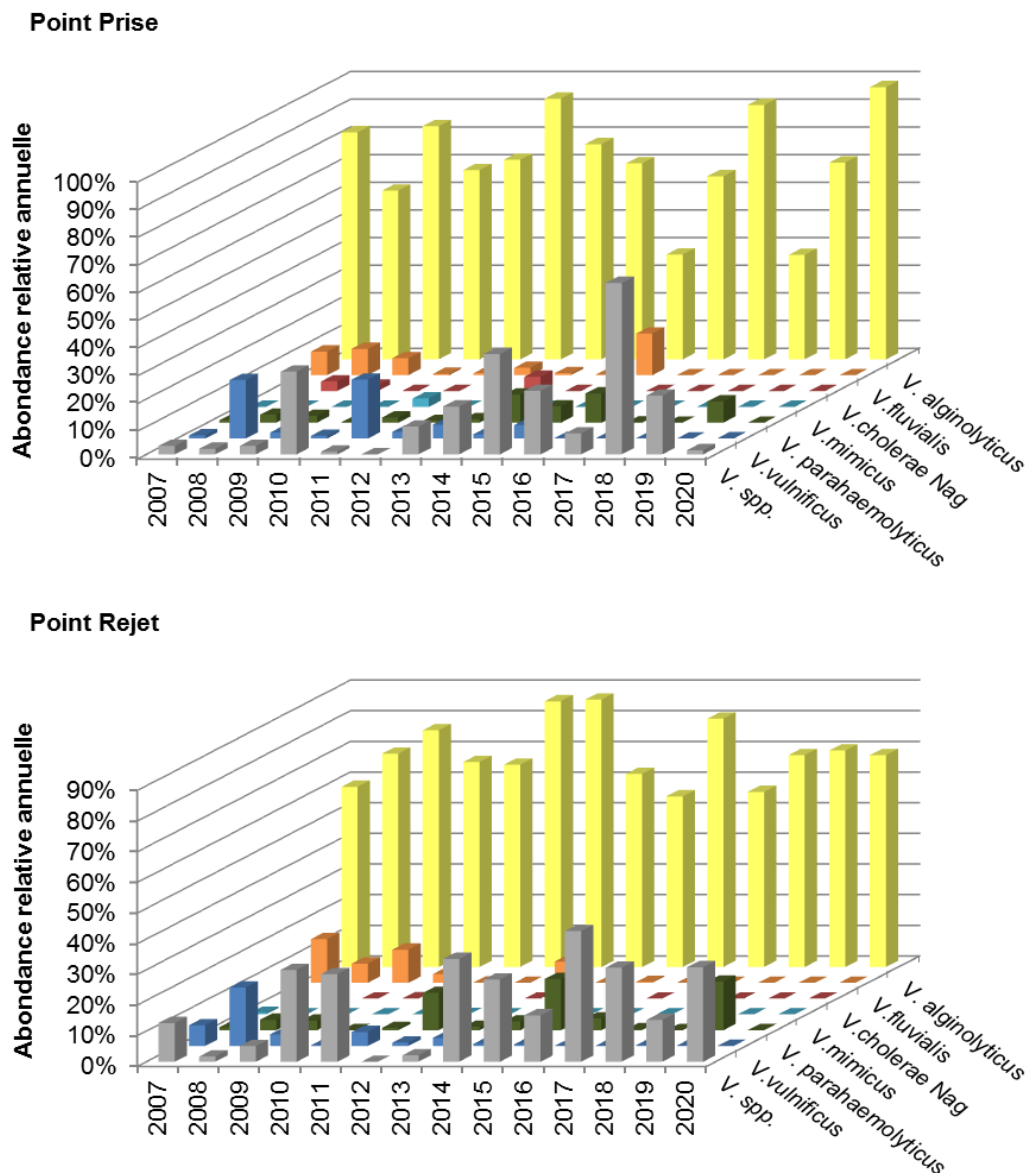


Figure B-45 : Évolution de l'abondance relative des diverses espèces de vibrions depuis 2007 aux canaux de prise et de rejet. *V. spp.* = Vibrions non-identifiés

### B.3.4 SURVEILLANCE DU MILIEU RECEPTEUR

Les données relatives aux campagnes de surveillance pélagique de juin et septembre 2020 sont présentées en Figure B-46 et en ANNEXE B-15. Lors des deux campagnes pélagiques, il n'a pas été possible d'obtenir une quantification des vibrions sur tous les points, car les tests sur galerie API des colonies isolées par filtration de 0,01 à 50 ml d'eau de mer n'ont pu aboutir à une identification du genre *Vibrio*, ce qui complique l'interprétation des résultats. Pour permettre néanmoins une représentation graphique des données, la limite de détection pour la filtration retenue a été divisée par deux.

Lors des deux campagnes, aucune colonie de *Vibrio* n'a été isolée (sur 50 ml d'eau filtrée) au point *Référence*. Les plus fortes abondances ont été observées au point *Rejet* lors des deux campagnes, avec un facteur de multiplication par rapport au point *Prise* de  $\times 3\,864$  et  $\times 312$  respectivement, en juin et septembre. Au point *Contrôle*, les abondances étaient décroissantes par rapport au point



*Rejet*, même si en juin l'abondance dans le panache de rejet était encore assez importante par rapport au point *Prise*. Lors des deux campagnes, la seule espèce de vibron identifiée était *V. alginolyticus*.

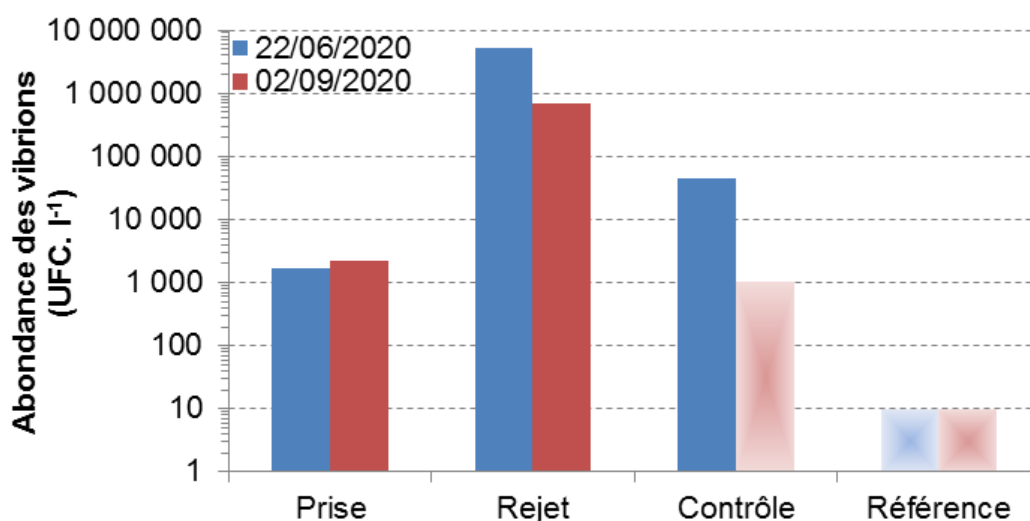


Figure B-46 : Abondance totale des vibrions à chaque point de prélèvement lors des deux campagnes pélagiques 2020 (histogrammes dégradés = limite de quantification divisée par 2)

### B.3.5 CONCLUSIONS

Le passage de l'eau dans l'ensemble constitué par la centrale électrique et les installations aquacoles a entraîné une multiplication du nombre des vibrions, entre les points *Prise* et *Rejet*, d'un facteur 64 en moyenne annuelle pour 2020, ce qui est un peu plus élevé que ces dernières années. Ce facteur de multiplication a une grande importance sur la communauté des vibrions, car le recyclage de l'eau du rejet (7,5 % repasse par le canal de prise, cf. §A.1) peut permettre de sélectionner et de fixer sur le site certaines espèces.

En 2020, les abondances de vibrions des canaux de prise et de rejet étaient supérieures aux moyennes géométriques mensuelles enregistrées depuis 1997, durant toute la période printemps-été, mais particulièrement au mois d'août lors de l'épisode caniculaire. La tendance à la baisse des abondances de vibrions observée de 2008 à 2014, en particulier au point *Rejet*, a cessé depuis la hausse des températures constatée depuis 2014. Bien que la température soit le facteur principal expliquant la dynamique saisonnière des vibrions et leur multiplication entre les points *Prise* et *Rejet*, l'activité de la ferme aquacole pourrait influencer sur l'abondance des vibrions dans le canal de rejet. Cette influence est difficile à estimer car le fonctionnement de ces installations est complexe : outre des évolutions dans son fonctionnement hydraulique (mise en place d'un second rejet en 2003), la diminution du tonnage de poissons produit par an (passant de 2500 tonnes avant 2009, à 1900 tonnes jusqu'en 2012, puis 1500 tonnes jusqu'en 2015, et enfin 1700 tonnes par an depuis 2016) s'est accompagnée d'une évolution dans les techniques d'élevage (meilleur dosage de l'alimentation, meilleur contrôle des débits, etc.) qui ont pu contribuer à une diminution de la prolifération des vibrions dans le canal de rejet depuis 2009.

Une modification dans l'interprétation des profils biochimiques utilisés pour affecter des noms d'espèces aux vibrions isolés est intervenue en 2006 en raison de la parution d'un nouveau catalogue analytique API 20E. L'utilisation de ce nouveau catalogue à partir de 2007 a principalement des incidences sur le nombre d'espèce de vibrions identifiables (6 espèces) et sur l'identification de l'espèce *Vibrio cholerae*. De nombreux germes auparavant classés *V. cholerae* sont maintenant considérés comme mal-discriminés entre *V. cholerae* et d'autres espèces (ceci permet d'écarter du groupe *V. cholerae*, un certain nombre de souches de l'environnement très éloignées du véritable *V. cholerae* épidémique). **Deux souches de *V. cholerae* non agglutinables**

par les sérums anti *V. cholerae* O1 et anti *V. cholerae* O139 ont été isolées en février sur les prélèvements du point *Prise* du CNPE de Gravelines. L'espèce *V. alginolyticus* reste l'espèce dominante sur le site, alors que *V. parahaemolyticus* et *V. vulnificus* ont été rarement isolés cette année.

La baisse du nombre de vibrions identifiables et la reclassification de *Vibrio hollisae* en *Grimontia hollisae* en 2003 (Thomson *et al.*, 2003) et de *Vibrio damsela* en *Photobacterium damsela* en 2013 (Rivas *et al.*, 2013), deux espèces qui étaient auparavant assez fréquentes sur le site du CNPE de Gravelines, ont également pour conséquence une augmentation du nombre de cas où l'abondance des vibrions reste en dessous de la limite de quantification (que ce soit lors du suivi hebdomadaire aux canaux de prise et de rejet ou lors des deux campagnes pélagiques), rendant difficile l'interprétation des résultats lorsque les volumes filtrés sont faibles. Une veille active sur les méthodes de quantification et d'identification des vibrions doit être maintenue pour un meilleur suivi des espèces d'intérêt sanitaire sur le site du CNPE de Gravelines.

Malgré ces difficultés, les campagnes pélagiques ont montré que **le transit de l'eau de mer dans le CNPE et la ferme aquacole entraîne une importante multiplication des vibrions dans le canal de rejet, qui reste encore bien détectable au niveau du point *Contrôle* situé dans le panache de rejet.** Toutefois, en dehors du panache de rejet du CNPE (point *Référence*) les abondances de vibrions sont bien en deçà de ce que l'on peut dénombrer aux points *Contrôle*, voire au point *Prise*, ce qui montre que **l'impact du réchauffement des eaux tend à s'estomper rapidement lorsqu'on s'éloigne du panache de rejet du CNPE.**

**L'étude de l'ensemble des paramètres du compartiment microbiologique n'a pas mis en évidence, au cours de l'année 2020, de modifications significatives du milieu pouvant être mises en relation avec l'activité du CNPE de Gravelines.**



# ZOOPLANCTON

## **Rédaction/mise en page**

Elvire Antajan (LER-AR)

Guillaume Wacquet (LER-BL)

## **Prélèvements et mesures *in situ***

IFREMER (LER-BL)

## **Analyses/Traitement des données**

IFREMER (LER-BL, LER-AR)

## **Expertise thématique**

Elvire Antajan (LER-AR)



## B.4 ZOOPLANCTON

Le zooplancton (du grec *zoon* = animal et *planao* = errer passivement) regroupe l'ensemble des organismes vivants de nature animale vivant en suspension dans l'eau et dont la capacité de nage ne leur permet pas de lutter contre les courants ou d'éviter un obstacle. Le zooplancton est hétérotrophe, c'est à dire qu'il se nourrit de matière vivante, notamment de phytoplancton. Il occupe ainsi une position clé dans la chaîne alimentaire pélagique en permettant le transfert de l'énergie organique produite par le phytoplancton vers les niveaux trophiques supérieurs que sont les poissons, les crustacés benthiques, les oiseaux et les mammifères marins.

Les changements détectables dans l'abondance ou la composition du zooplancton peuvent refléter des changements fondamentaux dans l'environnement océanique affectant le phytoplancton. Comme un grand nombre d'espèces de zooplancton a une durée de vie relativement courte et qu'elles peuvent avoir un taux de croissance élevé, elles réagissent rapidement aux perturbations environnementales (changements climatiques, pollutions ponctuelles et prédation) qui influencent l'abondance, la diversité et le cycle saisonnier du zooplancton.

### B.4.1 STRATEGIE DE SURVEILLANCE

#### B.4.1.1 HISTORIQUE DES SUIVIS

Le protocole de suivi du zooplancton dans le milieu marin proche du site de Gravelines a beaucoup changé depuis son lancement au milieu des années 70 (Tableau B-8).

Tableau B-8 : Stratégie du suivi zooplancton à Gravelines depuis 1974

Périodes	Nb de points	Fréquence	Réplicas	Données manquantes	Remarques
<b>Oct. 1974-1975</b>	15	Mensuelle	3	Janv., Sept., et Nov.	Points abandonnées
<b>Août 1976-Juil. 1978</b>	4	Mensuelle	max. 10 (cycle de marée)	Août à Déc. 1977	<b>Filet WP2-200µm</b> Contrôle et Référence actuels, autres points abandonnés
<b>Août 1978-Fév. 1982</b>	4	Mensuelle (1981 bimestriel)	Max. 5	Quelques mois manquants	Prise et Contrôle actuels, autres points abandonnés
<b>Avril 1982-1985</b>	4	Mensuelle	Max. 3	Quelques mois manquants	Prise, Contrôle et Référence actuels plus un point abandonné (hors-zone)
<b>1986-1987</b>	4	Saisonnier (printemps, été, automne)	Non		Prise, Contrôle et Référence actuels plus un point abandonné (Radeau)
<b>1988-1992</b>	4	Mensuelle pour <i>Prise</i> , 2/an pour les autres	Non	Prise suivi de Mai à Septembre	Prise, Contrôle et Référence actuels plus un point abandonné (Radeau)
<b>1993-2007</b>	4	Mensuelle pour <i>Prise</i> , 2/an pour les autres	Non		<b>Petit filet conique-200µm</b> Prise, Contrôle et Référence actuels plus un point abandonné (Radeau)
<b>2008-2013</b>	4	Mensuelle pour <i>Prise</i> , 2/an pour les autres	Non		<b>Filet WP2-200µm</b> Prise, Contrôle et Référence actuels plus un point abandonné (Radeau)
<b>2014-2018</b>	4	Mensuelle pour <i>Prise</i> , 2/an pour les autres	Non		Prise, Rejet Amont, Contrôle et Référence
<b>2019-présent</b>	3	Mensuelle pour <i>Prise</i> , 2/an pour les autres	Non		Abandon du point Rejet Amont

Entre 1974 et 1977, un grand nombre de points a été échantillonné dans le cadre des études d'avant-projet et de projet de façon quasi mensuelle, voire plus fréquemment en période de forte production primaire. A partir de 1978, seuls quatre points ont été retenus, dont le point *Prise* qui permet de suivre le cycle saisonnier du zooplancton sans être contraint par les conditions météorologiques, et le point *Référence* situé hors tâche thermique. De 1984 à 1993, la surveillance a été allégée et concentrée sur le printemps et l'été. A partir de 1988, le suivi au point *Prise* devient mensuel de mai à septembre, puis toute l'année à partir de 1993, et est complété par deux campagnes annuelles aux trois autres points situés dans le milieu récepteur des eaux de rejet du CNPE. Suite à la Décision n°2018-DC-0647 de l'Autorité de Sûreté Nucléaire du 16 octobre 2018, le prélèvement de zooplancton réalisé dans le canal de rejet lors des deux campagnes pélagiques annuelles a été abandonné en 2019.

Le type de filet à plancton utilisé a également changé au cours du temps. Entre 1991 et 2007, le filet de type WP2 standard utilisé depuis le début du suivi a été remplacé par un filet de plus petite taille (ouverture 0,09 m<sup>2</sup>, hauteur 110 cm, conique, vide de maille 200 µm) pour échantillonner dans les canaux de prise et de rejet. La plus petite ouverture et la forme conique de ce filet le rendaient plus sensible aux effets de colmatage et de reflux, surtout au printemps et en été quand les algues (*Phaeocystis globosa*, *Coscinodiscus* sp...) ou les noctiluques prolifèrent. Le filet WP2, déjà utilisé lors des campagnes à la mer, avec sa plus large ouverture et sa forme cylindro-conique permet d'éviter le reflux dans le filet et est donc mieux adapté pour capturer efficacement le zooplancton d'un point de vue quantitatif. Le choix a donc été fait, en 2008, d'utiliser le filet WP2 pour toutes les stations.

Une analyse des biais potentiels liés aux changements de stratégies d'échantillonnage (fréquence, filet, niveau de détermination) réalisée en 2018 a permis de montrer que le remplacement du petit filet utilisé depuis mai 1991, par un filet de type WP2 en octobre 2007, n'a pas eu d'effet significatif sur l'estimation des abondances totales de zooplancton et de ses fractions méro- et holoplanctoniques (Goberville *et al.*, 2018). Par contre, une augmentation de la fréquence d'échantillonnage entraîne une augmentation de l'abondance moyenne annuelle, particulièrement significative dans le cas des larves méroplanctoniques.

Au regard de l'évolution de la stratégie du suivi zooplanctonique sur le site de Gravelines depuis 1974 (fréquence d'échantillonnage, choix et localisation des stations, filet utilisé), il est recommandé de ne prendre en compte dans les analyses des comparaisons annuelles que les années allant de 1993 à nos jours. Toutefois, pour certaines représentations les données ne tiendront compte que des prélèvements réalisés depuis 2008 avec le filet WP2 standard.

#### B.4.1.2 SUIVI ACTUEL

Deux campagnes annuelles sont réalisées pour la surveillance du milieu récepteur des eaux rejetées par la centrale. Les campagnes de 2020 ont eu lieu le 22 juin pour la mission printanière et le 02 septembre pour la mission de fin d'été (ANNEXE B-16). Lors de chaque mission trois points sont étudiés (Figure 0-1 et Tableau 0-3) :

- Le point *Prise* (situé à l'entrée du canal de prise d'eau de la centrale) ;
- Le point *Contrôle* (dans le panache de rejet, avec échauffement résiduel de 3 à 4°C) ;
- Le point *Référence* (situé au large, au-delà de la zone d'influence de la centrale).

En complément, les variations saisonnières du zooplancton dans le milieu naturel (considéré comme non influencé directement par la centrale) sont estimées par une surveillance mensuelle au point *Prise*. Les résultats obtenus peuvent être comparés aux données hydrologiques et phytoplanctoniques mesurées au même point à une fréquence hebdomadaire. Cette surveillance permet de suivre l'évolution du plancton en relation avec les conditions environnementales naturelles du milieu et de situer les deux campagnes pélagiques annuelles par rapport au cycle saisonnier de l'écosystème. En raison du confinement en lien avec l'épidémie de COVID-19, le

prélèvement du mois d'avril n'a pu être réalisé. En rattrapage, un prélèvement supplémentaire a été réalisé le 16 septembre 2020

## B.4.2 PARAMETRES / METHODES

### B.4.2.1 ÉCHANTILLONNAGE, PRELEVEMENTS

Depuis 2008, les échantillons zooplanctoniques sont collectés à l'aide d'un filet à plancton de type WP2 (ouverture 0,25 m<sup>2</sup>, hauteur 261 cm, cylindro-conique, vide de maille 200 µm – Fraser, 1968) :

- Pour les prélèvements en mer aux points *Contrôle* et *Référence*, le filet est descendu jusqu'à environ trois mètres au-dessus du fond puis est ramené à la surface à une vitesse de 1 m.s<sup>-1</sup>.
- Pour le prélèvement à terre au point *Prise* (depuis le pont enjambant le canal de prise d'eau), le filet est maintenu entre deux et cinq mètres sous la surface en raison du courant et des remous qui homogénéisent la colonne d'eau (la profondeur du canal étant de sept mètres).

Un volumètre est attaché à l'entrée du filet WP2 afin de connaître précisément le volume d'eau filtré. Pour chaque point de prélèvement, deux traits de filet à plancton sont effectués. L'un des deux échantillons collectés sera filtré au laboratoire sur des soies pré-pesées de 100 µm de vide de maille, puis congelées afin d'évaluer la biomasse sestonique (mesure du poids sec et composition en carbone et azote). Le deuxième échantillon est immédiatement fixé avec une solution formolée (concentration finale 0,9 % ; Lelièvre *et al.*, 2012) en vue du dénombrement et de l'identification des espèces animales.

Les prélèvements au filet WP2 ne permettant pas une estimation fiable de l'abondance des cténaires qui peuvent être de dimension centimétrique, ceux-ci sont collectés comme pour l'ichtyoplancton avec un filet Bongo ayant un vide de maille de 500 µm et une ouverture de 60 cm (cf. chapitre Ichtyoplancton).

### B.4.2.2 BIOMASSE SESTONIQUE

Pour la mesure de la biomasse sestonique, les soies congelées sont mises à l'étuve à 60 °C pendant 48 heures. Les soies comportant le plancton séché sont alors pesées et les poids secs, ou biomasses du seston, déduits. Le poids sec récolté et le volume filtré permettent d'évaluer le poids sec (mg) par unité de volume (m<sup>3</sup>).

Les échantillons de poids sec sont par la suite broyés pour être analysés au CHN LECO pour les dosages de carbone organique (C) et d'azote organique (N). L'expression des résultats est obtenue en poids carbone (mg C) ou d'azote (mg N) par unité de volume (m<sup>3</sup>).

### B.4.2.3 ANALYSE TAXINOMIQUE

Les prélèvements zooplanctoniques destinés au dénombrement des espèces animales sont rincés sur un tamis de 200 µm afin d'éliminer le formol et les particules les plus fines qui gênent le comptage du zooplancton. En fonction de la concentration de l'échantillon celui-ci est fractionné en sous-échantillons à la boîte de Motoda (Motoda, 1983). Le sous-échantillon est alors placé dans une cuve de Dolffus et dénombré dans sa totalité à la loupe binoculaire (grossissement maximum × 80) en éclairage diascopique. Le dénombrement s'arrête lorsqu'une classe de tri (*Temora longicornis* : femelle, mâle ou copépodite ; *Oikopleura dioica* ; nauplii de cirripèdes, ...) atteint un minimum de 100 individus. D'après Frontier (1972), l'erreur relative sur l'estimation du nombre total d'individus est de ± 30 %. Le nombre d'individus comptés est ensuite ramené au volume total de l'échantillon (ind.m<sup>-3</sup>).

La bibliographie utilisée pour l'identification des zooplanctontes est très variée et inclue notamment : les fiches d'identification du plancton CIEM – (1939-1986), des manuels

d'identification du zooplancton côtier (Todd *et al.*, 1996 ; Castellani & Edwards, 2017) et des clés de détermination pour des groupes spécifiques tels que les copépodes pélagiques (Rose, 1933 ; Boxshall & Halsey, 2004) ou les larves de décapodes (Martin, 2001) par exemple.

### B.4.3 SURVEILLANCE AU CANAL DE PRISE

#### B.4.3.1 BIOMASSE SESTONIQUE

On appelle seston, l'ensemble des particules en suspension dans l'eau qu'elles soient d'origine minérales ou organiques. Dans les eaux du large ou dans des milieux oligotrophes, peu turbides, le seston récolté avec un filet à plancton est essentiellement constitué de zooplancton et sa biomasse peut donc être assimilée à celle du zooplancton. Par contre dans les eaux côtières, souvent peu profondes (< 40 m), avec un fort hydrodynamisme le seston comprend également une part non négligeable de sables, vases, débris végétaux, etc. dû à la remise en suspension des sédiments dans la colonne d'eau. Dans ce cas il est difficile d'attribuer la biomasse sestonique à celle du zooplancton. L'évolution mensuelle de la biomasse sestonique au point *Prise* présentait quelques différences avec ce l'on observe habituellement depuis 2008 (Figure B-47 et ANNEXE B-17), à savoir des valeurs < 100 mg.m<sup>-3</sup> de juin à février, avant une forte augmentation de la biomasse entre mars et mai avec un pic au mois d'avril. En 2020, l'augmentation de la biomasse sestonique au printemps n'a pu être observée du fait de l'annulation du prélèvement au mois d'avril durant le confinement national. En automne la biomasse sestonique des mois d'octobre et décembre était très supérieure à la médiane des biomasses mesurées au point *Prise* depuis 2008.

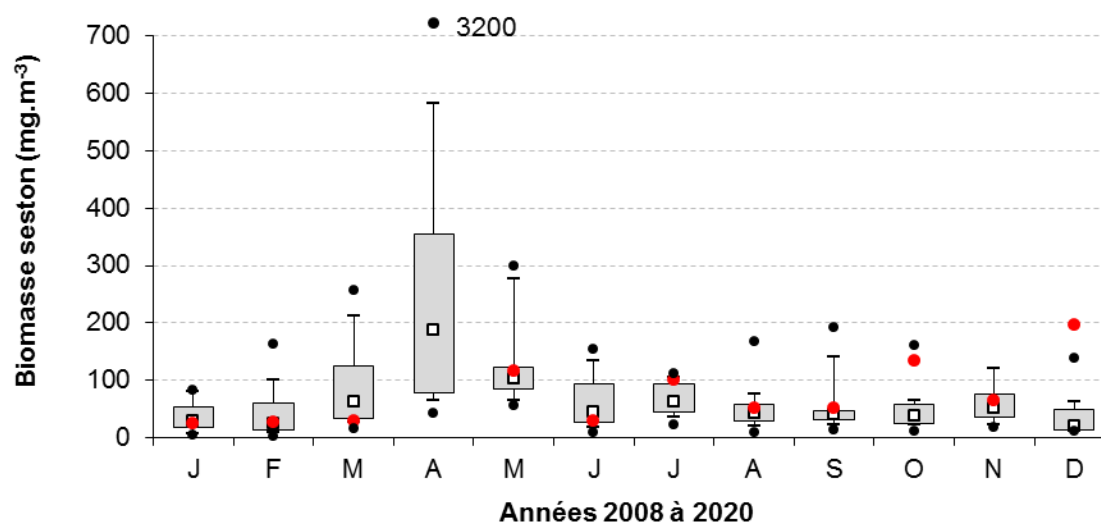


Figure B-47 : Évolution mensuelle de la biomasse sestonique (poids sec) au point *Prise* (points rouges = données 2020 ; la boîte et les moustaches englobent respectivement 50 % et 80 % des valeurs 2008-2019, avec points noirs = données extrêmes et carrés blancs = médianes)

Comme le montre la Figure B-48, l'évolution saisonnière de la biomasse sestonique n'est pas expliquée par l'évolution des abondances zooplanctoniques et ne peut, par conséquent, être utilisée comme un proxy de la biomasse zooplanctonique. Ainsi en juillet, où l'on a enregistré la plus forte abondance de zooplancton lors de ce cycle de surveillance, la biomasse sestonique était plus faible qu'aux mois de mai, octobre et décembre où les abondances zooplanctoniques étaient 2,5 à 4,3 fois plus faibles qu'au mois de juillet. Lorsque l'on considère le rapport carbone sur azote des échantillons filtrés de seston (Figure B-48 et ANNEXE B-17), cela peut parfois nous aider à interpréter la biomasse sestonique. En effet, le rapport C/N peut habituellement caractériser un compartiment tel que le zooplancton (rapport C/N ~ 4-5 ; Mauchline, 1998) ou le phytoplancton (C/N ≥ 6 ; Biddanda & Benner, 1997). Si en hiver et automne 2020, le rapport C/N indiquait bien que le seston était principalement composé de zooplancton, les rapports C/N de mai et juin étaient compris entre 5,4 et 6,0 ce qui est davantage caractéristique du phytoplancton et coïncidait avec la

période de forte prolifération phytoplanctonique en mai (cf. Figure B-29) et du dinoflagellé hétérotrophe *Noctiluca scintillans* en juin (cf. Figure B-49).

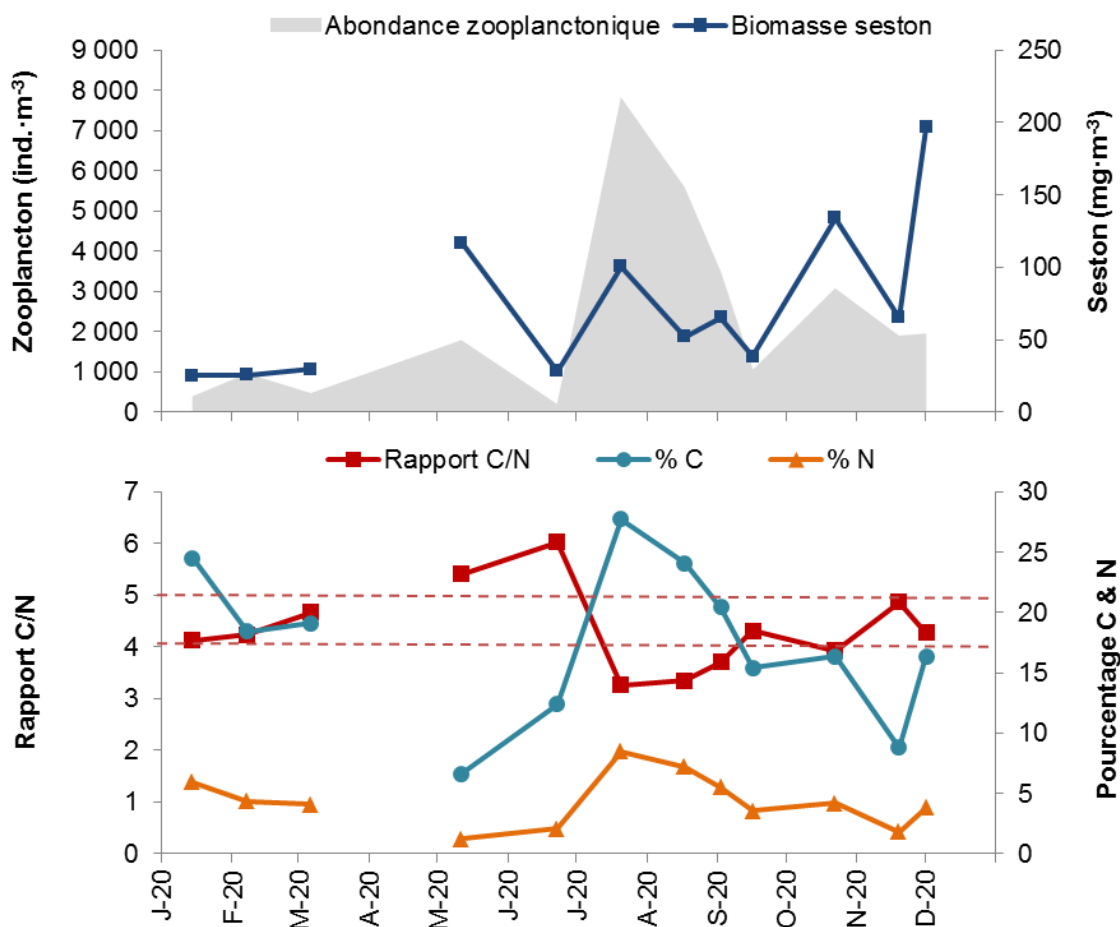


Figure B-48 : Évolution mensuelle de l'abondance zooplanctonique et de la biomasse sestonique (haut) ainsi que du rapport C/N et de la composition en carbone et azote du seston (bas) au canal de prise en 2020 (lignes hachurées : seuils théoriques du rapport C/N pour le zooplancton)

#### B.4.3.2 ABONDANCE ET COMPOSITION

Les dénombrements zooplanctoniques totaux effectués en 2020 sont présentés sur la Figure B-49. De faibles abondances ont été observées durant la période hivernale ( $< 1\,000 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-3}$ ), mais l'abondance la plus faible a été observée lors de la campagne de juin ( $206 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-3}$ ) qui s'est déroulée au moment de la prolifération du dinoflagellé *Noctiluca scintillans*. Le pic d'abondance zooplanctonique a été observé le mois suivant, en juillet ( $7\,834 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-3}$ ), avec une dominance de la fraction holoplanctonique, c'est-à-dire des espèces qui accomplissent l'intégralité de leur cycle biologique (œufs, larves, adultes) au sein du milieu pélagique.

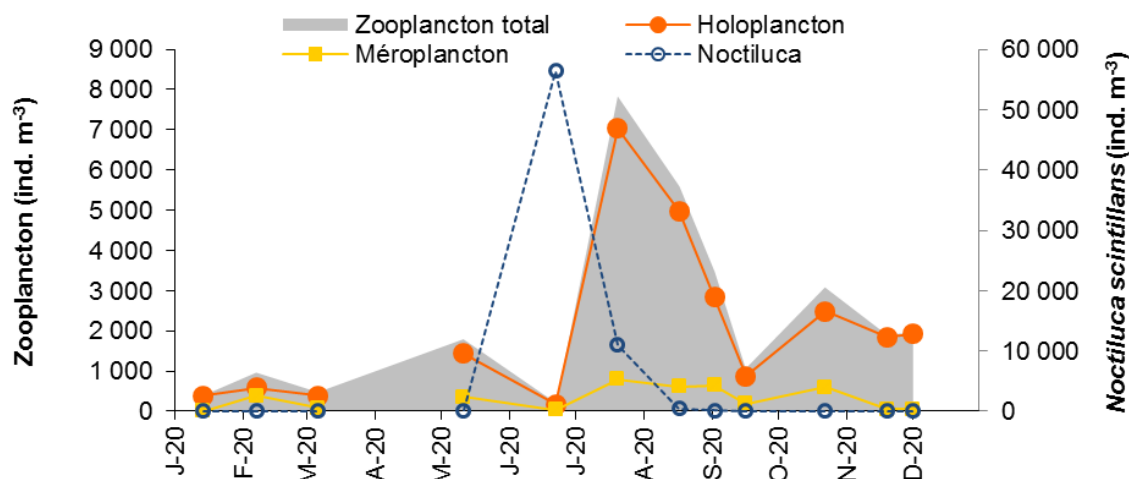


Figure B-49 : Évolution de l'abondance des noctiluques, du zooplancton et de ses fractions holo- et méroplanctonique au point *Prise* en 2020

Si l'on compare avec les abondances observées depuis 1993, on constate que généralement les plus fortes abondances zooplanctoniques sont observées entre avril et mai, avant une baisse importante des abondances en juin et un nouveau pic en juillet, comme cela a été observé au cours de ce cycle de surveillance (Figure B-50). Toutefois, les fortes proliférations printanières de larves méroplanctoniques d'organismes benthiques (cirripèdes, mollusques, bryozoaires,...) n'ont pu être observées cette année du fait de l'annulation du prélèvement du mois d'avril, à cause du confinement national suite à la pandémie du COVID-19. Les abondances estivales et automnales étaient, par contre, très supérieures aux valeurs moyennes de la série (> quartile 75).

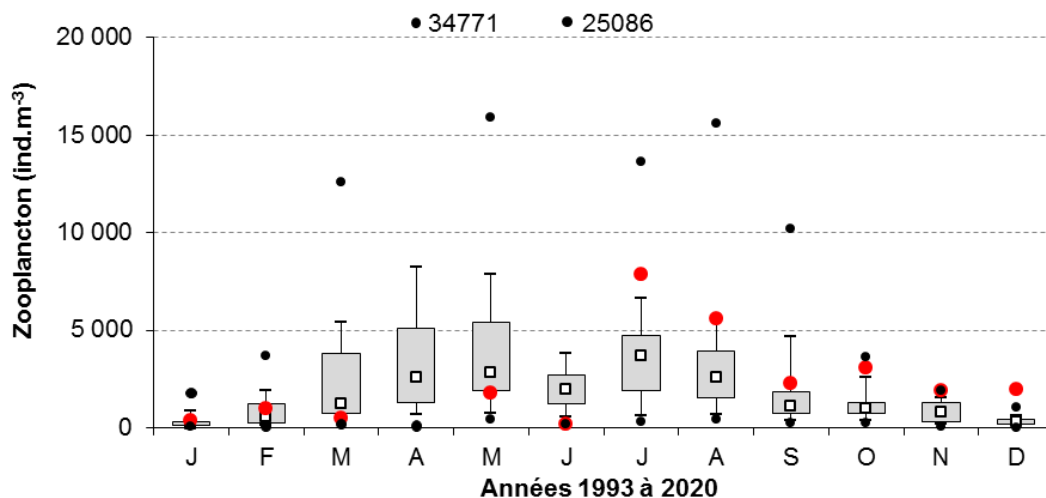


Figure B-50 : Évolution mensuelle de l'abondance du zooplancton au point *Prise* (points rouges = données 2020 ; la boîte et les moustaches englobent respectivement 50 % et 80 % des valeurs 1993-2019, avec points noirs = données extrêmes et carrés blancs = médianes)

En 2020, l'holoplancton représentait en moyenne 85 % du zooplancton total. Cette fraction était essentiellement composée de crustacés copépodes (90 %). Selon la saison, s'y ajoutent quelques espèces moins abondantes, appartenant à d'autres embranchements comme les appendiculaires, les chaetognathes ou les cladocères (Tableau B-9).

Par opposition à l'holoplancton, le méroplancton constitue la fraction temporaire du zooplancton. Il regroupe les organismes dont seule une partie du cycle vital est planctonique. Il s'agit principalement de larves à vie pélagique émises par de nombreuses espèces à phase adulte benthique errante (crabes, annélides...) ou fixée : annélides, mollusques (moules...) et crustacés cirripèdes (balanes...), nombreux sur l'estran rocheux. Le méroplancton est aussi constitué de phases pélagiques d'espèces fixées (méduses, qui représentent les phases sexuées libres des cnidaires), ou bien des œufs et larves de poissons qui ne peuvent encore lutter contre les courants.



Le méroplancton est donc de fait plus abondant au printemps, pendant les périodes de reproduction des espèces benthiques (Tableau B-9).

Tableau B-9 : Abondance et dominance des principaux groupes zooplanctoniques et abondance des noctiluques au point *Prise* en 2020

	14/01/2020	07/02/2020	06/03/2020	11/05/2020	22/06/2020	20/07/2020	17/08/2020	02/09/2020	16/09/2020	22/10/2020	19/11/2020	01/12/2020
	ind. m <sup>-3</sup> %	ind. m <sup>-3</sup> %	ind. m <sup>-3</sup> %	ind. m <sup>-3</sup> %	ind. m <sup>-3</sup> %	ind. m <sup>-3</sup> %	ind. m <sup>-3</sup> %	ind. m <sup>-3</sup> %	ind. m <sup>-3</sup> %	ind. m <sup>-3</sup> %	ind. m <sup>-3</sup> %	ind. m <sup>-3</sup> %
<b>HOLOPLANKTON</b>												
Copepoda	370 95	535 93	258 66	1 236 86	167 94	6 393 91	4 491 90	2 673 94	825 95	2 098 84	1 674 90	1 862 97
Appendicularia	7 2	34 6	126 33	180 13	10 6	627 9	286 6	132 5	12 1	281 11	121 7	35 2
Chaetognatha	1 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	81 2	22 1	31 4	97 4	32 2	12 1
Cladocera	0 0	0 0	0 0	3 0	0 0	0 0	113 2	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Ctenophora	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	7 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Mysida	7 2	8 1	1 0	6 0	0 0	0 0	4 0	3 0	1 0	8 0	16 1	4 0
Amphipoda	1 0	0 0	0 0	10 1	0 0	7 0	7 0	3 0	3 0	0 0	3 0	0 0
Cumacea	2 1	0 0	1 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	1 0	0 0
Isopoda	1 0	0 0	1 0	0 0	0 0	0 0	4 0	0 0	0 0	0 0	3 0	0 0
Ostracoda	1 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	3 0	0 0	0 0	1 0	0 0
<b>Holoplankton total</b>	<b>389 99</b>	<b>578 60</b>	<b>388 82</b>	<b>1 434 90</b>	<b>176 86</b>	<b>7 034 90</b>	<b>4 984 89</b>	<b>2 834 82</b>	<b>873 82</b>	<b>2 485 81</b>	<b>1 851 97</b>	<b>1 915 98</b>
<b>MEROPLANKTON</b>												
Ascidacea	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Decapoda	0 7	10 3	8 9	11 3	0 0	108 14	95 16	35 6	18 10	3 1	3 6	0 0
Cirripedia	1 29	368 96	67 77	53 15	20 67	324 41	236 39	232 36	64 34	296 50	33 62	14 33
Bryozoa	1 21	3 1	1 2	0 0	0 0	22 3	4 1	30 5	26 14	53 9	3 6	3 7
Cnidaria	0 0	0 0	0 0	3 1	0 0	36 5	53 9	11 2	3 2	12 2	1 2	1 3
Bivalvia	0 0	0 0	0 0	5 1	0 0	22 3	106 17	19 3	44 23	21 4	2 4	1 3
Gastropoda	2 36	0 0	0 0	4 1	0 0	58 7	85 14	13 2	7 4	5 1	0 0	6 13
Polychaeta	0 7	3 1	10 11	10 3	0 0	144 18	28 5	78 12	24 13	193 32	11 21	17 40
Echinodermata	0 0	0 0	0 0	274 76	0 0	72 9	0 0	218 34	1 1	13 2	0 0	0 0
Poisson	0 0	0 0	1 1	1 0	10 33	14 2	0 0	0 0	0 0	2 0	0 0	0 0
<b>Méropilankton total</b>	<b>5 1</b>	<b>385 40</b>	<b>88 18</b>	<b>360 20</b>	<b>29 14</b>	<b>800 10</b>	<b>607 11</b>	<b>636 18</b>	<b>188 18</b>	<b>597 19</b>	<b>54 3</b>	<b>43 2</b>
<b>Zooplankton total</b>	<b>394</b>	<b>963</b>	<b>476</b>	<b>1 794</b>	<b>206</b>	<b>7 834</b>	<b>5 591</b>	<b>3 471</b>	<b>1 060</b>	<b>3 082</b>	<b>1 905</b>	<b>1 958</b>
Noctiluques (protistes)	0	0	0	129	56 406	10 969	483	175	12	0	0	0

Les noctiluques *Noctiluca scintillans* (dinoflagellés hétérotrophes) sont des protistes (organismes unicellulaires), ils ne font donc pas partie du mésozooplancton *sensu stricto*, mais de par leur taille (> 300µm) ils sont très bien retenus par la maille du filet WP2 (200 µm). Leur dénombrement est important, du fait de leur rôle dans la structuration des communautés planctoniques, mais il n'est pas inclus dans l'abondance zooplanctonique total discuté dans ce chapitre.

### L'holoplancton

#### **Les copépodes**

Les copépodes, étant la principale composante du zooplancton, leur dynamique mensuelle était très similaire (Figure B-51).

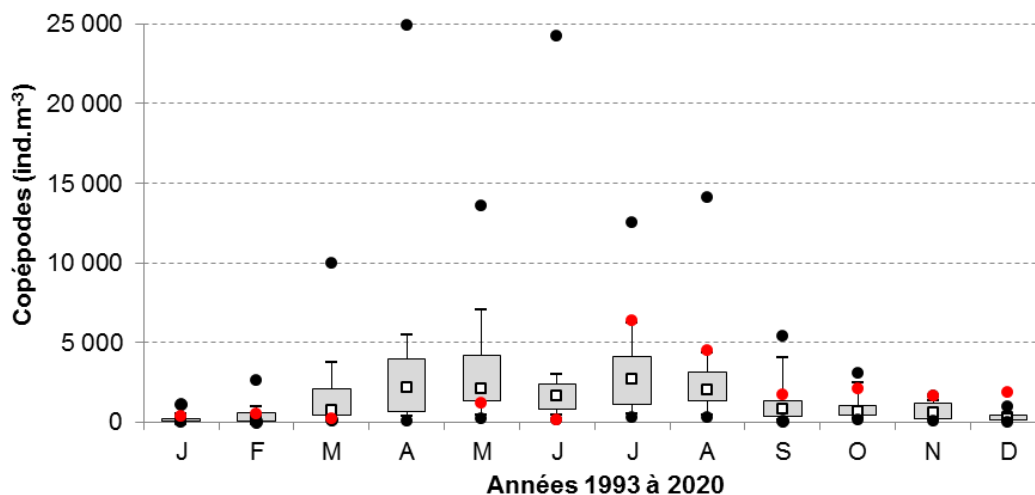


Figure B-51 : Évolution de l'abondance mensuelle des copépodes au point *Prise* (points rouges = données 2020 ; la boîte et les moustaches englobent respectivement 50 % et 80 % des valeurs 1993-2019, avec points noirs = données extrêmes et carrés blancs = médianes)

Jusqu'en juin, les jeunes stades copépodites représentaient en moyenne 75 % des copépodes, alors que durant le pic d'abondance estival ils n'en représentaient que la moitié et seulement le tiers en période automnale (Figure B-52).

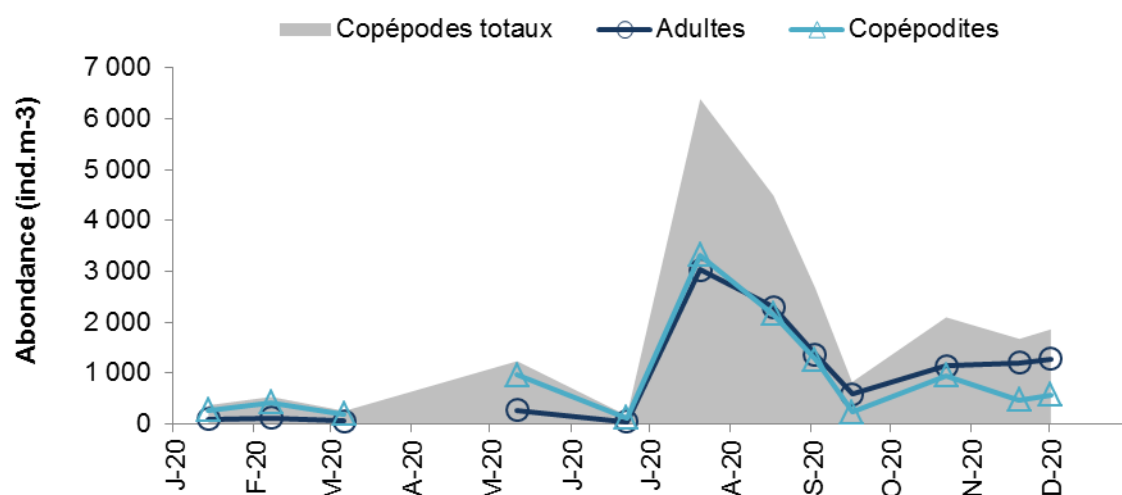


Figure B-52 : Évolution de l'abondance des copépodes (adultes et copépodites) au point *Prise* pour la période 2008 à 2020

Du fait de l'absence de prélèvements entre le 7 mars et le 10 mai, le pic d'abondance des espèces printanières (*Temora longicornis*, *Centropages hamatus* et *Pseudocalanus parvus*) n'a pu être observé cette année. Lors du prélèvement du mois de mai, seul *C. hamatus* présentait encore une abondance importante, supérieure à la médiane des observations depuis 1993 (Figure B-53). L'abondance de *P. elongatus* était faible toute l'année, y compris au mois de mai. Une étude publiée en 2010 sur 20 années de suivi des communautés zooplanctoniques devant Plymouth (Angleterre) confirme que *P. elongatus*, autrefois très abondant, est en diminution en Manche (Eloire *et al.*, 2010).

Faisant suite à l'importante prolifération des noctiluques au mois de juin, qui a vu s'effondrer les abondances zooplanctoniques, le mois de juillet a été marqué par de très fortes abondances de copépodes, y compris des espèces habituellement plus estivales comme *T. longicornis* et *C. hamatus*. Espèce estivale, *Acartia clausi* présentait un pic d'abondance assez important en juillet et août. Cette espèce est l'une des plus abondantes et fréquentes sur le site avec *T. longicornis*.

Enfin, *Paracalanus parvus* et *Euterpina acutifrons*, deux espèces estivales et automnales étaient très abondantes cette année. À l'exception du mois de novembre, les abondances de *P. parvus* étaient supérieures aux abondances moyennes observées depuis 1993 (> percentile 90). Les abondances d'*E. acutifrons* sont restées supérieures à 700 ind.m<sup>-3</sup> d'août à décembre, dépassant largement les maxima historiques des deux derniers mois de l'année.

Signalée pour la première fois sur le site de Gravelines en 2010 (Brylinski *et al.*, 2012), l'espèce de copépode d'origine asiatique, *Pseudodiaptomus marinus*, est depuis présente chaque année sur le site (Figure B-54 et ANNEXE B-19). En 2020, l'espèce a été observée en janvier, puis de juillet à décembre avec un maximum de 44 ind.m<sup>-3</sup> en octobre. Le cycle saisonnier de cette espèce se dessine peu à peu, avec une fréquence et des abondances plus importantes en automne et en hiver. C'est aussi en automne que les abondances des stades copépodites sont les plus importantes.

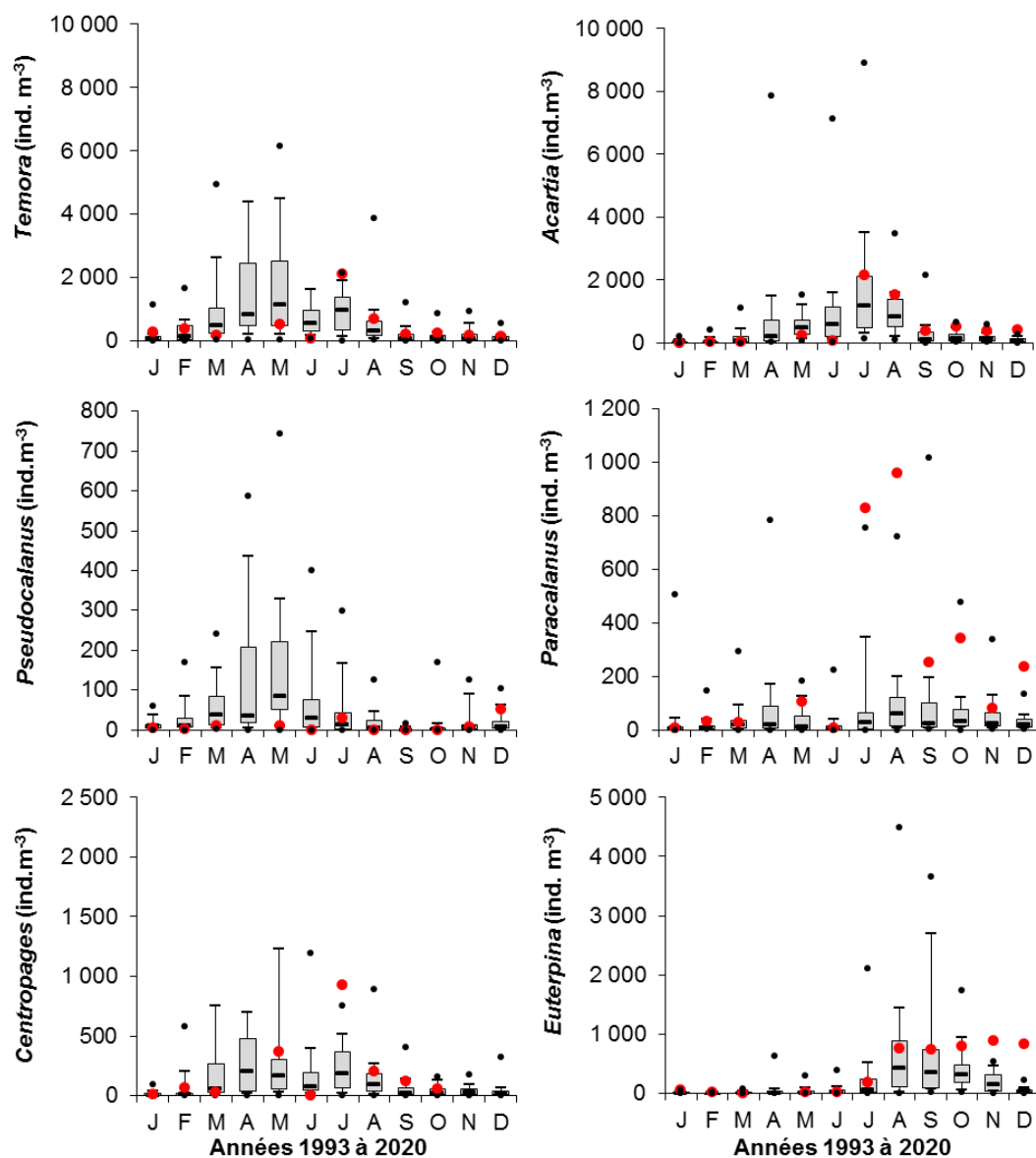


Figure B-53 : Évolution de l'abondance mensuelle des principales espèces de copépodes au point *Prise* (points rouges = données 2020 ; la boîte et les moustaches englobent respectivement 50 % et 80 % des valeurs 1993-2019, avec points noirs = données extrêmes et traits noirs = médianes)

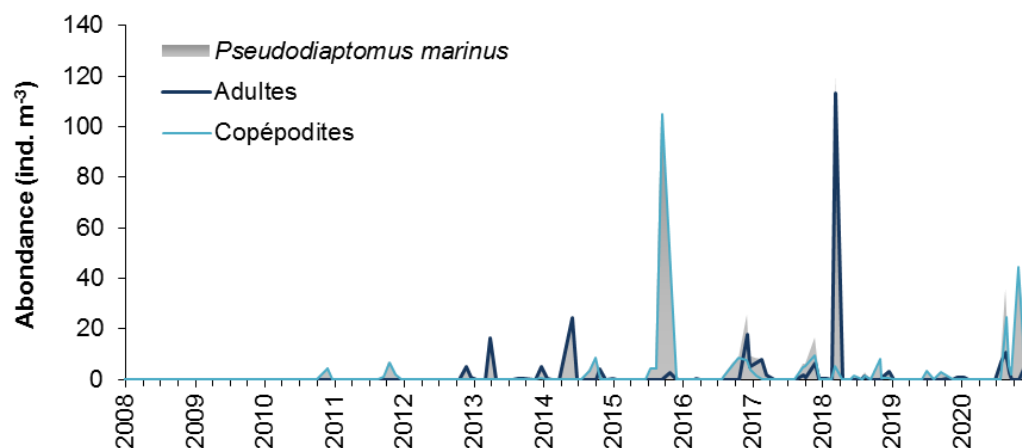


Figure B-54 : Évolution de l'abondance *Pseudodiaptomus marinus* (adultes et copépodites) au point *Prise* pour la période 2008 à 2020

### Les autres espèces holoplanctoniques

En dehors des copépodes d'autres espèces holoplanctoniques ont présenté des abondances parfois importantes en 2020 (Figure B-55).

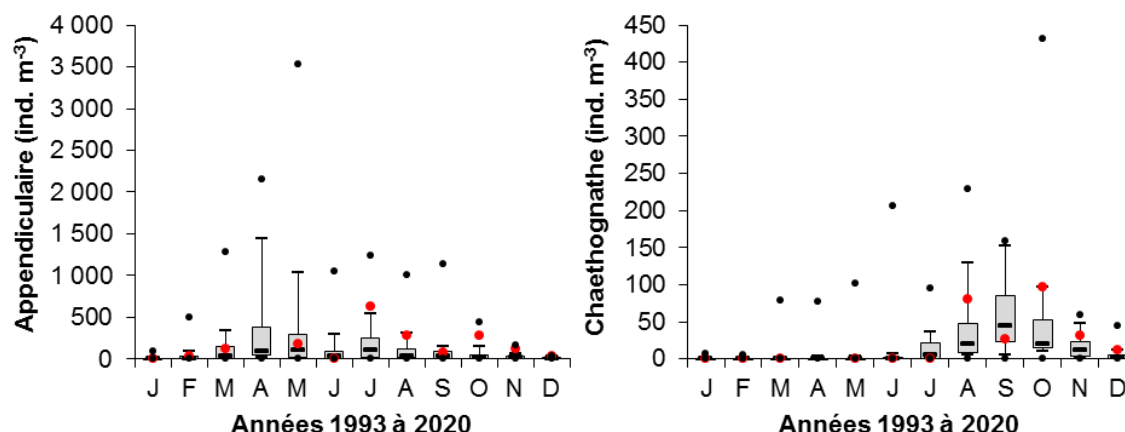


Figure B-55 : Abondance des appendiculaires et des chaetognathes au point Prise (points rouges = données 2020 ; la boîte et les moustaches englobent respectivement 50 % et 80 % des valeurs 1993-2019, avec points noirs = données extrêmes et traits noirs = médianes)

Les **appendiculaires** (chordés) sont des organismes filtreurs, en partie phytophages. Leur abondance dépend des fluctuations du phytoplancton et de la température de l'eau. Présent toute l'année ce groupe représentait entre 1 et 33 % de l'holoplancton (Tableau B-9). Comme pour les copépodes, l'abondance des appendiculaires a été plus importante au mois de juillet (627 ind.m<sup>-3</sup>). L'espèce *Oikopleura dioica* est la plus commune sur le site, favorisée par des communautés phytoplanctoniques abondantes et des températures particulièrement douces au début du printemps. En février et mars, l'espèce *Fritillaria borealis* était également présente, représentant respectivement 56 et 55 % des appendiculaires. Cette espèce est caractéristique des eaux côtières continentales moins salées (<34) venant de la baie sud de la Mer du Nord, alors que *O. dioica* est plutôt caractéristique des eaux de la Manche centrale ayant une salinité plus élevée (Wyatt, 1973).

Les **chaetognathes** du genre *Parasagitta* sont carnivores et se nourrissent principalement aux dépens des stocks de copépodes. Comme d'habitude, ils étaient plus abondants à la fin de l'été et en automne (97 ind.m<sup>-3</sup> en octobre). Les individus récoltés dans nos échantillons sont généralement juvéniles, les rares adultes identifiés appartenaient à l'espèce *Parasagitta setosa*.

Les **cténaïres**, représentés pour l'essentiel par la groseille de mer *Pleurobrachia pileus*, ont été très peu abondants lors des prélèvements 2020 (< 0,2 ind.m<sup>-3</sup> ; Figure B-56). Le suivi de cette année n'a pas permis de suivre correctement la dynamique de la population des groseilles, ni l'évolution mensuelle des classes de taille.

L'apparition d'une nouvelle espèce de cténaire, *Mnemiopsis leidyi*, ou noix américaine, le long des côtes françaises de la Mer du Nord est connue depuis 2009 (Antajan *et al.*, 2014) et est depuis observée chaque année depuis 2013, généralement en faible nombre (<0,1 ind.m<sup>-3</sup>) et plutôt à l'automne avec parfois des proliférations soudaines d'individus pouvant attendre 6 à 7 cm, comme ce fut le cas en novembre 2018 (jusqu'à 10 ind.m<sup>-3</sup>). Étonnamment en 2020, aucune observation de *Mnemiopsis* n'a été faite au point Prise.

Ces deux espèces de cténaïres font l'objet d'une attention particulière dans le cadre de la surveillance car leur prolifération pourrait entraîner des pertes de charge sur les premiers organes de filtration du CNPE (grilles de préfiltration CFI, d'une maille de 5 cm).

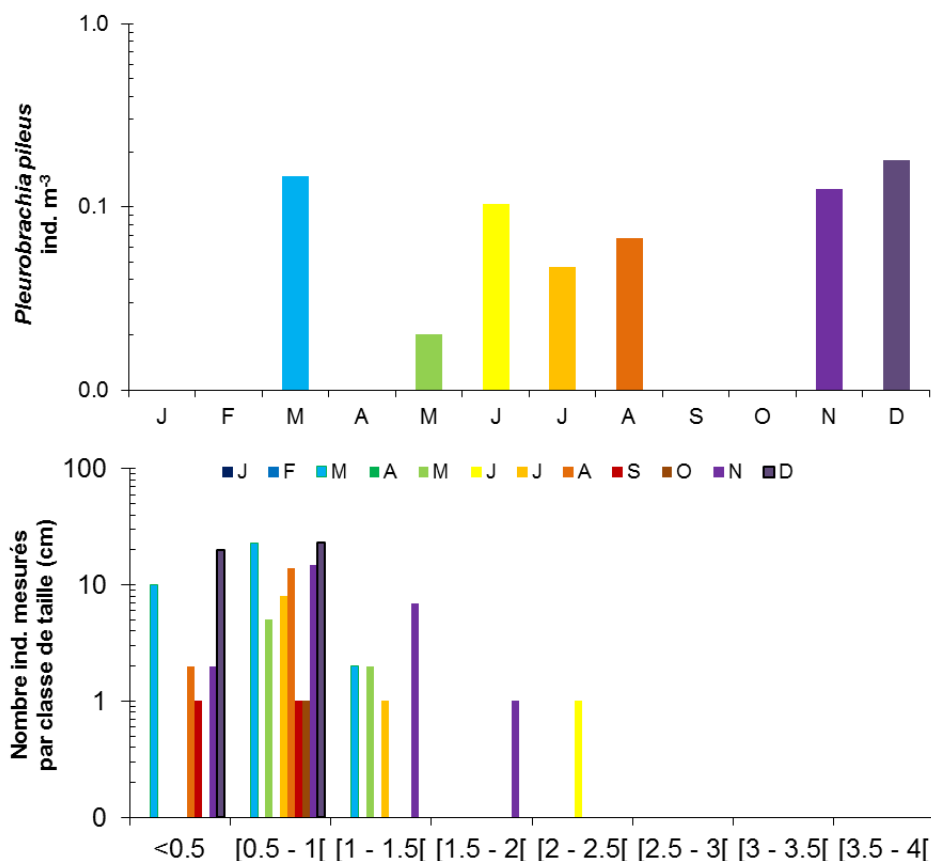


Figure B-56 : Abondance et distribution mensuelles des classes de taille (cm) de *Pleurobrachia pileus* (groseille de mer) au point Prise en 2020

### Le méroplancton

En 2020, la fraction méroplanctonique représentait moins de 20 % du zooplancton total, sauf en février (40 %) du fait de la présence de larves de cirripèdes (Tableau B-9). L'abondance des divers groupes méroplanctoniques est très fluctuante d'une année à l'autre car l'apparition des stades larvaires de ces groupes dans le plancton est assez brève et les prélèvements mensuels ne coïncident pas toujours (Figure B-57). Un suivi plus précis de cette fraction du zooplancton nécessiterait une fréquence d'échantillonnage *a minima* bimensuelle.

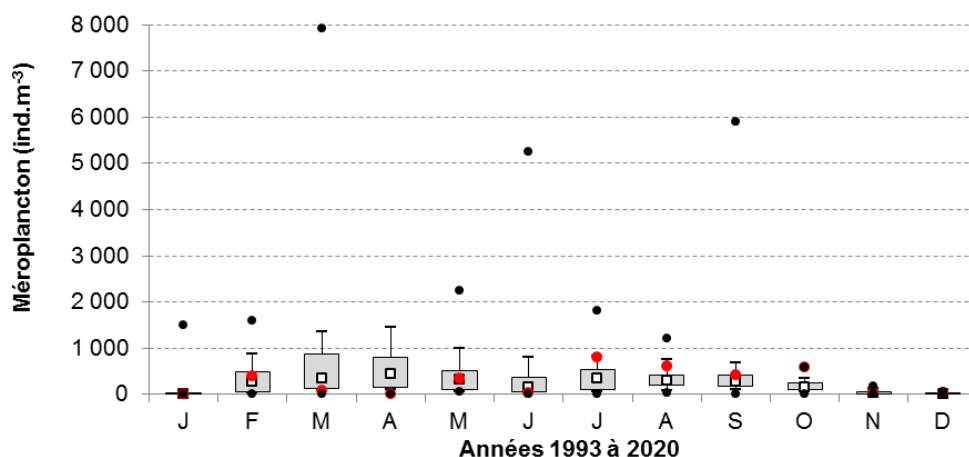


Figure B-57 : Abondance du méroplancton au point Prise (points rouges = données 2020 ; la boîte et les moustaches englobent respectivement 50 % et 80 % des valeurs 1993-2019, avec points noirs = données extrêmes et carrés blancs = médianes)

## B.4.4 SURVEILLANCE DU MILIEU RECEPTEUR

### B.4.4.1 BIOMASSE SESTONIQUE

Lors des deux campagnes, la biomasse sestonique était plus faible au point *Prise* par rapport aux points *Contrôle* et *Référence* (Figure B-58 et ANNEXE B-18). En septembre, la biomasse sestonique au point *Contrôle* était 4 fois supérieure au point *Prise* et 2,7 fois supérieure au point *Référence* alors qu'en juin les deux points *Contrôle* et *Référence* étaient équivalents.

En juin, les rapports C/N aux points *Prise* et *Référence* étaient plus importants qu'au point *Contrôle*, dont le rapport C/N était caractéristique d'une composante zooplanctonique dominante dans le seston (Figure B-59 et ANNEXE B-18).

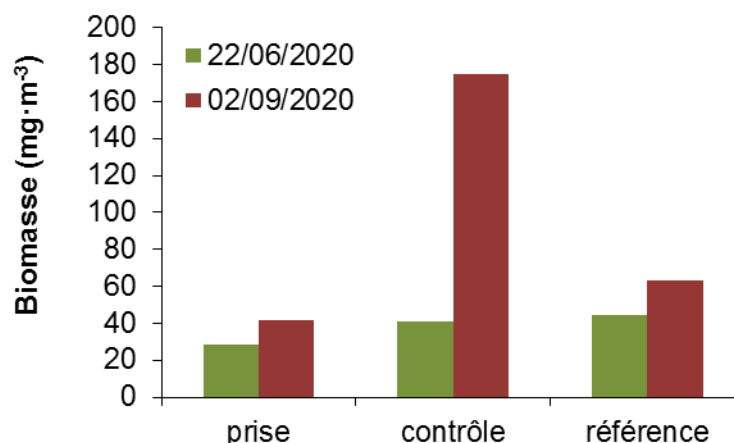


Figure B-58 : Biomasse sestonique lors des campagnes pélagiques 2020

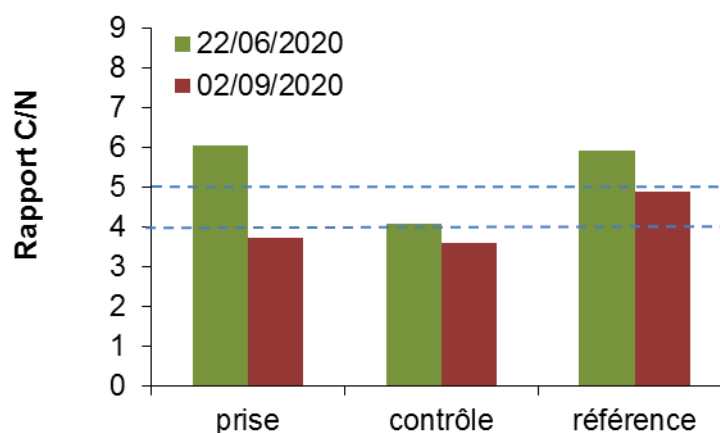


Figure B-59 : Rapport C/N du seston lors des campagnes pélagiques 2020 (lignes hachurées : seuils théoriques du rapport C/N pour le zooplancton)

### B.4.4.2 ABONDANCE ET COMPOSITION

La campagne de juin a eu lieu durant le bloom de *Noctiluca scintillans*, dont les individus étaient surtout concentrés au point *Contrôle* (Figure B-60). Lors des deux campagnes, les abondances zooplanctoniques étaient plus importantes au point *Référence*, notamment en juin du fait de la forte concentration des noctiluques à la côte. La proportion entre les différentes composantes zooplanctoniques était également différente au point *Référence*, avec davantage d'organismes holoplanctoniques (principalement des appendiculaires) en juin et de larves méroplanctoniques (notamment d'échinodermes) en septembre. Cette différence entre les points *Prise* et *Référence*, peu ou pas influencés par les rejets d'eaux du CNPE, est plutôt à imputer à leur positionnement géographique (enclavement du point *Prise* dans l'Avant-Port Ouest de Dunkerque, profondeur plus importante au point *Référence* et brassage plus important). L'abondance et la composition

zooplanctonique au point *Contrôle* étaient semblables à celles du point *Prise* lors des deux campagnes.

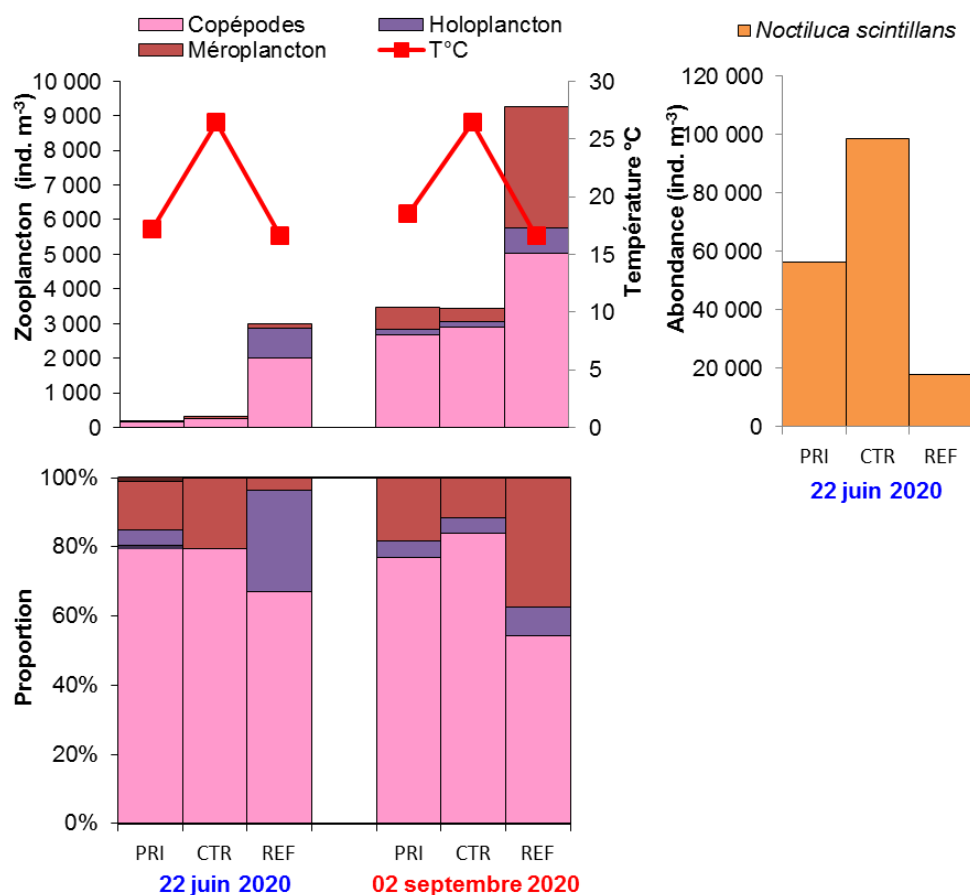


Figure B-60 : Température, abondance et proportion des copépodes, de l'holoplancton et du méroplancton lors des campagnes pélagiques 2020

### L'holoplancton

#### Les copépodes

Lors des deux campagnes, les abondances de copépodes étaient plus importantes au point *Référence* alors qu'elles étaient du même ordre de grandeur aux points *Prise* et *Contrôle* (Figure B-61). Les proportions des jeunes stades de développement, nauplii et copépodites, étaient identiques entre les points en juin, alors qu'en septembre, les stades copépodites étaient plus abondants par rapport aux copépodes adultes en allant vers le large.

La proportion entre les principales espèces de copépodes était un peu différente au point *Prise* en juin et septembre, notamment du fait du copépode harpacticoïde *Euterpina acutifrons* qui est plus abondant à la côte (Figure B-62). Cette espèce automnale est de plus petite taille que les autres espèces de copépodes (appartenant à la famille des calanoides ou des cyclopoides) et à un mode de vie étroitement lié aux sédiments ce qui explique qu'elle soit souvent plus abondante aux points *Prise* ou *Contrôle*. En général, seuls les adultes (surtout des femelles) sont collectés dans la colonne d'eau avec les filets à plancton, soit que les copépodites soient trop petits et passent à travers la maille du filet, soit qu'ils vivent trop près du fond pour être collectés.

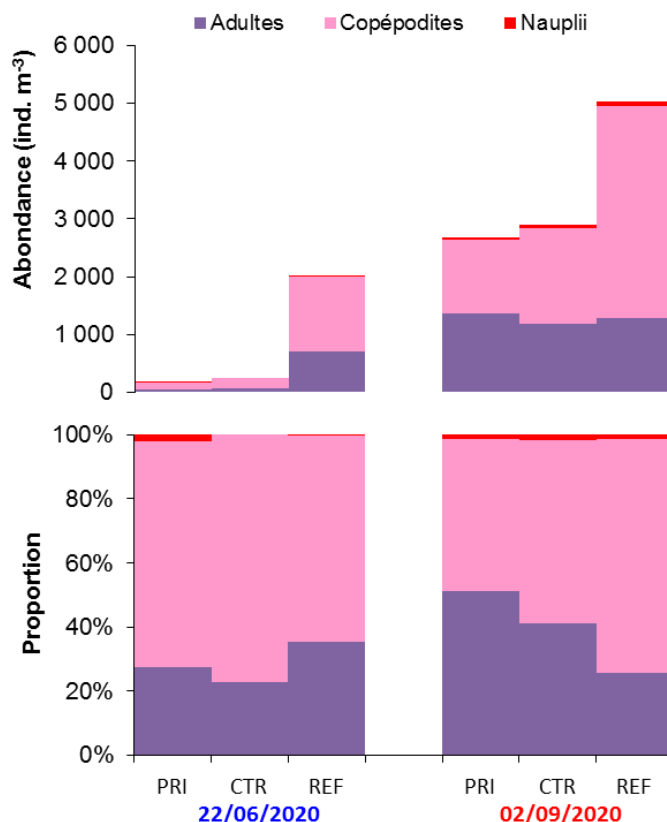


Figure B-61 : Abondance et proportion des stades de copépodes lors des campagnes pélagiques 2020

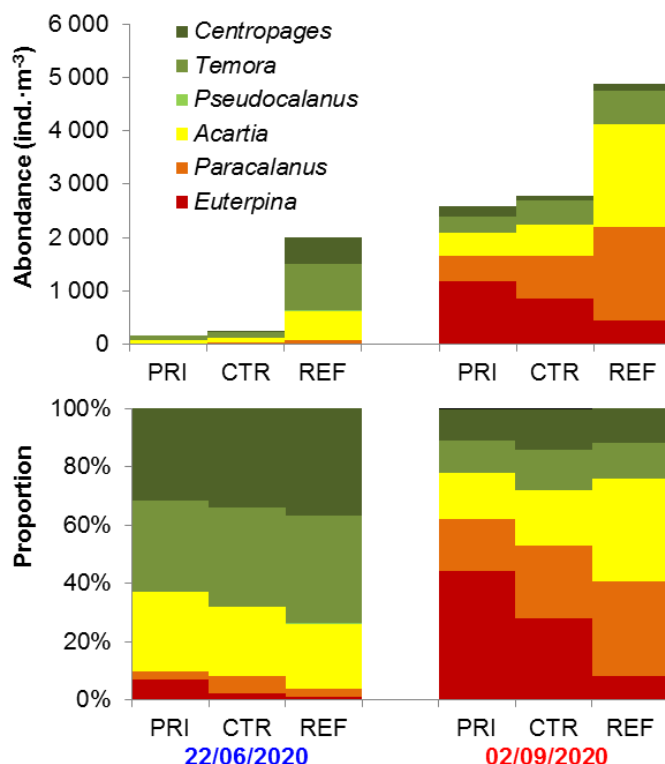


Figure B-62 : Distribution des principales espèces de copépodes lors des campagnes pélagiques 2020

### Les autres espèces holoplanctoniques

Les appendiculaires (*Oikopleura dioica*) et les chaetognathes (*Parasagitta setosa*) étaient toujours plus abondants au point Référence (Figure B-63). En juin, la quasi absence des appendiculaires aux points Prise et Contrôle est à relier avec la forte concentration de noctiluques à la côte, qui a dû maintenir les appendiculaires au large. Une fois le bloom de noctiluques passé, les appendiculaires



ont été de nouveau présents au point *Prise* comme on a pu l'observer en juillet (cf. Figure B-55). En septembre, les chaetognathes présentaient comme leurs proies (copépodes) un gradient croissant de la côte vers le large.

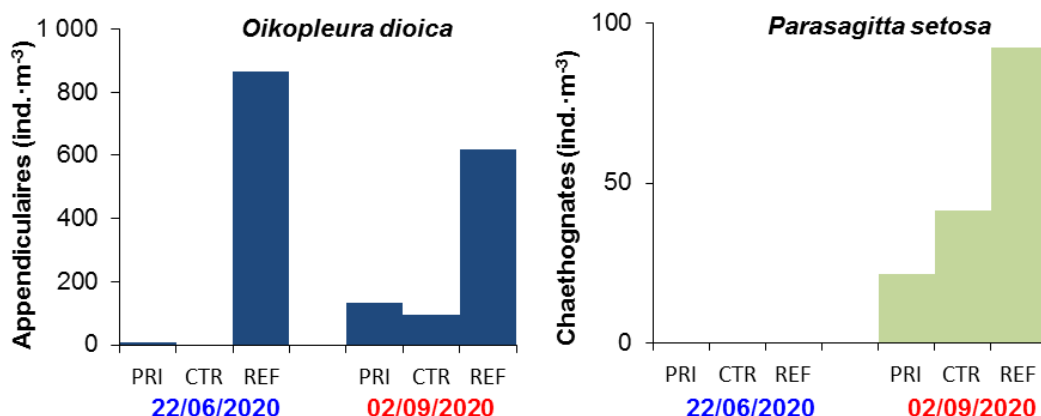


Figure B-63 : Distributions des appendiculaires et des chaetognathes lors campagnes pélagiques 2020

### Le méroplancton

Les variations d'abondance du méroplancton lors des deux sorties en mer annuelles ne sont étudiées que pour les groupes dominants (Figure B-64).

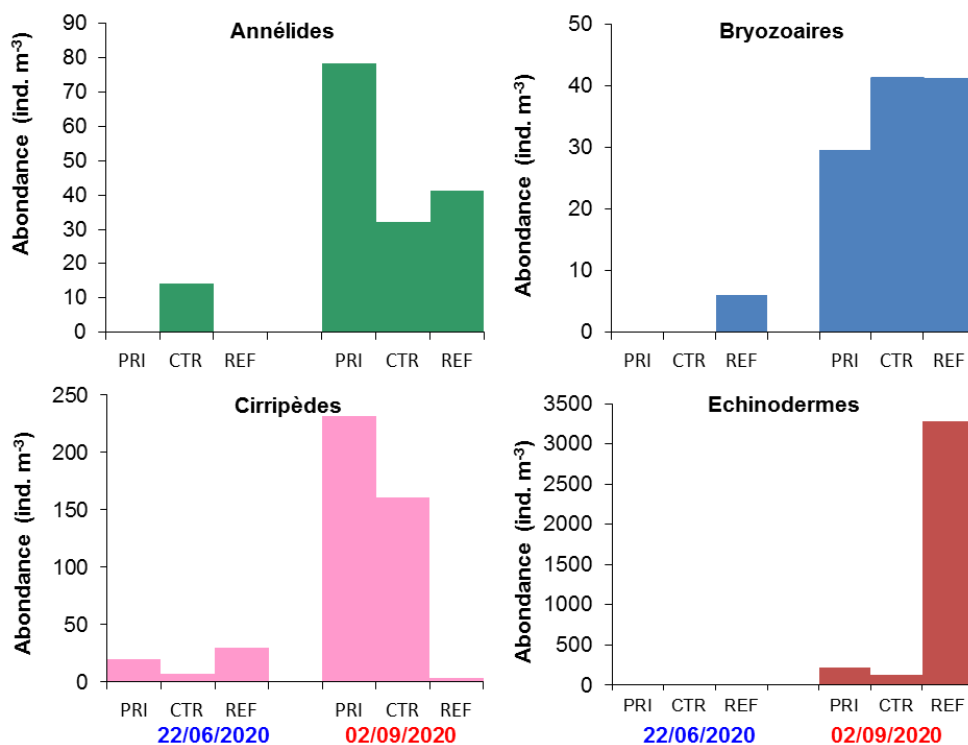


Figure B-64 : Distribution des principaux méroplanctontes lors des campagnes pélagiques 2020

Contrairement aux organismes holoplanctoniques, qui étaient plus abondants au point *Référence*, les larves méroplanctoniques étaient peu nombreuses lors de la campagne de juin sur l'ensemble des points. La campagne de septembre était caractérisée par la présence de larves pluteus d'ophiures (*Ophiotrix fragilis*) très abondantes au point *Référence* (15 à 26 fois plus qu'à la côte). A l'inverse, les larves nauplii de cirripèdes étaient plus abondantes aux points *Prise* et *Contrôle* et quasi absente au large. Les larves d'annélides et de bryozoaires présentaient des distributions encore différentes. Il est surprenant de constater combien les larves méroplanctoniques, bien qu'ayant peu de capacité natatoire et étant strictement soumises au courant, ont une distribution très différentes d'un groupe à l'autre, les abondances au point *Contrôle* étant selon le groupe de même ordre de grandeur que le point *Prise* ou le point *Référence*, ou bien intermédiaires entre les deux points.

## B.4.5 CONCLUSIONS

Comme pour les années antérieures, la biomasse sestonique présentait de grandes variations mensuelles, sans qu'on puisse les relier aux variations d'abondance ou de composition du zooplancton. La campagne pélagique de septembre a mis en évidence que la biomasse sestonique était beaucoup plus importante au point *Contrôle* situé dans le panache de rejet du CNPE, mais pas l'abondance zooplanctonique. Les rapports C/N ont montré que le seston présentait une composante phytoplanctonique parfois importante.

L'absence de prélèvements entre le 7 mars et le 10 mai en raison du confinement lié à la pandémie du COVID-19, n'a pas permis d'observer le pic d'abondance printanier habituel du mois d'avril juste avant les faibles abondances observées en juin du fait de la prolifération des noctiluques qui était particulièrement importante cette année. Toutefois, pour le reste de l'année les abondances étaient conformes à la dynamique saisonnière observée depuis 1993, et souvent très supérieures aux valeurs moyennes de la série historique. La composition et la succession des espèces restent classiques, bien que l'annulation de la campagne d'avril n'ait pas permis d'observer la prolifération habituelle du méroplancton au printemps. **L'apparition et la succession des espèces holoplanctoniques, notamment des copépodes, des appendiculaires et des chaetognathes, étaient conformes à ce que l'on observe habituellement sur le site du CNPE de Gravelines et sont caractéristiques des milieux tempérés de la Manche est et de la Mer du Nord.**

Cette année aura permis de confirmer la présence sur le site de Gravelines du copépode exotique *Pseudodiaptomus marinus*, découvert en 2010. Depuis deux ans, cette espèce apparaît dans les pêches dès l'été et généralement jusqu'au début de l'hiver avec un pic d'abondance à l'automne où les jeunes stades copépodites sont plus abondants. Depuis quatre ans, cette espèce est également observée en automne sur le site de Penly et depuis deux ans à Paluel. Il semble donc, que l'aire de répartition de cette espèce s'étende sur les côtes françaises de la Manche est. À ce jour, cette espèce n'a pas encore été observée sur le site de Flamanville.

La situation géographique particulière du point *Prise* (Avant-Port Ouest de Dunkerque, phénomène de rétention des eaux plus important) par rapport au point *Référence*, situé plus au large, explique les différences d'abondances que l'on peut observer entre ces points lors des campagnes pélagiques, sans que cela soit en lien avec les activités du CNPE. Ainsi, lors de la campagne de juin, les fortes concentrations de noctiluques sur les deux points très côtiers (*Prise* et *Contrôle*) sont à relier avec les conditions hydroclimatiques, températures en hausses, absence ou vents faibles (faible brassage vertical) et la concentration par les courants de surface dans les zones frontales (*Contrôle*) et les secteurs confinés (*Prise*). Ces proliférations peuvent générer des manifestations d'eaux colorées, appelées "eaux rouges", assez spectaculaires mais généralement de courtes durées, et peuvent entraîner une modification de l'abondance et de composition zooplanctonique par rapport à des zones moins impactées (comme au point *Référence*). En septembre, on constate que les abondances et la composition zooplanctonique observées au point *Contrôle* étaient comparables à celles faites au point *Prise*.

**La structure des communautés zooplanctoniques ne présentait donc pas de caractéristiques pouvant mettre en cause l'activité du CNPE de Gravelines en 2020.**

# MISE EN PERSPECTIVE DES RESULTATS AVEC LA DCE

## **Rédaction/mise en page**

David Devreker (LER-BL)

Guillaume Wacquet (LER-BL)

## **Prélèvements et mesures *in situ***

IFREMER (LER-BL)

## **Analyses/Traitement des données**

IFREMER (LER-BL)

## **Expertise thématique**

David Devreker (LER-BL)



## B.5 MISE EN PERSPECTIVE DES RESULTATS AVEC LA DCE

### B.5.1 RAPPEL DES OBJECTIFS DCE DANS LE BASSIN ARTOIS-PICARDIE

La surveillance et la protection de l'environnement nécessitent la mise en place d'un certain nombre de programmes pour évaluer l'état écologique et l'état chimique des eaux. Dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE - 2000/60/CE), il s'agit de donner la priorité à la protection de l'environnement en demandant de veiller non seulement à la non dégradation de la qualité des eaux et d'atteindre pour 2021 un bon état général pour les eaux côtières, mais aussi pour les eaux de transition (ce qui correspondrait à un « léger » écart aux conditions de référence).

Les masses d'eau, qui font l'objet du contrôle de surveillance DCE dans le bassin Artois-Picardie, sont au nombre de 9 (Figure B-65) :

- 5 masses d'eau côtières,
- 4 masses d'eau de transition.



source : Ifremer, SHOM, IGN Projection : Lambert 2 étendue

Figure B-65 : Masses d'eau côtières et de transition du bassin Artois-Picardie

Le site du CNPE de Gravelines est donc concerné par les masses d'eau FRAT04 (Port de Dunkerque) et FRAC02 (Malo – Gris-Nez). Le point le plus côtier de la radiale de Dunkerque des réseaux REPHY / SRN (Figure B-66), mis en œuvre par l'Ifremer et l'Agence de l'Eau Artois-Picardie, constitue le point de mesure DCE pour les masses d'eau FRAC02 et FRAC01 (Lefebvre et Perrouchet, 2016).

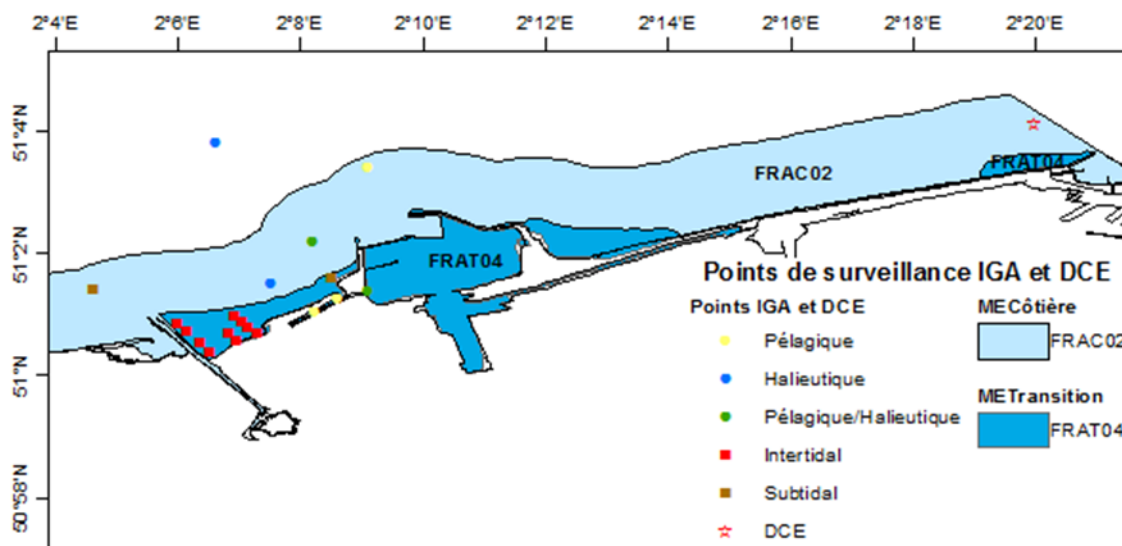


Figure B-66 : Localisation des points de surveillance IGA (par domaine) et DCE pour les masses d'eau côtière et de transition entourant le site du CNPE de Gravelines

Les paramètres de suivis concernant la DCE dans le bassin Artois-Picardie varient en fonction des masses d'eaux. Ainsi, les éléments de qualité jugés pertinents pour les eaux côtières et de transition sont de 3 types :

- des paramètres biologiques (seul le phytoplancton sera considéré dans le présent chapitre, car les invertébrés benthiques seront abordés dans les chapitres C.1 et C.2 de ce rapport),
- des paramètres chimiques et physico-chimiques (seuls les paramètres température, transparence, oxygène et nutriments seront considérés dans le présent rapport),
- des paramètres hydro-morphologiques (non considéré dans le présent rapport).

Chacun de ces paramètres permet de classer les masses d'eau, mais une combinaison des trois paramètres permettra d'en évaluer la qualité écologique et chimique. Chaque métrique ou indice est transformé en EQR (Ecological Quality Ratio), rapport impliquant la valeur de référence et la valeur de la métrique. Il en résulte une quantité variant entre 0 et 1, 0 étant le plus mauvais score et 1 le meilleur. Le déclassement pour un élément de qualité va entraîner le déclassement de la masse d'eaux considérée (règle du One Out, All Out).

A noter que la DCE considère que les paramètres biologiques et hydrologiques ne sont pas pertinents dans les ports. Par conséquent, les résultats pour le point *Prise* présentés dans ce rapport ne peuvent en aucun cas être considérés comme une évaluation au sens de la DCE.

## B.5.2 ELEMENTS DE QUALITE SUIVIS

Les résultats détaillés de l'évaluation de la qualité des masses d'eau au sens de la DCE dans le bassin Artois-Picardie pour la période 2011-2016 peuvent être consultés via le site internet : [http://envlit.ifremer.fr/surveillance/directive\\_cadre\\_sur\\_l\\_eau\\_dce/la\\_dce\\_par\\_bassin/bassin\\_artois\\_picardie/fr](http://envlit.ifremer.fr/surveillance/directive_cadre_sur_l_eau_dce/la_dce_par_bassin/bassin_artois_picardie/fr)<sup>14</sup>. Ce sont les résultats utilisés pour l'Etat des Lieux DCE 2020 réalisé tous les 6 ans. Ces résultats ne seront pas mis à jour avant le prochain Etat des Lieux DCE (2025)<sup>15</sup>, ce sont les mêmes que ceux présentés dans le rapport IGA du cycle de surveillance 2016-2017.

<sup>14</sup> Les résultats du site n'ont pas été mis à jour depuis 2016

<sup>15</sup> <https://www.eau-artois-picardie.fr/letat-des-lieux-2019-du-bassin-artois-picardie>

### B.5.2.1 ELEMENTS DE QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE

#### Température

L'indicateur température est définie comme le pourcentage de mesures hors d'une enveloppe considérée comme assurant le bon fonctionnement écologique de l'écosystème. Il permet un classement en deux états : très bon ou bon. Le très bon état est atteint lorsque plus de 95 % des valeurs mesurées mensuellement entre janvier et décembre sont comprises dans l'enveloppe de référence. L'élément de qualité température est évalué en bon état pour l'ensemble des masses d'eaux côtières du bassin Artois-Picardie. Pour les masses d'eaux de transition et pour les ports, cet élément de qualité est jugé non pertinent.

#### Transparence

L'indicateur transparence est représenté par le paramètre turbidité. La métrique de cet indicateur est définie comme le percentile 90 de la turbidité (NTU) mesurée mensuellement entre mars et octobre. L'élément de qualité transparence est évalué en très bon état pour l'ensemble des masses d'eaux côtières du bassin Artois-Picardie. Pour les masses d'eaux de transition et pour les ports, cet élément de qualité est jugé non pertinent.

#### Oxygène dissous

L'indicateur oxygène est représenté par la concentration en oxygène mesuré à un mètre au-dessus du fond entre juin et septembre. La métrique retenue est le percentile 10 de la concentration en oxygène exprimé en  $\text{mg.l}^{-1}$ . Cet élément de qualité est évalué en très bon état pour l'ensemble des masses d'eaux côtières du bassin Artois-Picardie. Pour la masse d'eau Port de Dunkerque (FRAT04) cet élément de qualité ne fait pas l'objet d'un contrôle de surveillance.

#### Nutriments

L'élément de qualité nutriments est évalué à l'aide des résultats d'analyses sur les prélèvements effectués en surface (0-1 m) à pleine mer +/- 2 heures, de novembre à février pour les masses d'eau côtières et de transition. L'indicateur DCE nutriment est défini comme étant la combinaison des indices ammonium, nitrate, nitrite, phosphate et silicate. A ce jour, la pertinence des indices phosphate et silicate est toujours à l'étude. Ainsi, pour l'instant, l'indicateur nutriments intègre uniquement les concentrations d'azote inorganique dissous (NID), c'est à dire la somme ammonium + nitrate + nitrite.

Cette concentration en NID est relativisée par rapport au fonctionnement propre des différents milieux. Pour ce faire, un symptôme primaire d'eutrophisation, la chlorophylle  $a$ , est utilisé. Ainsi, en s'appuyant sur la correspondance entre la concentration en NID normalisée à une salinité de 33 et les valeurs de RQE de l'indice chlorophylle  $a$  dans les masses d'eau disposant de longues séries de données, les valeurs seuils pour l'élément de qualité NID sont définies. Au contraire de ce qui est pratiqué pour d'autres paramètres, cet indicateur n'est pas calculé masse d'eau par masse d'eau, mais sur des écotypes regroupant des masses d'eau adjacentes, de façon à disposer d'un nombre suffisant de données de concentrations de NID à différentes salinités. Ainsi, on ne dispose que d'une valeur de NID (teneur normalisée pour une salinité de 33) par écotype.

L'état physico-chimique des masses d'eau de la côte des dunes de Flandres et de la côte d'Opale, en fonction des nutriments, est évalué comme bon (Figure B-67). Seul le port de la Baie de Somme présente un état moyen. Pour la masse d'eau Port de Dunkerque (FRAT04) cet élément de qualité ne fait pas l'objet d'un contrôle de surveillance.

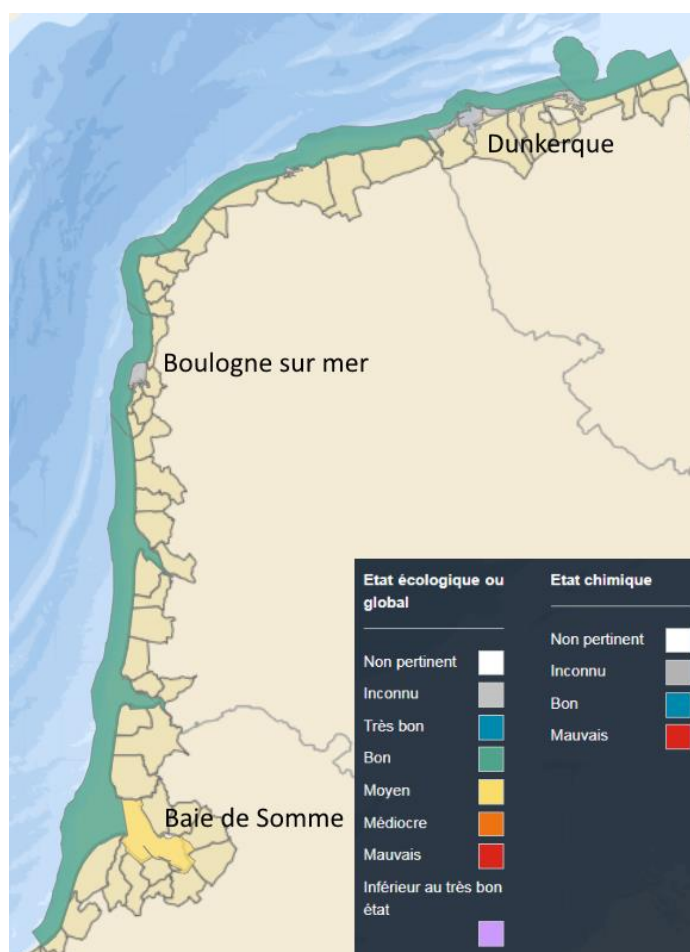


Figure B-67 : Évaluation de l'état physico-chimique des masses d'eau en date du 01/01/2017 en fonction des nutriments dans le cadre du programme de surveillance de la DCE

### B.5.2.2 ELEMENT DE QUALITE BIOLOGIQUE : LE PHYTOPLANCTON

Trois indicateurs (chlorophylle  $a$ , le nombre de bloom et la composition des espèces) ont été retenus pour l'élément de qualité phytoplancton. L'indicateur retenu pour la biomasse est la concentration en chlorophylle  $a$  (utilisé comme un symptôme primaire d'eutrophisation). L'indicateur de l'élément de qualité phytoplancton résulte de la combinaison des indices biomasse, abondance et composition (ce dernier étant en cours de développement) pour toutes les masses d'eau côtières et de transition.

L'indice de biomasse correspond au percentile 90 des données de concentration en chlorophylle  $a$  sur les 6 années du plan de gestion. L'utilisation du percentile 90 permet de relativiser les plus forts pics de chlorophylle.

L'indice d'abondance est calculé à partir du nombre de blooms observés dans chaque masse d'eau pendant les 6 ans du plan de gestion. Dans la DCE, un bloom correspond à :

- une prolifération supérieure à 250 000 cell. $\cdot$ l<sup>-1</sup> pour les petites cellules dont la taille est comprise entre 5  $\mu$ m et 20  $\mu$ m,
- une prolifération supérieure à 100 000 cell. $\cdot$ l<sup>-1</sup> pour les grandes cellules dont la taille est supérieure ou égale à 20  $\mu$ m.

L'état biologique des masses d'eau du bassin Artois-Picardie, en fonction de l'élément de qualité phytoplancton, est évalué comme moyen pour l'ensemble des masses d'eau côtières du Nord-Pas-de-Calais et de Picardie, bon pour la zone allant du Cap Gris-Nez à Boulogne-sur-Mer et médiocre pour la Baie de Somme (Figure B-68). Les résultats pour les ports de Dunkerque et Boulogne sont jugés non pertinents pour évaluer la qualité de ces masses d'eau turbides.





Figure B-68 : Évaluation de l'état biologique des masses d'eau en date du 01/01/2017 pour l'élément de qualité phytoplancton dans le cadre du programme de surveillance de la DCE

### B.5.2.3 BILAN DE L'ÉVALUATION DE L'ÉTAT ÉCOLOGIQUE 2010-2016 DU BASSIN ARTOIS-PICARDIE

L'état écologique (physico-chimique et biologique) des ports de Boulogne et Dunkerque sont considérés comme bons au regard des critères de la DCE, alors que la Baie de Somme est médiocre (Figure B-69). Cette dernière est déclassée en raison des proliférations phytoplanctoniques. Toutefois, les eaux côtières et de transitions ne sont pas réellement impactées par les ports. En effet, les côtes du Nord-Pas-de-Calais et de Picardie sont de qualité moyenne, excepté le cap Gris-Nez dont l'état écologique est évalué comme mauvais et la zone proche de Boulogne-sur-Mer dont l'état écologique est évalué comme bon.

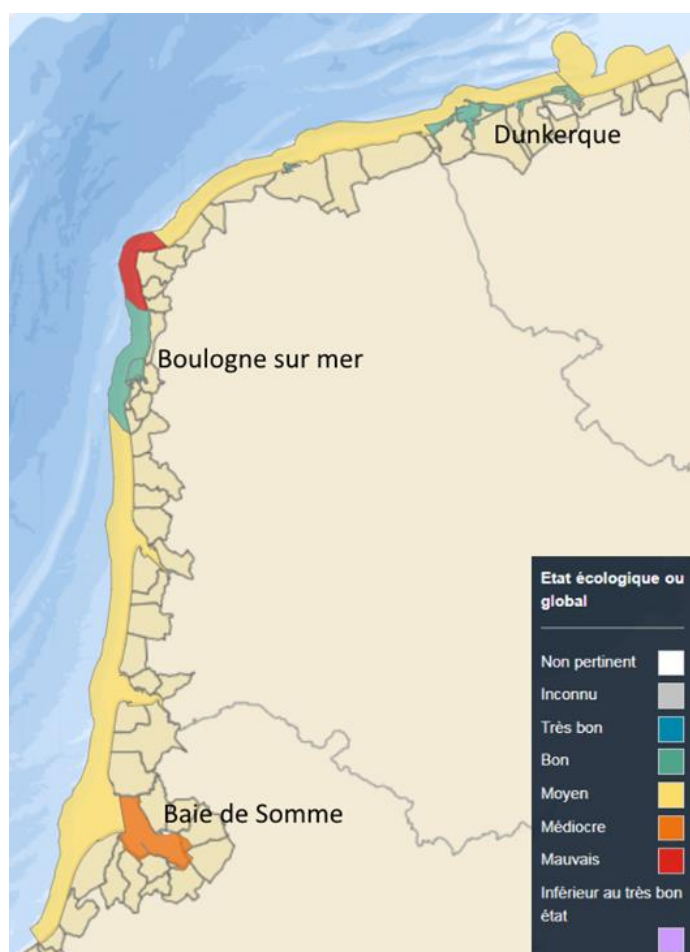


Figure B-69 : Évaluation de l'état écologique (biologie et physico-chimie) des masses d'eau entre 2011 et 2016 dans le cadre du programme de surveillance de la DCE

### B.5.3 COMPARAISON DES RESULTATS DE LA SURVEILLANCE ECOLOGIQUE IGA ET DCE

Les données DCE actuellement disponibles sur le site internet concernent la période 2011-2016. Afin de permettre une meilleure comparaison des résultats physico-chimiques et phytoplanctoniques de la surveillance IGA 2020 au point *Prise* avec ceux de la surveillance DCE au point *Dunkerque 1*, les résultats collectés et validés sur ce même point dans le cadre du Suivi Régional des Nutriments (SRN)<sup>16</sup> ont été utilisés afin d'étendre la série sur la période 2006-2020.

#### B.5.3.1 TEMPERATURE

L'évolution temporelle des températures au point côtier DCE *Dunkerque 1* suit le schéma classique d'un système tempéré côtier : des températures plus froides en hiver, avec une moyenne minimale en février à 6,3 °C, et des températures plus chaudes en été, avec un maximum en août à 19,4 °C (Figure B-70).

Les températures de 2020 mesurées au canal de prise (thermographe 10, EDF) étaient légèrement supérieures aux normales saisonnières relevées depuis 1986, mais également à celles mesurées depuis 2006 au point *Dunkerque 1* (en moyenne de  $1,5 \pm 0,7$  °C).

<sup>16</sup> Le Suivi Régional des Nutriments (SRN) est mise en œuvre par l'Ifremer Boulogne-sur-Mer, en collaboration avec l'Agence de l'Eau Artois-Picardie.

Les températures mesurées au point *Référence* lors des campagnes de prélèvement dans le milieu récepteur du CNPE de Gravelines étaient dans les normales saisonnières mesurées au point *Dunkerque 1* en juin (16,6 °C), mais inférieures aux normales saisonnières en septembre (16,6 °C).

#### Variation du paramètre TEMP à DUNK. de 2006 à 2020

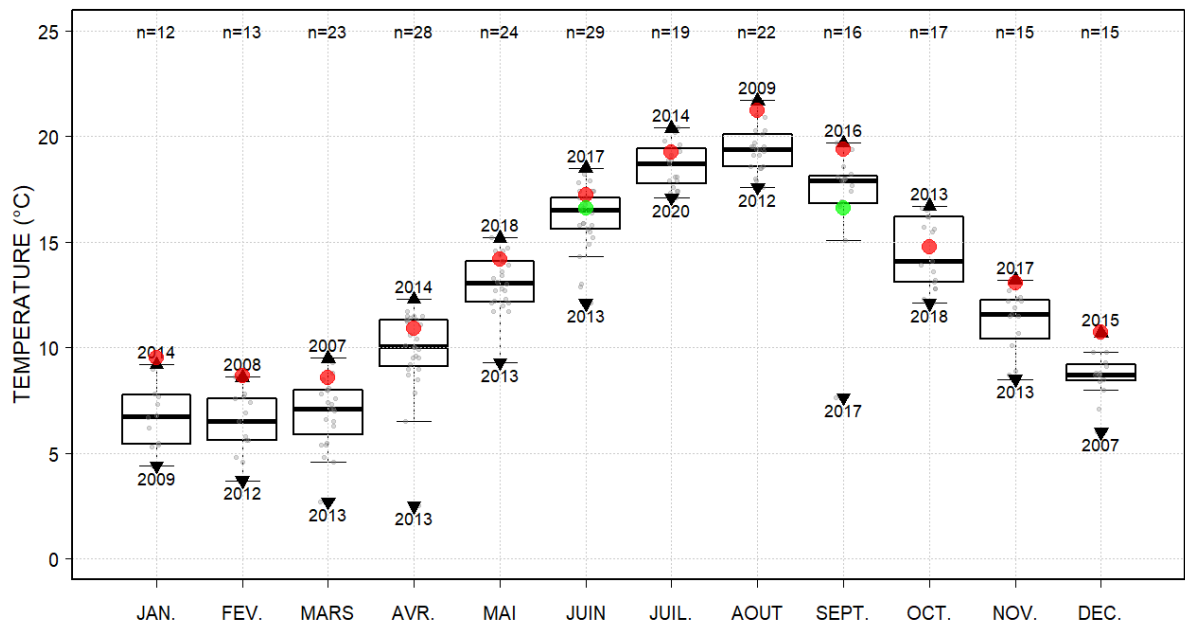


Figure B-70 : Variation mensuelle de la température mesurée au canal de prise (points rouges = données moyennes 2020, points verts = mesures au point *Référence* lors des deux campagnes pélagiques) et au point *Dunkerque 1* de la surveillance DCE pour la période 2006 à 2020 (voir Figure B-24 pour détail des boxplots)

#### B.5.3.2 TURBIDITE

La turbidité en surface mesurée au point *Dunkerque 1* est généralement plus forte en automne-hiver (8 à 13 FNU en moyenne) du fait des conditions plus venteuses, qui vont accentuer le brassage des masses d'eaux et la remise en suspension de sédiments, et pluvieuses, qui vont accentuer les apports fluviaux (Figure B-71). En été, par contre, la turbidité au point *Dunkerque 1* est plus faible (4 à 6 FNU en moyenne) et surtout présente une variabilité moindre qu'en période hivernale, signe de conditions météorologiques plus stables. C'est pour cela que ce paramètre n'est considéré comme pertinent pour la DCE qu'entre mars et octobre.

La turbidité mesurée au point *Prise* en 2020 était bien supérieure aux valeurs mesurées sur le point *Dunkerque 1* en début d'année (14 à 25 FNU) mais a fortement diminué en avril-mai. En été, la turbidité est remontée pour être légèrement supérieure à celle mesurée au point *Dunkerque 1*. Un pic assez important a été mesuré en octobre à 18 FNU, alors que les valeurs de fin d'année sont restées sous la moyenne de *Dunkerque 1*.

Au point *Référence*, les valeurs de turbidité lors des sorties pélagiques de juin et septembre étaient similaires à celles mesurées au point *Dunkerque 1*.

## Variation du paramètre TURB à DUNK. de 2006 à 2020

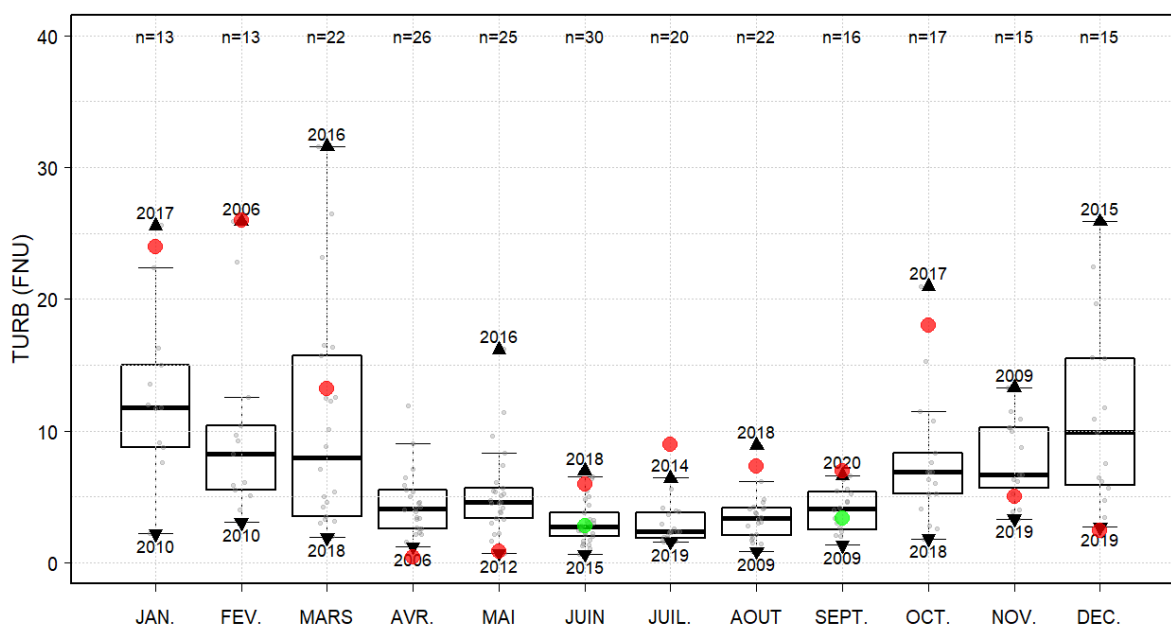


Figure B-71 : Variation mensuelle de la turbidité mesurée au canal de prise (points rouges = données moyennes 2020, points verts = mesures au point Référence lors des deux campagnes pélagiques) et au point Dunkerque 1 de la surveillance DCE pour la période 2006 à 2020 (voir Figure B-24 pour détail des boxplots)

## B.5.3.3 OXYGENE DISSOUS

Les médianes mensuelles de concentration en oxygène dissous calculées pour la période 2007-2020 au point *Dunkerque 1* ont variées entre 7,5 mg.l<sup>-1</sup> en septembre et 10,8 mg.l<sup>-1</sup> en mars (Figure B-72). Les minimales étant observés entre mai et octobre (médiane < 9 mg.l<sup>-1</sup>) et les maximales de mars à avril (médiane ≥ 10 mg.l<sup>-1</sup>). Au point *Prise*, la concentration en oxygène mesurée en 2020 était globalement inférieure ou égale à la médiane du point DCE en automne et hiver, et supérieure au printemps-été. La valeur maximale a été mesurée au mois de mai et novembre à 10,4 mg.l<sup>-1</sup> et celle minimale en juin à 7 mg.l<sup>-1</sup>. La profondeur à laquelle sont effectuées les mesures d'oxygène pourrait expliquer ces différences, uniquement en surface pour le point *Prise* et au fond pour le point DCE.

## Variation du paramètre OXYGENE à DUNK. de 2007 à 2020

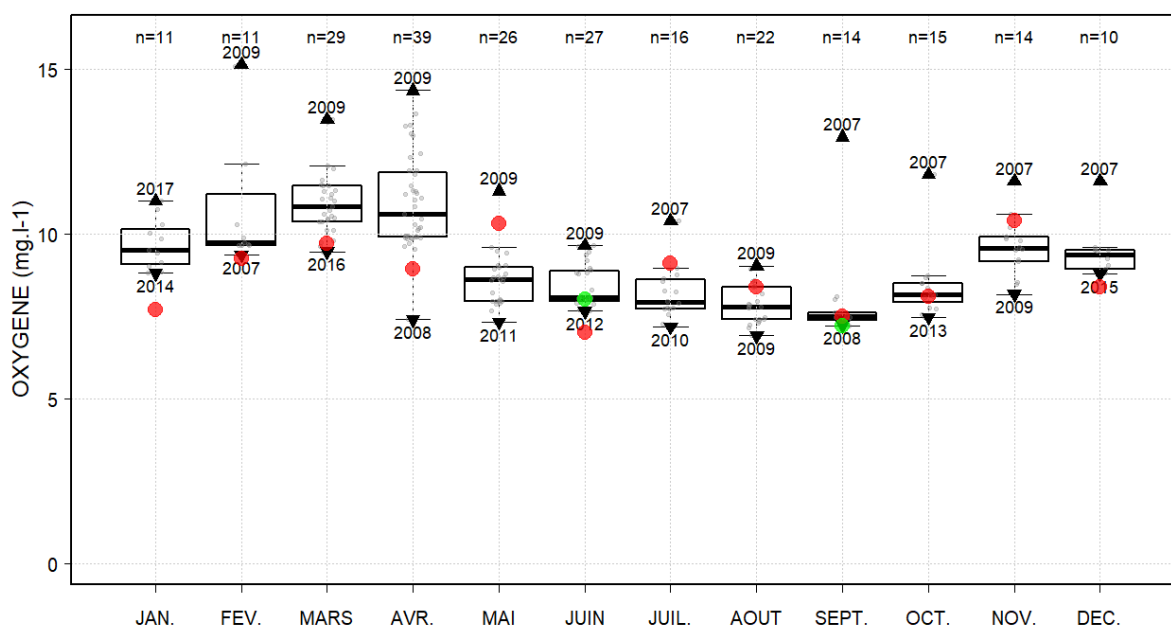


Figure B-72 : Variation mensuelle de la concentration en oxygène dissous mesurée au canal de prise (points rouges = données moyennes 2020, points verts = mesures au point Référence lors des deux campagnes pélagiques) et au point Dunkerque 1 de la surveillance DCE pour la période 2007 à 2020 (voir Figure B-24 pour détail des boxplots)

#### B.5.3.4 SELS NUTRITIFS AZOTES

Les concentrations d'azote inorganique dissous ( $NID = NO_2 + NO_3 + NH_4$ ) mesurées au point *Dunkerque 1* de la surveillance DCE montrent un maximum entre novembre et février ( $>15 \mu\text{mol.l}^{-1}$ ; Figure B-73). Cette période est généralement associée au minimum annuel de présence du phytoplancton dans la colonne d'eau (Figure B-25 et Figure B-27) ce qui laisse le temps au stock de nutriments de se régénérer. Ensuite, la concentration en NID chute rapidement en mars et avril pour atteindre son minimum entre avril et août lorsque l'activité photosynthétique est à son maximum avec l'apparition des blooms phytoplanctoniques intenses. La valeur maximale a ainsi été observée en mars 2009 à  $54,9 \mu\text{mol.l}^{-1}$  alors que la valeur minimale a été observée en juin 2010 à  $7,4 \mu\text{mol.l}^{-1}$ . Les valeurs médianes de NID varient de  $23,6 \mu\text{mol.l}^{-1}$  en janvier à  $0,7 \mu\text{mol.l}^{-1}$  en juillet. Les concentrations en NID au point *Prise* en 2020 étaient bien supérieures à ce qui est observé en moyenne au point *Dunkerque 1* depuis 2006, tout en suivant le même schéma de variation annuel. La différence de concentration entre l'hiver et le printemps semble toutefois moins marquée cette année.

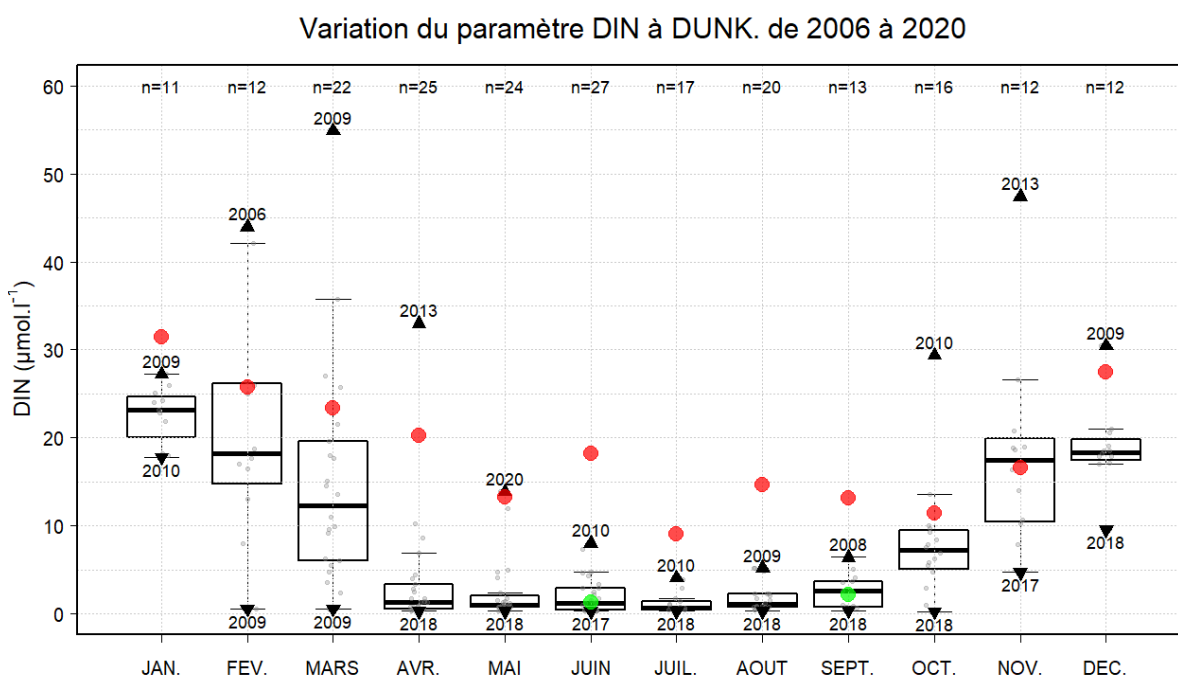


Figure B-73 : Variation mensuelle de la concentration en azote inorganique mesurée au canal de prise (points rouges = données moyennes 2020, points verts = mesures au point *Référence* lors des deux campagnes pélagiques) et au point *Dunkerque 1* de la surveillance DCE pour la période 2006 à 2020 (voir Figure B-24 pour détail des boxplots)

#### B.5.3.5 PHYTOPLANCTON

##### La biomasse chlorophyllienne

L'évolution mensuelle des concentrations médianes en chlorophylle *a* calculées pour la période 2006-2020 au point *DCE Dunkerque 1* montre un maximum entre mars et avril ( $> 5 \mu\text{g.l}^{-1}$ ; Figure B-74) avec un pic en mars à  $12,5 \mu\text{g.l}^{-1}$  et un minimum entre novembre et janvier ( $< 2 \mu\text{g.l}^{-1}$ ). A noter que la valeur maximale a été observée en avril 2013 à  $53,2 \mu\text{g.l}^{-1}$  et que la valeur minimale a été observée en juillet 2017 à  $0,59 \mu\text{g.l}^{-1}$  mais cela reste assez exceptionnel pour ces périodes de l'année.

Comme vu dans le chapitre B.2, la tendance actuelle des concentrations en chlorophylle *a* au point *Prise* tend à diminuer depuis quelques années, avec des pics de concentrations moins importants et d'amplitude réduite. Cela est aussi confirmé en comparant avec les données historiques du point DCE : malgré un patron de variation annuelle similaire, les concentrations sont plus faibles aux points *Prise* et *Référence*.

## Variation du paramètre CHLOROA à DUNK. de 2006 à 2020

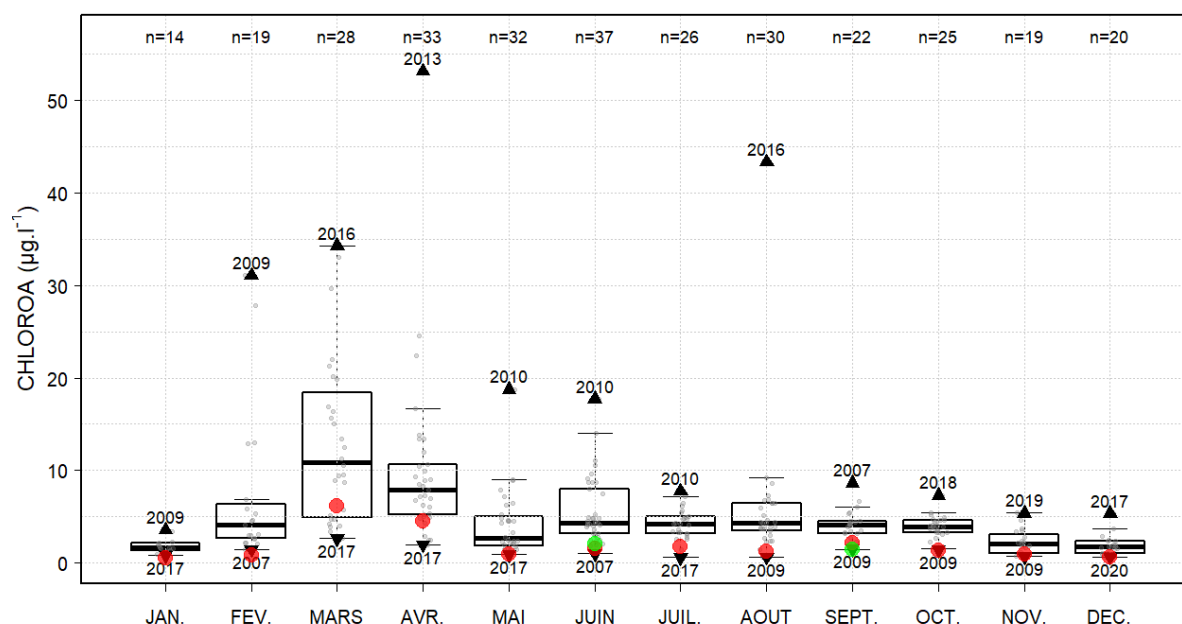


Figure B-74 : Variation mensuelle de la concentration en chlorophylle *a* mesurée au canal de prise (points rouges = données moyennes 2020, points verts = mesures au point *Référence* lors des deux campagnes pélagiques) et au point *Dunkerque 1* de la surveillance DCE pour la période 2006 à 2020 (voir Figure B-24 pour détail des boxplots)

Abondance phytoplanctonique

L'évolution mensuelle des abondances phytoplanctoniques médianes pour la période 2006-2020 au point DCE *Dunkerque 1* montre un minimum en décembre (médiane à 54 743 cell.l<sup>-1</sup>) suivi d'une augmentation jusqu'en avril (médiane à 8 047 924 cell.l<sup>-1</sup>) puis une diminution jusqu'en juin avant de se stabiliser jusqu'en septembre autour des 450 000 cell.l<sup>-1</sup> (Figure B-75). La valeur maximale a été observée en mars 2010 (25 788 561 cell.l<sup>-1</sup>) et la valeur minimale en octobre 2015 (9 747 cell.l<sup>-1</sup>). Au point *Prise*, l'abondance du phytoplancton en 2020 a suivi une évolution mensuelle assez semblable, avec toutefois des valeurs globalement inférieures, à celle des données historiques au point DCE *Dunkerque 1*.

## Evolution de l'abondance de PHYTOPLANCTON à DUNK. de 2006 à 2020

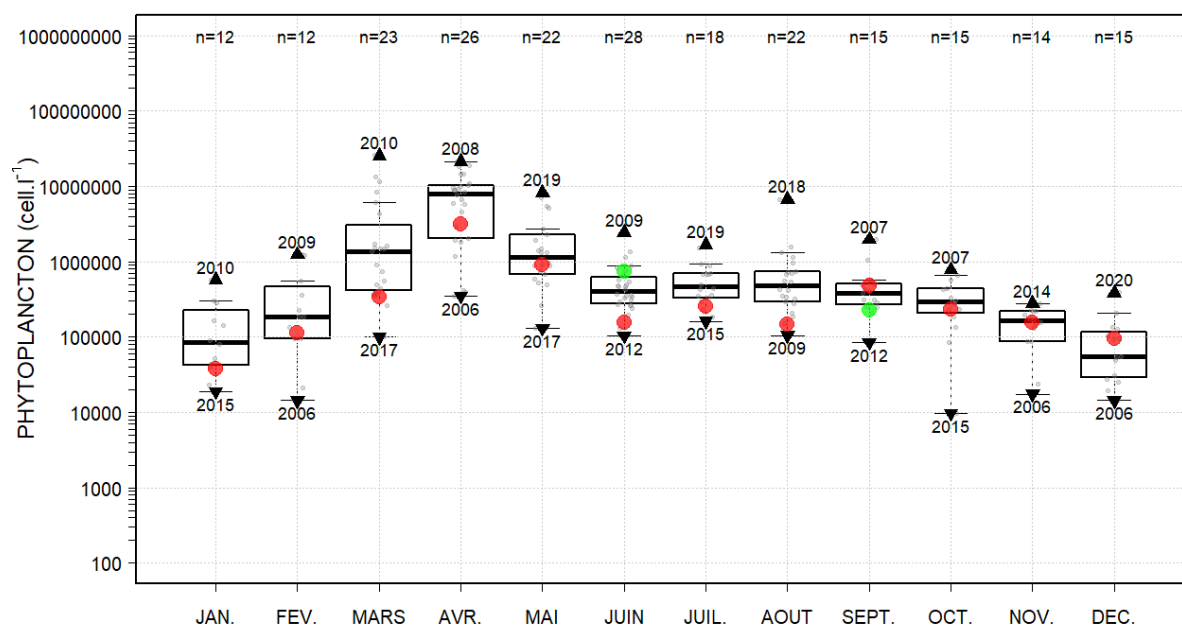


Figure B-75 : Variation mensuelle de l'abondance phytoplanctonique mesurée au canal de prise (points rouges = données moyennes 2020, points verts = mesures au point *Référence* lors des deux campagnes pélagiques) et au point *Dunkerque 1* de la surveillance DCE pour la période 2006 à 2020 (voir Figure B-24 pour détail des boxplots)



## B.5.4 REMARQUES GENERALES SUR LES PARAMETRES COMMUNS DE LA SURVEILLANCE ECOLOGIQUE DCE ET CNPE DE GRAVELINES

A l'échelle de la masse d'eau côtière FRAC02 entourant le site du CNPE de Gravelines, les températures de l'eau mesurée au point *Prise* étaient plus chaudes en 2020 de  $1,5 \pm 0,7$  °C en moyenne, cet écart étant plus important que ce qui est habituellement observé. Il faut toutefois relativiser ce résultat, car il est probable que les températures 2020<sup>17</sup> au point de surveillance DCE *Dunkerque 1* seront également supérieures aux normales, comme on l'a observé avec les normales de la série historique (1986-2019) au point *Prise*.

Hors période hivernale, la turbidité mesurée au point *Prise* était supérieure à ce que l'on observe habituellement au point DCE. Toutefois, la turbidité a montré une forte variabilité annuelle avec un pic en octobre et des valeurs faibles au printemps. Ce type de variabilité n'est pas observé constamment entre les différentes années du suivi. C'est une des raisons pour lesquelles ce paramètre est jugé comme non pertinent dans les masses d'eaux de transition et les ports.

Les mesures d'oxygène dissous effectuées au point *Prise* en surface suivaient globalement la même variabilité que celles mesurées au-dessus du fond au point DCE pour la masse d'eau côtière FRAC02. Cet élément de qualité ne fait pas l'objet d'un contrôle de surveillance dans le port de Dunkerque (FRAT04) dans le cadre de la DCE.

L'évolution mensuelle des concentrations en azote inorganique au point *Prise* en 2020 était assez conforme à ce que l'on observe dans la masse d'eau côtière FRAC02, avec un stock d'azote régénéré en hiver pendant la période non productive, puis consommé au cours du printemps du fait de la poussée phytoplanctonique. Toutefois, la consommation d'azote a été assez faible cette année au point *Prise* puisque le stock était encore relativement important à la sortie du printemps. Ceci pourrait être mis en relation avec la forte turbidité observée en mars, ce qui est assez inhabituelle. Cette turbidité a pu limiter l'intensité de la photosynthèse pendant la phase d'initiation du bloom printanier, laissant une partie du stock d'azote non consommée. Ce phénomène peut être visible par la faible biomasse produite en 2020, ainsi que par les faibles abondances phytoplanctoniques au point *Prise* par rapport aux moyennes observées au point DCE *Dunkerque 1*. Toutefois, cette diminution de la production chlorophyllienne n'est pas limitée à cette masse d'eau mais est observée de façon générale sur l'ensemble de la Manche depuis ces 10 dernières années (Gohin *et al.*, 2019). Cependant, malgré des concentrations en chlorophylle *a* faibles en 2020, **la dynamique saisonnière des abondances phytoplanctoniques au point *Prise* était tout à fait semblable à ce que l'on observe habituellement au point de surveillance DCE.**

---

<sup>17</sup> Les données de surveillance DCE de l'année *n* ne sont validées et rendues publiques que l'année *n+1* et ne peuvent donc pas être comparées directement avec les données de surveillance du CNPE pour l'année *n*.





## C LE DOMAINE BENTHIQUE

### **Rédaction/mise en page**

Céline Rolet (GEMEL)

Guillaume Wacquet (LER-BL)

### **Prélèvements et mesures *in situ***

GEMEL

### **Analyses/Traitement des données**

GEMEL

### **Expertise thématique**

Céline Rolet (GEMEL)

## C.1 MACROFAUNE BENTHIQUE SUBTIDALE

### C.1.1 STRATEGIE DE SURVEILLANCE

#### C.1.1.1 HISTORIQUE DES SUIVIS

Les études écologiques du benthos subtidal du site de Gravelines sont menées depuis 1973. Aux études descriptives des premières années ont succédé des études quantitatives du peuplement à *Abra alba*, qui s'effectuent depuis 1976 à partir du point C (peuplement potentiellement perturbé par le fonctionnement de la centrale) et du point B (peuplement non perturbé). La comparaison de l'évolution des peuplements installés à ces deux points permet de mettre en évidence l'impact de la centrale sur les communautés benthiques du champ proche du rejet.

Néanmoins, le point C est soumis aux mêmes recrutements que le point B. Plusieurs études l'ont montré et notamment celle de 1991 à l'occasion du recrutement de *Ensis leei*. Mais si le recrutement avait bien eu lieu en 1991 avec la même intensité aux deux points, la population de *E. leei* ne s'est pas maintenue au point C du fait d'un sédiment inapproprié, tandis qu'au point B les conditions ont été favorables au maintien des recrues.

Le peuplement à *Abra alba* est particulièrement productif. La biomasse a déjà été proche de 700 g.m<sup>-2</sup> (poids sec libre de cendres).

#### C.1.1.2 SUIVI ACTUEL

Deux points, l'un sous influence (point C) et l'autre hors influence de la centrale (point B) ont été échantillonnés à chaque saison. Les campagnes de prélèvements ont été réalisées en 2020 à bord du navire Sepia II le 06 février (S1), puis du chalutier à perche le Manoot'che les 17 mai (S2), 07 juillet (S3) et 01 septembre (S4).

### C.1.2 PARAMETRES / METHODES

#### C.1.2.1 ÉCHANTILLONNAGE, PRELEVEMENTS

L'échantillonnage consiste à effectuer 10 prélèvements à la benne Van Veen (0,1 m<sup>2</sup>) correspondant à 1 m<sup>2</sup> de surface échantillonnée pour les études faunistiques donnant des échantillons quantitatifs (Figure C-1). Un 11<sup>ème</sup> échantillon est prélevé aux fins d'analyses granulométriques.

La benne est un engin robuste mais il est préférable d'éviter les périodes de forte agitation en mer pour d'évidentes raisons de sécurité d'une part et pour faciliter le travail de la benne qui pourrait avoir tendance à se refermer trop vite et donc à ne prélever que très peu de sédiment si le bateau ne cesse de tanguer.

Le sédiment destiné à l'analyse faunistique ultérieure a été tamisé à bord du navire sur un tamis de 1 mm de vide de maille circulaire (Figure C-2). Le refus a ensuite été fixé à l'aide de formol salé (4 %, concentration finale) et neutralisé.

L'échantillon destiné aux analyses granulométriques (non tamisé) a été congelé de retour au laboratoire.

Lors de chaque prélèvement, une photographie numérique des échantillons a été réalisée sur le pont du navire afin d'aider à rendre compte par la suite de la nature sédimentaire du fond et des espèces remarquables qui ne pourraient être conservées correctement.



Figure C-1 : La benne Van Veen à bras utilisée lors des campagnes de prélèvement

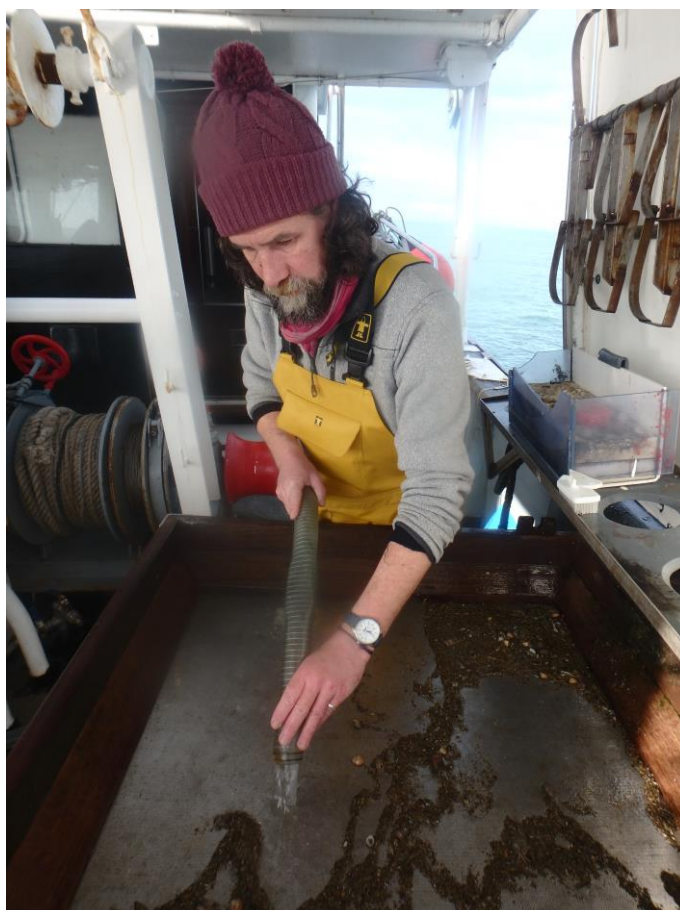


Figure C-2 : Tamisage d'un prélèvement lors de la campagne de février 2020 (S1) à bord du Sepia II

### C.1.2.2 GRANULOMETRIE

Le sédiment a d'abord été rincé à l'eau douce afin d'éliminer le sel qui provoque l'agrégation des particules les plus fines. Les pélites ont été séparées en milieu liquide lorsqu'elles étaient abondantes. Le sédiment a ensuite été séché à l'étuve à 110°C pendant 24 à 48 heures, puis tamisé

sur une colonne vibrante équipée de tamis en acier à mailles carrées de type AFNOR. Chaque refus de tamis a été pesé avec une précision de 0,01 g. Les résultats ont ensuite été regroupés en suivant la classification granulométrique suivante, et présentés sous forme d'histogrammes de fréquences pondérales.

- Pélites : tamis < 63  $\mu$ m,
- Sables fins : tamis de 63 à 160  $\mu$ m,
- Sables moyens : tamis de 200 à 400  $\mu$ m,
- Sables grossiers : tamis de 500  $\mu$ m à 1,6 mm,
- Graviers fins : tamis de 2 mm à 4 mm,
- Graviers grossiers : tamis de 5 mm et plus.

Ensuite, un dérivé de la classification de Folk a été utilisé afin de décrire le sédiment à travers 15 catégories. Dans cette classification, les sédiments sont regroupés en 3 types : vases, sables et graviers. Cette distinction se fait sur la base du diamètre des grains aux limites entre la vase et le sable (63  $\mu$ m) et entre le sable et le gravier (2 mm). La proportion relative des grains dans chacune des catégories est utilisée pour décrire le sédiment et peut être reportée sur un diagramme appelé « triangle de Folk ». Les noms attribués à chaque entrée correspondent aux croisements d'un tableau à double entrée.

### C.1.2.3 IDENTIFICATION ET DENOMBREMENT DE LA MACROFAUNE BENTHIQUE SUBTIDALE

Au laboratoire, les échantillons de sédiment contenant la macrofaune ont tout d'abord été rincés afin d'éliminer le fixateur (formol). Les échantillons ont été rincés au fur et à mesure de l'avancement des travaux, afin d'éviter toute dégradation des organismes. Ensuite, un tri à vue méticuleux du refus de tamis par la méthode d'agitation-flottaison a permis d'extraire le macrozoobenthos du sédiment. Une première répartition par groupes taxinomiques a été réalisée lors de cette étape.

Les déterminations ont été menées autant que possible jusqu'au niveau spécifique (espèce) et ont été effectuées sous loupe binoculaire et microscope si cela s'avérait nécessaire. Ce travail se base sur les collections « Synopses of the British Fauna<sup>18</sup> », « Faune de France<sup>19</sup> » mais aussi sur l'ouvrage édité par Hayward et Ryland (1990) et de nombreux autres ouvrages et articles spécialisés. En cas d'incertitude quant à l'identification au niveau de l'espèce, le rang taxinomique le plus sûr a été adopté (genre, parfois famille, voire à un niveau nettement supérieur dans le cas des németes et des oligochètes par exemple).

Pour chaque prélèvement, le nombre d'espèces ainsi que le nombre exact d'individus par espèce ont été comptabilisés.

### C.1.2.4 BIOMASSE DE LA MACROFAUNE BENTHIQUE SUBTIDALE

La biomasse de la macrofaune benthique a été déterminée par espèce et par station et exprimée en poids sec libre de cendres (PSLC) selon la méthodologie préconisée par le *Benthos Ecology Working Group* du CIEM (Anonyme, 1986) et reprise dans la norme ISO/FDIS 16 665 (2005).

Après comptage des individus de chaque espèce, ceux-ci ont été placés dans des papillotes en aluminium, puis séchés à l'étuve à 60°C pendant 48 heures jusqu'à l'obtention d'un poids constant. Une première pesée, donnant le poids sec, a été effectuée à l'aide d'une balance électronique à 0,01 mg près. Ensuite, les papillotes ont été placées au four à 500°C pendant 6 heures afin de permettre une calcination complète de la matière organique sans altérer la matière minérale (coquilles des mollusques). Une seconde pesée, donnant le poids de cendres a été effectuée à l'aide

<sup>18</sup> Synopses of the British Fauna est une série de 56 guides de détermination publiée depuis 1970 par The Field Studies Council et qui concerne l'ensemble du territoire britannique dont la Manche.

<sup>19</sup> Faune de France est une série de 90 guides de détermination publiée depuis 1921 par l'Office Central de Faunistique puis la Fédération Française des Sociétés de Sciences Naturelles et qui concerne l'ensemble du territoire métropolitain dont la Manche.

de la même balance que lors de l'étape précédente. La différence entre les deux pesées donne le PSLC. Cette méthode permet de s'affranchir des problèmes liés à la teneur en eau des organismes.

### C.1.2.5 BASE DE DONNEES ET ANALYSES DES DONNEES

L'ensemble des données de cette année mais aussi des années antérieures (jusqu'à l'année 2000), a été stocké dans une base de données au format Access 2007 (© Microsoft Corporation). Une base de données a également été créée sous Quadrigé<sup>2</sup> et les données y sont aujourd'hui stockées. Les noms scientifiques attribués à chaque organisme ont été actualisés en se basant sur WORMS (World Register of Marine Species). Les abondances sont exprimées en nombre d'individus par m<sup>2</sup>. La richesse taxinomique (RT) a été calculée en additionnant les présences de chaque taxon au niveau de chaque station. L'indice de Shannon-Weaver ( $H'$ ) permet d'exprimer la diversité en prenant en compte le nombre de taxon (RT) et l'abondance des individus au sein de chacun des taxa (cf. §B.2.3.2). Afin de nuancer l'information donnée par  $H'$ , l'indice d'équitabilité de Pielou ( $J'$ ), qui permet de mesurer la répartition des individus au sein des taxa, indépendamment de la richesse taxinomique, a également été calculé selon la formule :

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$$

avec  $H'_{max} = \log RT$  (RT= nombre total de taxon).

Sa valeur varie de 0 (dominance d'un des taxa) à 1 (équi-répartition des individus dans les taxa). Ces deux indices restent dépendants de la taille des échantillons et dépendant du type d'habitat.

Le coefficient de Bray-Curtis (Bray et Curtis, 1957) a été utilisé pour mesurer la similarité entre les stations et entre les saisons. Les données d'abondance ont été au préalable transformées par la fonction  $\sqrt{x}$  afin de modérer l'influence des espèces dominantes. La matrice de similarité obtenue est représentée sous la forme d'un dendrogramme établi par la technique du groupement moyen.

Les groupes écologiques de chaque espèce ont été renseignés. Ils sont au nombre de 5 et se définissent ainsi :

- GE1 : espèces sensibles aux perturbations et présentes en milieux non pollués,
- GE2 : espèces indifférentes aux perturbations,
- GE3 : espèces tolérantes aux perturbations,
- GE4 : espèces opportunistes de second ordre,
- GE5 : espèces opportunistes de premier ordre.

Grâce à ses groupes, un indice biotique : l'AMBI (AZTI Marine Biotic Index) a été calculé afin de renseigner la qualité écologique du milieu. Il est calculé à partir des proportions des 5 groupes écologiques (Borja *et al.*, 2000) selon la formule suivante :

$$AMBI = 0 \times GE1 + 1,5 \times GE2 + 3 \times GE3 + 4,5 \times GE4 + 6 \times GE5$$

Cet indice peut varier de 0 (excellent) à 7 (mauvais).

Afin de comparer les richesses spécifiques entre les années, la méthode des sommes cumulées a été utilisée (Ibañez *et al.*, 1993 ; Ibañez et Etienne, 1998). Cette méthode permet de segmenter des séries temporelles par la reconnaissance des tendances locales.

L'ensemble des analyses de données ont été effectuées sous les logiciels Primer et Excel.

### C.1.3 RESULTATS DES ANALYSES AU POINT B (HORS INFLUENCE)

Le dendrogramme illustrant la matrice de similarité obtenue sur l'ensemble des données d'abondance recueillies en 2020 est présenté à la Figure C-3. Il en ressort que les différences entre les stations B et C sont plus fortes (similarité de seulement 20 %) que le signal saisonnier. C'est pourquoi les analyses qui suivent seront séparées selon les stations et non selon les saisons. La

similarité entre les échantillons du point B et ceux du point C est du même ordre de grandeur (70 % de similarité entre les échantillons du point B et 40 % entre ceux du point C).

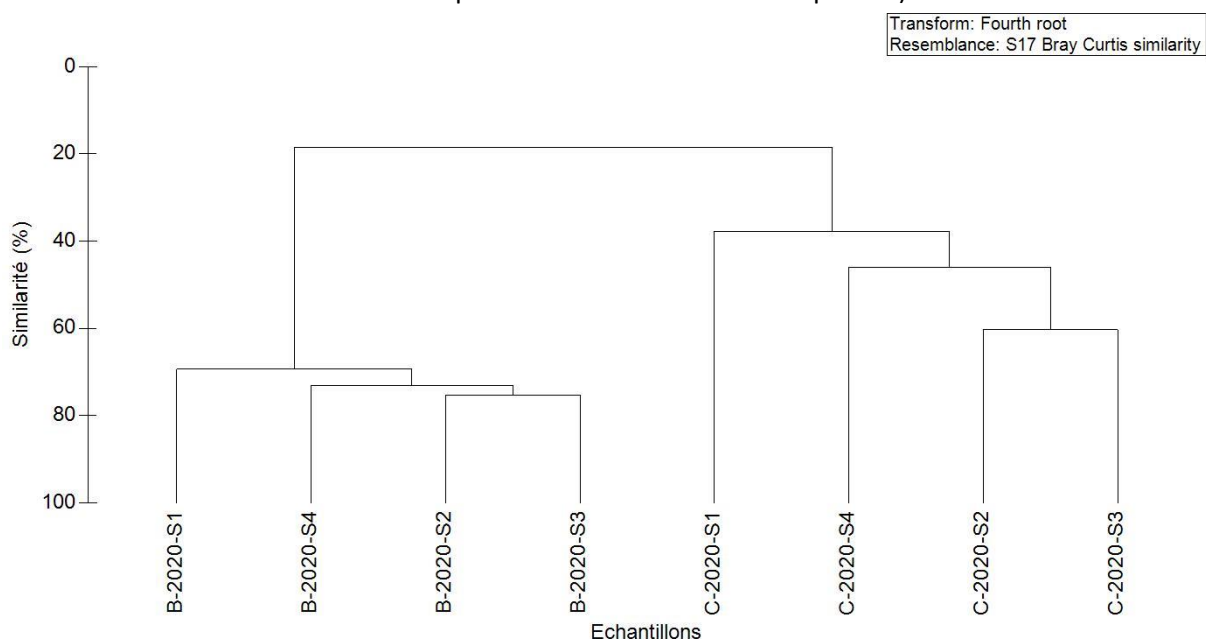


Figure C-3 : Similarité de Bray-Curtis entre les abondances transformées de la macrofaune benthique subtidale collectées aux points B et C lors des quatre campagnes saisonnières 2020

### C.1.3.1 ANALYSES GRANULOMETRIQUES

Les analyses granulométriques du point B pour 2020 ont révélé des sédiments majoritairement constitués de sables fins (56 à 78 %) et de sables moyens (entre 7,5 et 35 %). Ces deux fractions constituent 91 % en moyenne de la masse de sédiment toutes saisons confondues (Tableau C-1). Les pélites sont toutefois en proportion importante au point B variant de 1,7 % en été (S3) pour atteindre 13,7 % de la masse du sédiment en automne (S4).

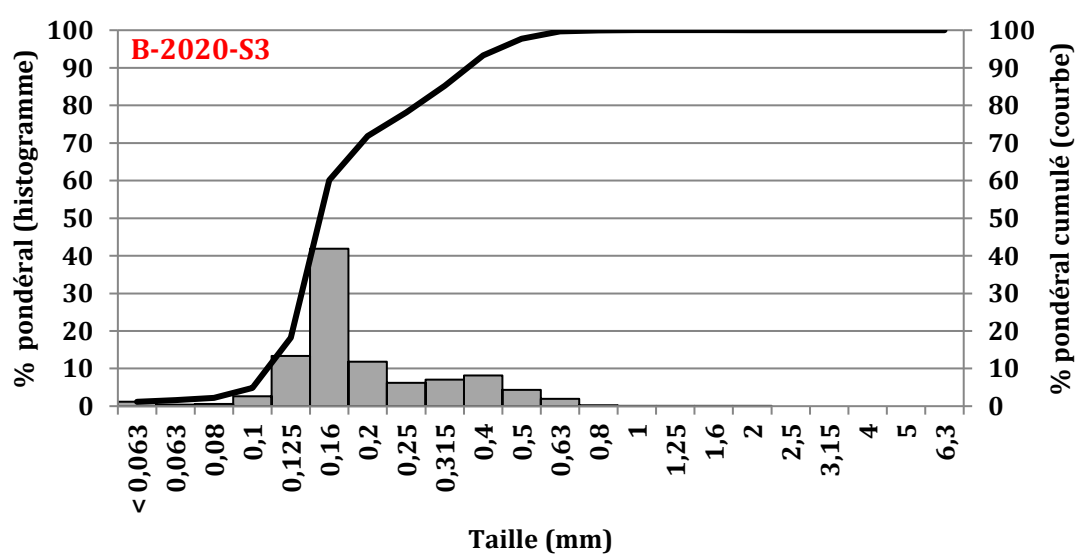
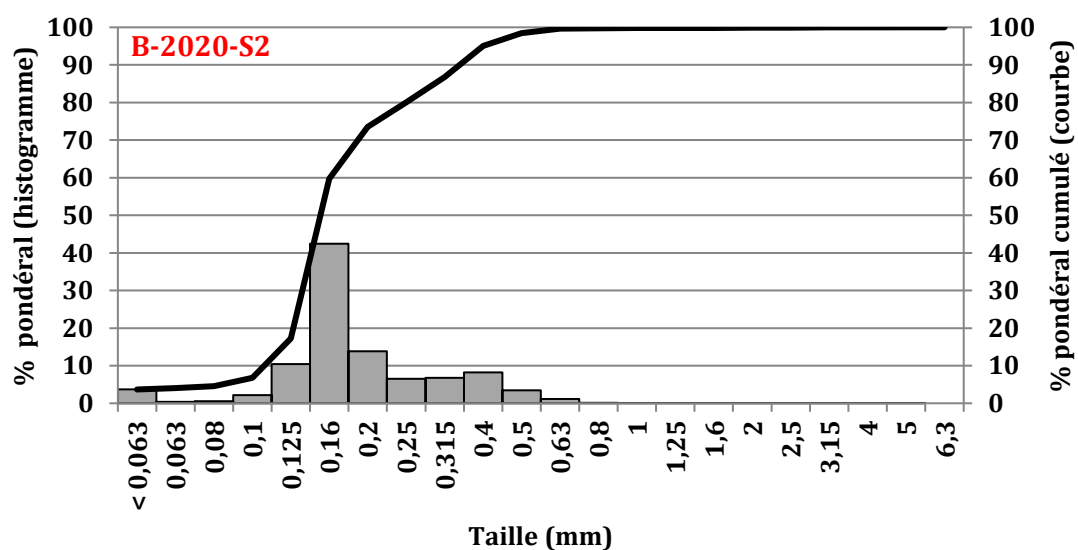
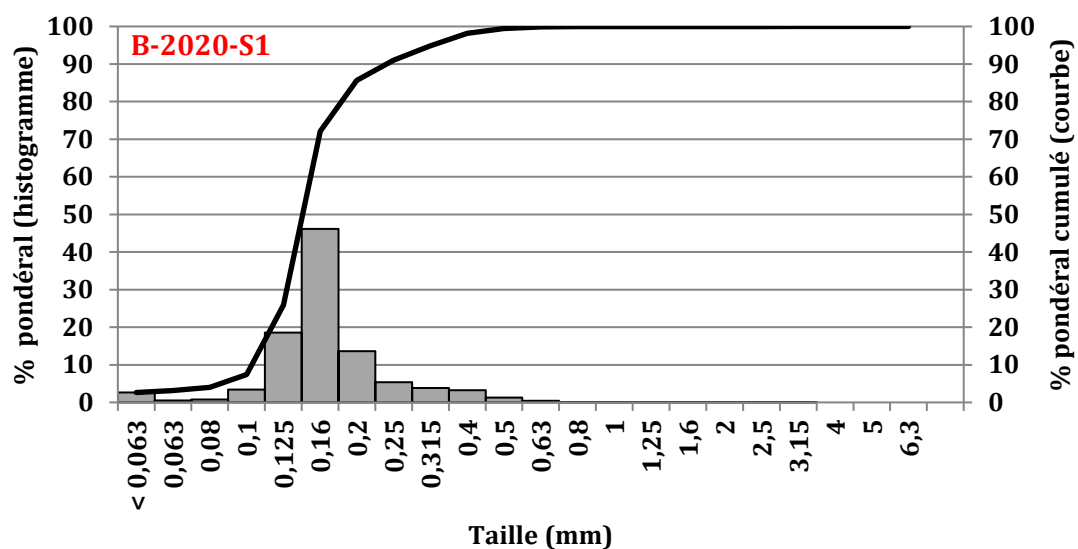
Tableau C-1 : Analyses granulométriques des fractions sédimentaires (%) au point B et classification de FOLK lors des quatre campagnes saisonnières 2020

Type de sédiment (%)	B-2020-S1	B-2020-S2	B-2020-S3	B-2020-S4
<b>Pélites</b>	2,64	3,67	1,17	13,68
<b>Sables fins</b>	69,45	56,05	58,90	78,07
<b>Sables moyens</b>	26,07	35,30	33,27	7,57
<b>Sables grossiers</b>	1,81	4,83	6,66	0,57
<b>Graviers fins</b>	0,03	0,13	0,01	0,12
<b>Graviers grossiers</b>	0,00	0,02	0,00	0,00
<b>FOLK</b>	<b>sM</b>	<b>sM</b>	<b>mS</b>	<b>M</b>

Les histogrammes des différentes classes de taille granulométriques (Figure C-4) montrent que la principale différence entre les saisons est relative aux particules les plus fines (< 63 µm). Elles sont en proportion plus élevées à la campagne 4. Elles ne représentent néanmoins pas plus de 13,8 % de la masse de sédiment. Le mode principal est à 0,16 mm quel que soit la saison. La proportion des particules les plus grossières (graviers fins et graviers grossiers) est faible (inférieure à 0,2 %).

Il est possible de classer les sédiments selon la classification de Folk en quatre catégories que sont la vase sableuse sM en hiver (S1) et au printemps (S2) lors des deux premières campagnes, les sables vaseux mS pour la troisième campagne estivale (S3) et la vase M pour la dernière campagne en automne (Tableau C-1).





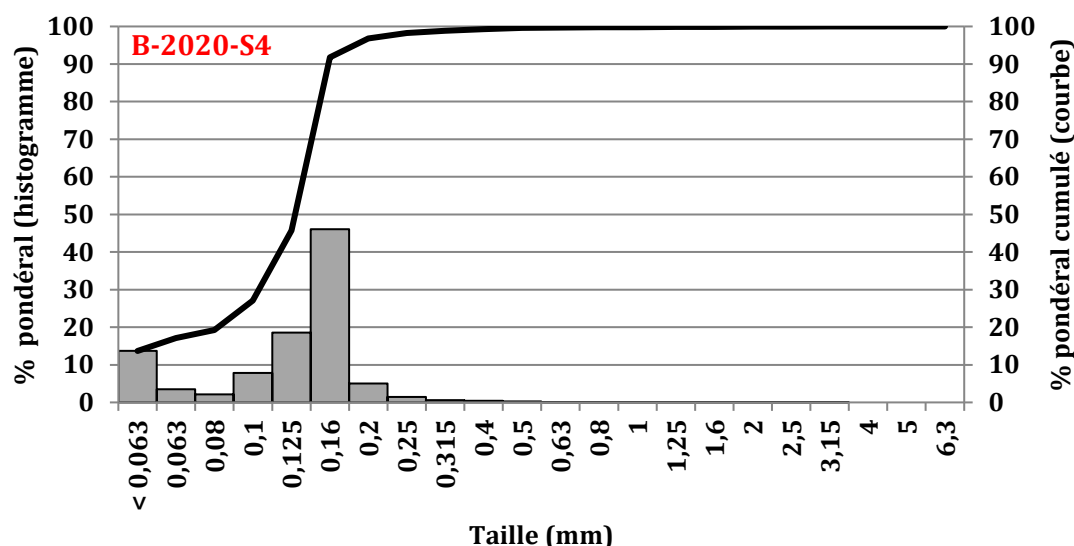


Figure C-4 : Histogrammes des classes de taille granulométriques et courbe de la fréquence pondérale cumulée au point B lors des quatre campagnes saisonnières de 2020

Les résultats granulométriques de 2020 étaient relativement conformes au schéma habituel observé depuis 2000 : le sédiment était principalement composé de sables fins et moyens avec des teneurs faibles en graviers fins et grossiers. Comme l'année précédente, les pélites étaient toujours présentes mais en faibles proportions en hiver, printemps et été et ont augmentées fortement lors de la campagne automnale.

### C.1.3.2 ANALYSE DES PEUPELEMENTS FAUNISTIQUES

Les données faunistiques brutes (densité : nombre d'individus par m<sup>2</sup>) à la station B pour chaque date de prélèvement sont présentées en ANNEXE C-1 et les biomasses (g·m<sup>2</sup> Poids Sec Libre de Cendre) en ANNEXE C-2. L'évaluation de la richesse spécifique a été effectuée de la même manière que les années précédentes. En 2020, l'analyse faunistique a permis de recenser 86 taxa et 45 179 individus au point B répartis comme suit :

- 1 annélide oligochète,
- 32 annélides polychètes,
- 15 crustacés amphipodes,
- 5 crustacés cumacés,
- 1 crustacé copépode,
- 8 crustacés décapodes,
- 1 crustacé tanaïdace,
- 3 crustacés mysidacés,
- 4 échinodermes,
- 10 mollusques bivalves,
- 3 mollusques gastéropodes,
- 1 néemerte,
- 1 pycnogonide,
- 1 poisson.

La richesse taxinomique était moins importante qu'en 2019 où 95 taxa avaient été recensés. La richesse était similaire en hiver (54 taxa) et en été (57 taxa). Elle était un peu plus élevée au printemps et en automne avec respectivement 63 et 62 taxa. À chaque saison, le phylum des Annélides dominait, suivi des Arthropodes puis des Mollusques ; schéma observé classiquement chaque année (Tableau C-2).



Tableau C-2 : Richesse taxinomique pour chaque phylum au point B lors des quatre campagnes saisonnières de 2020

Phylum	B-2020-S1	B-2020-S2	B-2020-S3	B-2020-S4	Total
Annelida	26	27	24	28	32
Arthropoda	15	21	19	17	33
Echinodermata	2	2	2	3	4
Mollusca	9	10	10	11	13
Oligochaeta	1	1	1	1	1
Nemertea	1	1	1	1	1
Pycnogonida	0	0	0	1	1
Poisson	0	1	0	0	1
<b>Richesse taxinomique</b>	<b>54</b>	<b>63</b>	<b>57</b>	<b>62</b>	<b>86</b>

Les densités et les biomasses étaient minimales en hiver (3 350 ind.m<sup>-2</sup>, soit 24,35 g PSLC.m<sup>-2</sup>) et maximales aux trois autres saisons (au printemps : 18 158 ind.m<sup>-2</sup> pour 65,32 g PSLC.m<sup>-2</sup> ; en été : 7 584 ind.m<sup>-2</sup>, soit 45,45 g PSLC.m<sup>-2</sup> ; à l'automne : 15 887 ind.m<sup>-2</sup> pour 151,67 g PSLC.m<sup>-2</sup> ; Tableau C-3).

L'indice de diversité de Shannon  $H'$  (Tableau C-3) montrait des valeurs relativement élevées aux quatre saisons : la faune pouvait être qualifiée de diversifiée, voire très diversifiée ( $H'$  compris entre 3,40 et 3,99 bits). L'indice d'équitabilité de Pielou était compris entre 0,57 et 0,6, indiquant qu'aucune espèce ne dominait les autres.

Tableau C-3 : Densité (N), biomasse (B), équitabilité de Pielou ( $J'$ ) et diversité de Shannon ( $H'$  calculé en log de base 2) au point B lors des quatre campagnes saisonnières de 2020

Prélèvement	N (ind.m <sup>-2</sup> )	B (g.m <sup>-2</sup> )	$J'$	$H'$ (bits)
B-2020-S1	3 550	24,35	0,69	3,99
B-2020-S2	18 158	65,32	0,57	3,40
B-2020-S3	7 584	45,45	0,65	3,80
B-2020-S4	15 887	151,67	0,65	3,88

Les 10 taxa les plus abondants des quatre saisons ont permis de mettre en évidence l'assemblage de la communauté benthique du point B (Tableau C-4).

En février 2020 (S1), le peuplement était dominé par les Annélides Oligochètes (819 ind.m<sup>-2</sup>) soit 23,1 % de l'abondance totale, suivi de deux Mollusques Bivalves *Abra alba*, espèce représentative du peuplement avec 380 ind.m<sup>-2</sup> soit 10,7 % de l'abondance totale, et *Kurtiella bidentata* (340 ind.m<sup>-2</sup> soit 9,6 % de l'abondance totale), des Annélides Polychètes *Owenia fusiformis* (271 ind.m<sup>-2</sup> soit 7,6 %) et *Eumida sanguinea* (60 ind.m<sup>-2</sup> soit 6,1 %). Le Crustacé Amphipode *Pariambus typicus* était également présent à 6,9 %. S'en suivaient les Ophiures et les Annélides Polychètes de la famille des Spionidés (*Spiophanes bombyx*) et des Capitellidae (*Capitella sp.*). La biomasse globale en hiver était de 24,35 g.m<sup>-2</sup> (Tableau C-3).

En mai 2020 (S2), le peuplement était dominé par l'Annélide Polychète *Lanice conchilega* (6437 ind.m<sup>-2</sup>) soit 35,4 % de l'abondance totale, suivi de l'Annélide Polychète opportuniste *Capitella sp* avec une densité de 2 142 ind.m<sup>-2</sup> soit 11,8 % de l'abondance totale. Les individus de *Lanice conchilega* étaient uniquement de petites tailles puisque récemment recrutés dans le macrozoobenthos. Suivaient *Spiophanes bombyx* (11,6 %), les Oligochètes (10,4 %), *Kurtiella bidentata* (7,2 %) et *Abra alba* (3 %). La biomasse en cette période printanière a augmenté avec 65,32 g.m<sup>-2</sup> (Tableau C-3) ; biomasse représentée majoritairement par des Mollusques Bivalves dont le couteau américain *Ensis leei* (34,4 % de la biomasse totale), *Abra alba* (20,3 %), *Fabulina fabula* (9,6 %) et *Spisula subtruncata* (6,9 %).

En juillet 2020 (S3), le peuplement était co-dominé par les Oligochètes (1 669 ind.m<sup>-2</sup> soit 22 % de l'abondance totale) et le Polychète *Lanice conchilega* (1646 ind.m<sup>-2</sup> soit 21,7 % de l'abondance totale) ; suivi du Polychète *Spiophanes bombyx* (727 ind.m<sup>-2</sup> soit 9,6 %) et du bivalve *Kurtiella bidentata* (560 ind.m<sup>-2</sup> soit 7,4 %). La biomasse était plus faible qu'au printemps avec 45,45 g.m<sup>-2</sup> (Tableau C-33) mais elle était encore une fois dominée par le couteau américain *Ensis leei* avec 46,7 % de la biomasse totale, suivie de *Lanice conchilega* (7,3 %) dont les individus avaient une taille plus importante qu'en période printanière et du Crustacé Décapode *Liocarcinus vernalis* (7,1 %).

En septembre 2020 (S4), le peuplement était encore dominé par l'Annélide Polychète ingénieuse *Lanice conchilega* avec 3147 ind.m<sup>-2</sup> soit 19,8 % de l'abondance totale. Elle était suivie par l'espèce représentative du peuplement : le Mollusque Bivalve *Abra alba* (2 780 ind.m<sup>-2</sup> soit 17,5 %) puis par *Kurtiella bidentata* (1 874 ind.m<sup>-2</sup> soit 11,8 %). S'en suivaient les Polychètes opportunistes du genre *Capitella sp* (1 432 ind.m<sup>-2</sup> soit 9 % de l'abondance totale) et les Oligochètes (7,4 %). La biomasse était trois fois plus importante qu'en été avec 151,67 g.m<sup>-2</sup> (Tableau C-3) et elle était encore une fois dominée par le couteau américain *Ensis leei* avec 35,8 % de la biomasse totale, suivie d'*Abra alba* (19,2 %), de *Lanice conchilega* (9,6 %) puis de mollusques *Limecola balthica* (6,4 %), *Tritia reticulata* (5,5 %) et *Fabulina fabula* (4,8 %).

Tableau C-4 : Abondance saisonnière (ind.m<sup>-2</sup>) des 10 taxa les plus abondants au point B en 2020

Densité (ind.m <sup>-2</sup> )	S1	Densité (ind.m <sup>-2</sup> )	S2
<i>Oligochaeta</i>	819	<i>Lanice conchilega</i>	6 437
<i>Abra alba</i>	381	<i>Capitella sp.</i>	2 142
<i>Kurtiella bidentata</i>	340	<i>Spiophanes bombyx</i>	2 103
<i>Owenia fusiformis</i>	271	<i>Oligochaeta</i>	1 882
<i>Eumida sanguinea</i>	257	<i>Kurtiella bidentata</i>	1 305
<i>Pariambus typicus</i>	244	<i>Abra alba</i>	535
<i>Ophiura sp.</i>	184	<i>Copepoda</i>	511
<i>Spiophanes bombyx</i>	171	<i>Echinodermata (larvae)</i>	460
<i>Ophiura albida</i>	139	<i>Eumida sanguinea</i>	395
<i>Capitella sp.</i>	105	<i>Decapoda</i>	319

Densité (ind.m <sup>-2</sup> )	S3	Densité (ind.m <sup>-2</sup> )	S4
<i>Oligochaeta</i>	1 669	<i>Lanice conchilega</i>	3 147
<i>Lanice conchilega</i>	1 646	<i>Abra alba</i>	2 780
<i>Spiophanes bombyx</i>	727	<i>Kurtiella bidentata</i>	1 874
<i>Kurtiella bidentata</i>	560	<i>Capitella sp.</i>	1 432
<i>Magelona johnstoni</i>	466	<i>Oligochaeta</i>	1 173
<i>Eumida sanguinea</i>	419	<i>Eumida sanguinea</i>	1 077
<i>Capitella sp.</i>	361	<i>Spiophanes bombyx</i>	584
<i>Abludomelita obtusata</i>	232	<i>Owenia fusiformis</i>	511
<i>Fabulina fabula</i>	125	<i>Phyllodoce mucosa</i>	337
<i>Abra alba</i>	124	<i>Fabulina fabula</i>	320

Le point B, situé en dehors de l'impact courantologique de la centrale reste représentatif du peuplement à ***Abra alba***. C'est à ce point qu'ont été mis en évidence les basculements bionomiques caractéristiques de ce peuplement (Figure C-5). Ces basculements aussi importants qu'ils soient ne remettent jamais en cause la structuration du peuplement, organisée autour d'une dizaine d'espèces. Cette année, la densité d'*Abra alba* était relativement faible aux trois premières saisons (hiver, printemps et été) mais a augmenté de façon importante en automne suite à un recrutement

important. On passait ainsi de 381 ind.m<sup>-2</sup> en hiver, à 535 ind.m<sup>-2</sup> au printemps, à seulement 124 ind.m<sup>-2</sup> en été pour atteindre 2780 ind.m<sup>-2</sup> en automne.

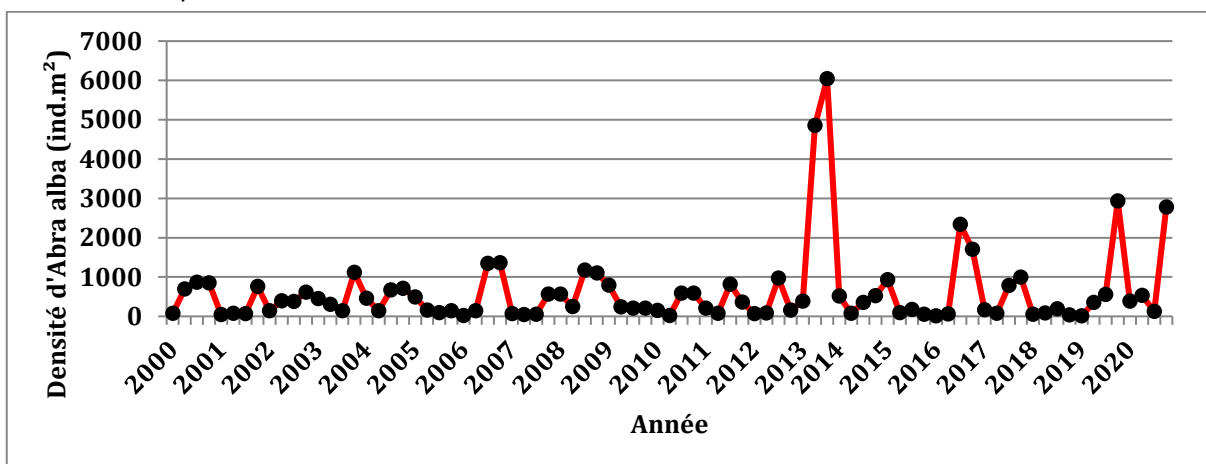


Figure C-5 : Densité saisonnière d'*Abra alba* au point B depuis 2000

Tout comme *Abra alba*, *Fabulina fabula* a été trouvée de manière récurrente au point B. Cependant, les densités étaient en générale 10 fois moins élevées que celles d'*Abra alba* (Figure C-6). Ici encore, on a pu observer un phénomène de cyclicité lié à la période de recrutement (également observée avec la taille des individus). On passait ainsi de 14 ind.m<sup>-2</sup> en période hivernale à 202 ind.m<sup>-2</sup> au printemps puis à 320 ind.m<sup>-2</sup> en période automnale. En 2020, les densités étaient à un niveau plutôt élevé de 165 ± 128,83 ind.m<sup>-2</sup>.

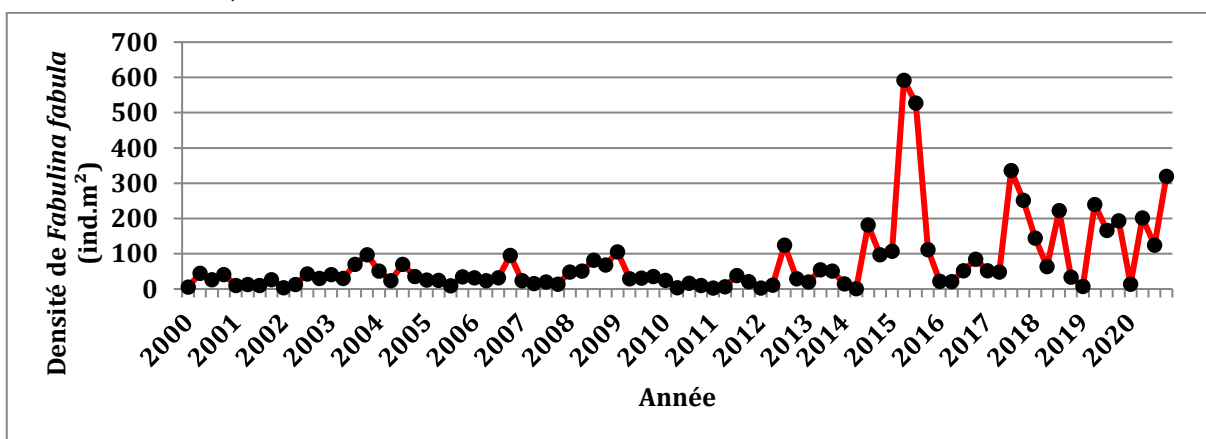
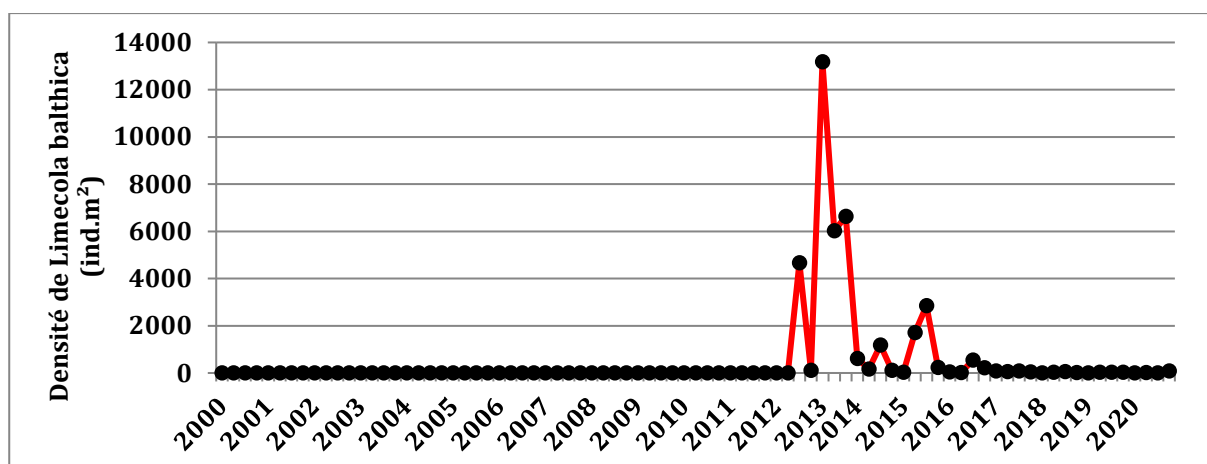


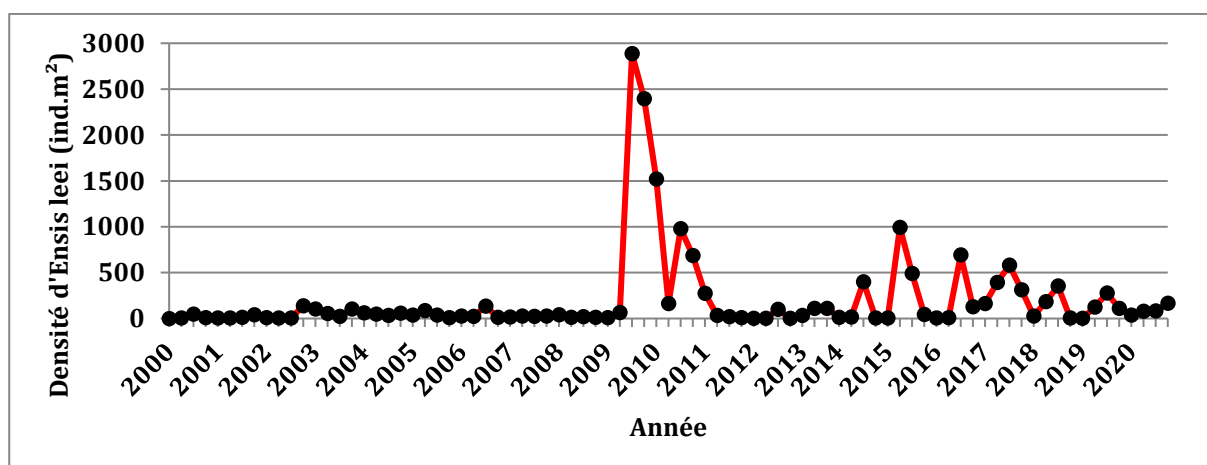
Figure C-6 : Densité saisonnière de *Fabulina fabula* au point B depuis 2000

Cette année encore, le bivalve *Limecola balthica* ne faisait pas partie des taxa les plus abondants. Depuis 2016, sa densité est redevenue comparable aux années antérieures à 2012 (Figure C-7). On passait ainsi de 6 ind.m<sup>-2</sup> en période hivernale à 22 ind.m<sup>-2</sup> au printemps puis à 77 ind.m<sup>-2</sup> en période automnale.

Figure C-7 : Densité saisonnière de *Limecola balthica* au point B depuis 2000

Le recrutement pléthorique d'*Ensis leei* (autrefois nommé *Ensis directus*) en 1991 avait modifié l'organisation du peuplement. Durant les années qui ont suivi, on a pu observer un lent processus de retour vers des densités plus proches de ce qu'elles étaient avant 1991. On peut estimer qu'en 1999, les densités étaient revenues à des valeurs « habituelles » pour ce secteur concernant certaines espèces (Antajan, 2014).

De 2000 à 2008, les densités du couteau américain *Ensis leei* sont restées faibles, puis on a assisté ensuite à des pics de recrutement, dont le plus important était en 2009 (Figure C-8). Cette année le pic de densité était en automne avec 165 ind.m<sup>-2</sup> ; abondance plus faible que l'année précédente où un maximum de 279 ind.m<sup>-2</sup> avait été recensé en période estivale. Contrairement aux années précédentes où la densité en couteaux américains diminue en automne, on a observé cette année le pic à cette période. Attention toutefois puisque les prélèvements ont été réalisés tout début septembre en 2020 (S4), l'étiage hivernal dans la cinétique de la communauté n'étant pas encore atteint.

Figure C-8 : Densité saisonnière d'*Ensis leei* au point B depuis 2000

Sur le plan global (toutes saisons confondues), la richesse taxinomique de 2020, avec 86 taxa, est largement supérieure aux années antérieures (moyenne de 67 taxa entre 2000 et 2019).

Comme pour les années précédentes (2000-2019), la richesse taxinomique était semblable selon les saisons (ANNEXE C-3), puisque le  $r^2$  de leurs sommes cumulées au cours du temps était toujours supérieur à 0,99, illustrant une excellente corrélation (donc une absence de rupture de pente). Il n'y a donc pas eu de modification de la richesse taxinomique, donc pas de perturbation notable entre 2000 et 2020.

La densité moyenne de 11 295 ind.m<sup>-2</sup> était supérieure à la moyenne des années antérieures (2000-2019 : 8 245 ind.m<sup>-2</sup>). La différence s'explique par les pics de *Lanice conchilega* qui ont été mis en évidence certaines années comme en 2007 et 2015, où leur densité était de plus de 20 fois

supérieure à celle observée cette année. Tout comme en 2019, on assiste encore en 2020 à des abondances importantes de *Lanice conchilega* à partir de la campagne printanière (S2) avec 6437 ind.m<sup>-2</sup> ainsi qu'à un recrutement important du bivalve *Abra alba* en automne (S4) avec 2780 ind.m<sup>-2</sup>.

La biomasse moyenne était du même ordre de grandeur que la moyenne des années précédentes avec 71,7 g.m<sup>-2</sup> en 2020 contre 64 g.m<sup>-2</sup> pour la période 2000-2019.

## C.1.4 RESULTATS DES ANALYSES AU POINT C (SOUS INFLUENCE)

### C.1.4.1 ANALYSES GRANULOMETRIQUES

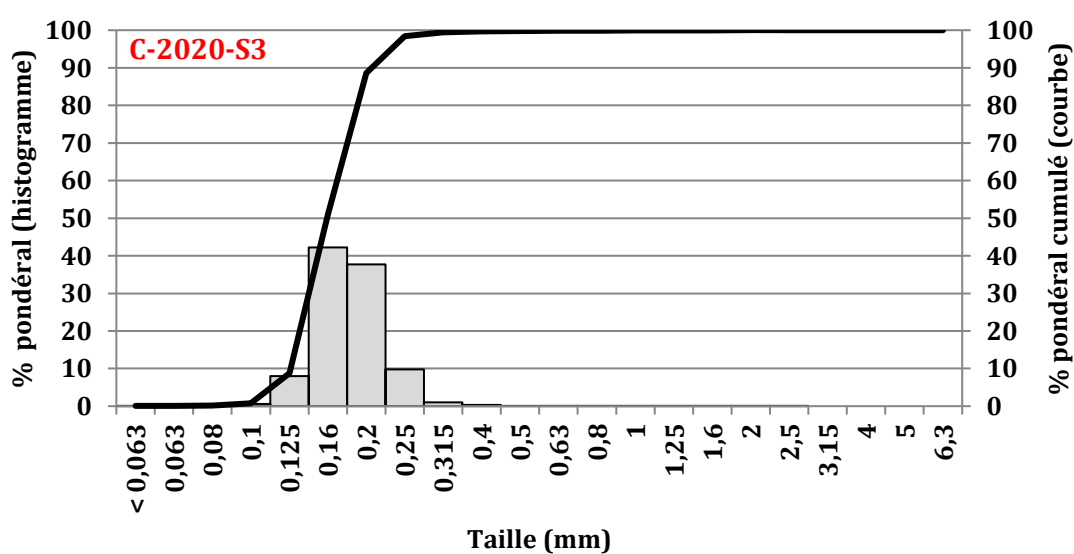
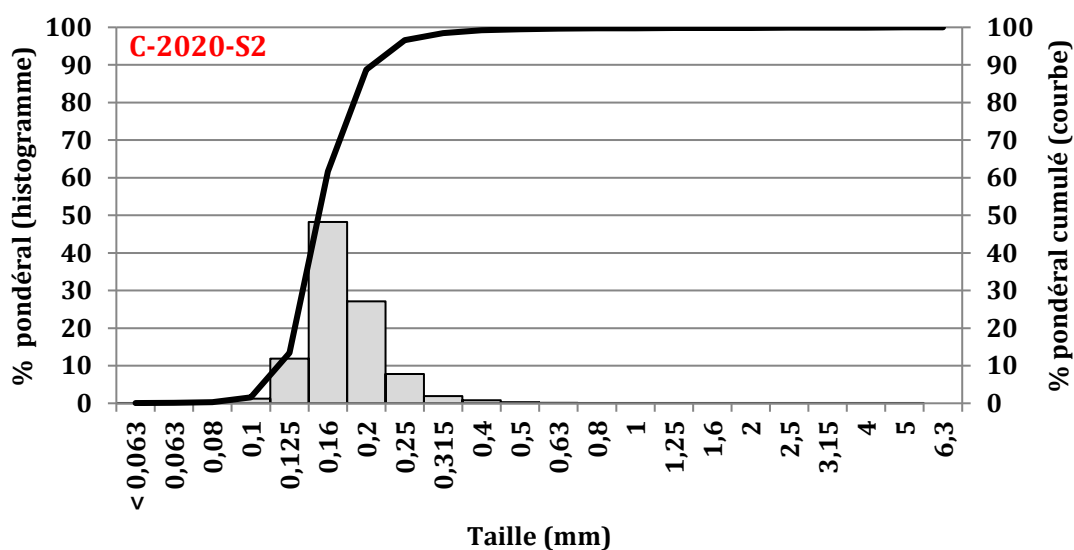
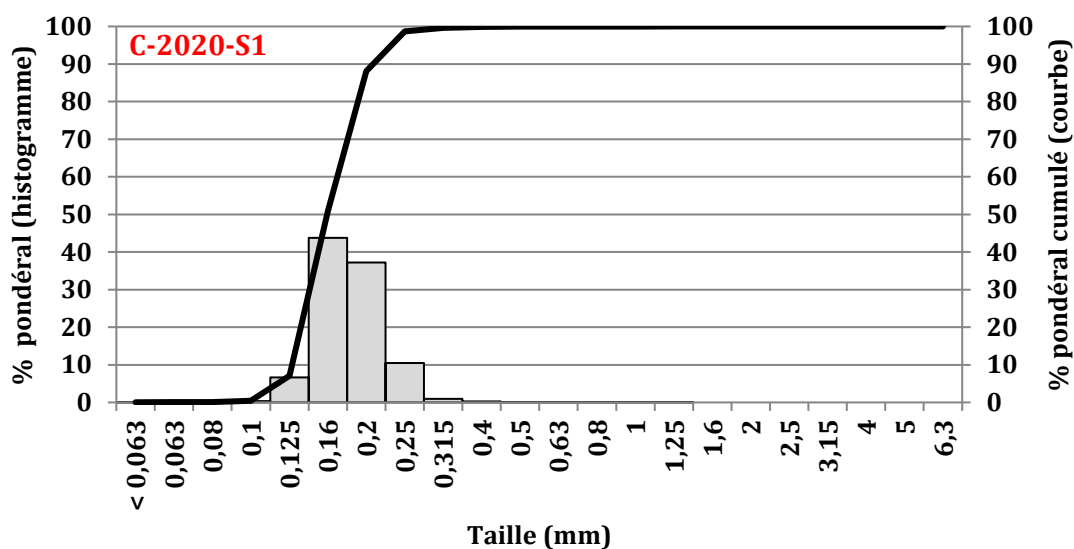
Les analyses granulométriques du point C pour 2020 ont révélé des sédiments majoritairement constitués de sables fins et moyens (plus de 99 % à chaque saison ; Tableau C-5Tableau C-5). Les particules les plus fines (< 63 µm) ainsi que les particules les plus grossières (graviers fins et graviers grossiers) étaient peu présentes (respectivement < 0,20 % et < 0,08 % ; Figure C-9). Les sables fins dominaient à chaque saison.

Tableau C-5 : Analyses granulométriques des fractions sédimentaires (%) au point C et classification de FOLK lors des quatre campagnes saisonnières 2020

Type de sédiment (%)	C-2020-S1	C-2020-S2	C-2020-S3	C-2020-S4
Pélites	0,03	0,06	0,08	0,20
Sables fins	50,88	61,60	50,88	60,81
Sables moyens	48,96	37,57	48,74	38,58
Sables grossiers	0,13	0,61	0,28	0,36
Graviers fins	0,00	0,07	0,02	0,05
Graviers grossiers	0,00	0,08	0,00	0,00
<b>FOLK</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>

Les prélèvements appartenaient tous à la catégorie des sables selon la classification de Folk quel que soit la saison (S ; Tableau C-5).

Globalement, sur l'ensemble des années du suivi, le sédiment du point C est principalement composé de sables moyens et fins. Ces deux classes représentent toujours plus de 95 % du poids total du sédiment. Depuis 2009, la description est à peu de chose près toujours la même : dominance des sables moyens et fins, présence de pélites mais en d'infimes proportions et des teneurs très faibles en graviers fins et grossiers.



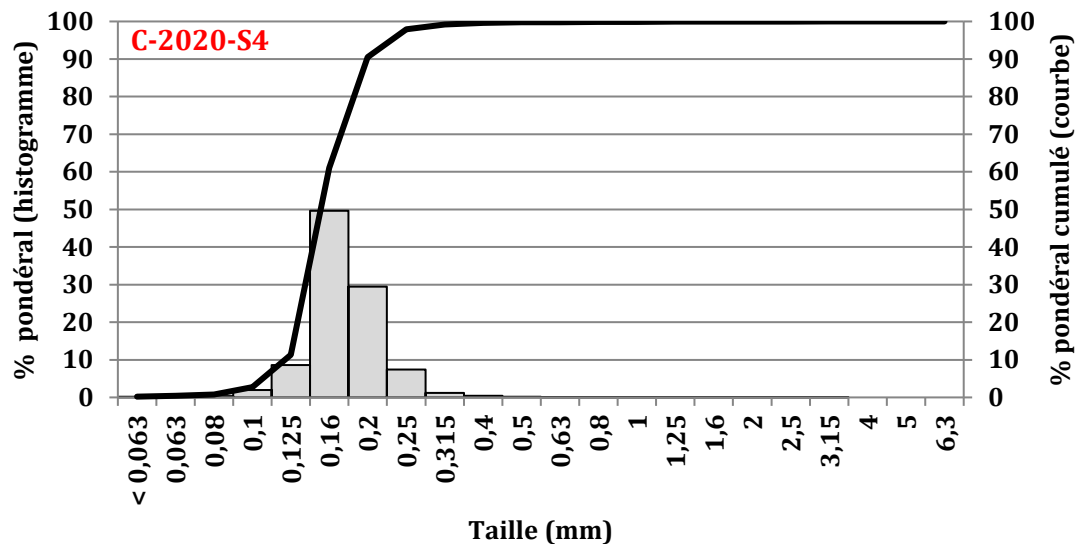


Figure C-9 : Histogrammes des classes de taille granulométriques et courbe de la fréquence pondérale cumulée au point C lors des quatre campagnes saisonnières de 2020

#### C.1.4.2 ANALYSE DES PEUPELEMENTS FAUNISTIQUES

Les données faunistiques brutes (densité : nombre d'individus par m<sup>2</sup>) à la station C pour chaque date de prélèvement sont présentées en ANNEXE C-4 et les biomasses (g de Poids Sec Libre de Cendre par m<sup>2</sup>) en ANNEXE C-5. L'évaluation de la richesse spécifique a été effectuée de la même manière que les années précédentes. En 2020, l'analyse faunistique a permis de recenser 40 taxa et 916 individus au point C répartis comme suit :

- 1 annélide oligochète,
- 13 annélides polychètes,
- 8 crustacés amphipodes,
- 4 crustacés décapodes,
- 1 crustacé cumacé,
- 1 crustacé copépode,
- 1 crustacé tanaidacé,
- 2 crustacés mysidacés,
- 2 échinodermes,
- 6 mollusques bivalves,
- 1 néemerte.

Globalement au point C, la richesse taxonomique était plus faible en automne (15 taxa) mais similaire à la période hivernale avec 16 taxa. Elle était plus élevée aux deux autres saisons de prélèvements (24 taxa au printemps et 20 en été ; Tableau C-5). Contrairement à ce qui est habituellement observé avec une dominance des Annélides, le phylum des Arthropodes présentait une diversité supérieure en 2020 avec 17 espèces (et 13 d'Annélides) alors qu'elle était du même ordre de grandeur en 2019 avec 17 espèces d'Arthropodes et 16 d'Annélides. Les Mollusques arrivaient en troisième position avec 6 espèces (Tableau C-5). Les autres phyla étaient peu représentés.



Tableau C-6 : Richesse taxinomique pour chaque phylum au point C lors des quatre campagnes saisonnières de 2020

Phylum	C-2020-S1	C-2020-S2	C-2020-S3	C-2020-S4	Total
Annelida	6	9	8	7	13
Arthropoda	5	10	9	4	17
Echinodermata	2	1	1	2	2
Mollusca	3	2	2	1	6
Oligochaeta	0	1	0	0	1
Nemertea	0	1	0	1	1
Richesse taxinomique	16	24	20	15	40

Les densités ont varié de 64 ind.m<sup>-2</sup> en hiver à 579 ind.m<sup>-2</sup> au printemps. Les biomasses ont elles aussi varié de 0,73 g PSLC.m<sup>-2</sup> en automne à 1,17 g PSLC.m<sup>-2</sup> en été (Tableau C-7). Cette année, l'indice de diversité de Shannon a varié peu entre les saisons (de 2,30 bits en automne à 3,01 bits en été). Sur le point C, l'indice d'équitabilité de Pielou a également peu varié entre les saisons (entre 0,59 et 0,70) indiquant que les espèces étaient assez bien équiréparties (Tableau C-7). Les points B et C différaient donc par le nombre d'espèces et le nombre d'individus.

Tableau C-7 : Densité (N), biomasse (B), équitabilité de Pielou (J') et diversité de Shannon (H' calculé en log de base 2) au point C lors des quatre campagnes saisonnières de 2020

Prélèvement	N (ind.m <sup>-2</sup> )	B (g.m <sup>-2</sup> )	J'	H' (bits)
C-2020-S1	64	0,83	0,66	2,63
C-2020-S2	579	0,92	0,62	2,86
C-2020-S3	135	1,17	0,70	3,01
C-2020-S4	138	0,73	0,59	2,30

Les 10 (ou 16 pour S1) taxa les plus abondants des quatre saisons ont permis de mettre en évidence l'assemblage de la communauté benthique du point C (Tableau C-8).

En février 2020 (S1), le peuplement était dominé par le Polychète *Nephtys cirrosa* (33 ind.m<sup>-2</sup>) soit 51,6 % de l'abondance totale, suivi de l'Annélide Polychète *Scolecopsis squamata* (10 ind.m<sup>-2</sup> soit 15,6 %) puis de trois espèces présentant 3 individus par m<sup>2</sup> : il s'agit de la Telline de la Baltique *Limecola balthica*, de l'Echinoderme *Ophiura albida* et du Crustacé Amphipode *Pontocrates altamarinus*. Les autres espèces présentaient des densités entre 1 et 2 ind.m<sup>-2</sup>. La biomasse globale en hiver était de 0,83 g.m<sup>-2</sup> (Tableau C-8). Les espèces les plus contributives à l'élaboration de la biomasse étaient *Limecola balthica* (0,23 g.m<sup>-2</sup> ; 28,3 %), *Nephtys cirrosa* (0,16 g.m<sup>-2</sup> ; 19,8 %), *Ensis leei* (0,15 g.m<sup>-2</sup> ; 18,7 %) et *Nephtys hombergii* (0,09 g.m<sup>-2</sup> ; 10,6 %).

En mai 2020 (S2), le peuplement était cette fois-ci dominé par deux autres espèces d'Annélides Polychètes : *Lanice conchilega* (249 ind.m<sup>-2</sup> ; 43 %) et *Spiophanes bombyx* (58 ind.m<sup>-2</sup> ; 10 %). Les copépodes harpacticoides arrivaient en 2<sup>ème</sup> position avec 93 ind.m<sup>-2</sup> (16,1 %). *Nephtys cirrosa* arrivait cette fois-ci en 4<sup>ème</sup> position avec 45 ind.m<sup>-2</sup> soit 7,8 % de l'abondance totale. La biomasse en cette période printanière a augmenté un peu avec 0,92 g.m<sup>-2</sup> (Tableau C-8). Les espèces les plus contributives à l'élaboration de la biomasse étaient *Nephtys cirrosa* (0,29 g.m<sup>-2</sup> ; 31,6 %), *Lumbrineris tetraura* (0,16 g.m<sup>-2</sup> ; 18,2 %), *Portunus latipes* (0,15 g.m<sup>-2</sup> ; 16,7 %) et la crevette grise *Crangon crangon* (0,12 g.m<sup>-2</sup> ; 13,6 %).

En juillet 2020 (S3), les espèces dominant le peuplement étaient encore différentes. On observait toutefois, comme en période hivernale (S1), au rang 1 le Polychète *Nephtys cirrosa* (55 ind.m<sup>-2</sup> soit 40,7 % de l'abondance totale) ; suivi du Polychète *Magelona johnstoni* (24 ind.m<sup>-2</sup> soit 17,8 %), de l'Amphipode *Bathyporeia elegans* (11 ind.m<sup>-2</sup> soit 8,1 %) et du Polychète *Spio martinensis* (8 ind.m<sup>-2</sup> soit 5,9 %). La biomasse en période estivale a augmenté quelque peu par rapport à la saison précédente avec 1,17 g.m<sup>-2</sup> (Tableau C-8). Deux principales espèces ont contribué à l'élaboration



de la biomasse : il s'agit de *Portumnus latipes* (0,75 g.m<sup>-2</sup> ; 64,9 %) et *Nephtys cirrosa* (0,35 g.m<sup>-2</sup> ; 30,2 %).

En septembre 2020 (S4), l'espèce de rang 1 était toujours le Polychète *Nephtys cirrosa* (75 ind.m<sup>-2</sup> soit 54,3 %), suivi de *Spio martinensis* (27 ind.m<sup>-2</sup> soit 19,6 %) et de l'étrille élégante (Crustacé Décapode) *Portumnus latipes* (10 ind.m<sup>-2</sup> soit 7,2 %). On retrouvait en automne la biomasse la plus faible de l'année : 0,73 g.m<sup>-2</sup> (Tableau C-8). Les espèces les plus contributives à l'élaboration de la biomasse étaient *Nephtys cirrosa* (0,54 g.m<sup>-2</sup> ; 75 %) et *Diogenes pugilator* (0,13 g.m<sup>-2</sup> ; 18,3 %).

Tableau C-8 : Abondance saisonnière (ind.m<sup>-2</sup>) des taxa les plus abondants au point C en 2020

Densité (ind.m <sup>-2</sup> )	S1	Densité (ind.m <sup>-2</sup> )	S2
<i>Nephtys cirrosa</i>	33	<i>Lanice conchilega</i>	249
<i>Scolecopsis squamata</i>	10	<i>Copepoda</i>	93
<i>Limecola balthica</i>	3	<i>Spiophanes bombyx</i>	58
<i>Ophiura albida</i>	3	<i>Nephtys cirrosa</i>	45
<i>Pontocrates altamarinus</i>	3	<i>Decapoda</i>	29
<i>Cumopsis goodsir</i>	2	<i>Magelona johnstoni</i>	24
<i>Apseudopsis latreilli</i>	1	<i>Bathyporeia elegans</i>	16
<i>Ensis leei</i>	1	<i>Capitella sp.</i>	13
<i>Fabulina fabula</i>	1	<i>Spio martinensis</i>	13
<i>Jassa marmorata</i>	1	<i>Gastrosaccus spinifer</i>	7
<i>Lanice conchilega</i>	1	<i>Scolecopsis squamata</i>	7
<i>Lumbrineris tetraura</i>	1		
<i>Magelona johnstoni</i>	1		
<i>Nephtys hombergii</i>	1		
<i>Ophiura sp.</i>	1		
<i>Portumnus latipes</i>	1		

Densité (ind.m <sup>-2</sup> )	S3	Densité (ind.m <sup>-2</sup> )	S4
<i>Nephtys cirrosa</i>	55	<i>Nephtys cirrosa</i>	75
<i>Magelona johnstoni</i>	24	<i>Spio martinensis</i>	27
<i>Bathyporeia elegans</i>	11	<i>Portumnus latipes</i>	10
<i>Spio martinensis</i>	8	<i>Magelona johnstoni</i>	5
<i>Bathyporeia pelagica</i>	6	<i>Ophiura albida</i>	4
<i>Copepoda</i>	5	<i>Ophiura sp.</i>	3
<i>Portumnus latipes</i>	5	<i>Pontocrates altamarinus</i>	3
<i>Spiophanes bombyx</i>	5	<i>Capitella sp.</i>	2
<i>Crangon crangon</i>	3	<i>Diogenes pugilator</i>	2
<i>Donax vittatus</i>	2	<i>Nemertea</i>	2
<i>Lanice conchilega</i>	2		

Comme depuis 2000, la richesse taxinomique est restée semblable quelle que soit la saison (ANNEXE C-6) puisque le r<sup>2</sup> de leurs sommes cumulées au cours du temps est de 0,99, ce qui illustre une absence de rupture de tendance.

Globalement au point C, la richesse taxinomique (40 taxa) est supérieure à la moyenne des années antérieures (29 taxa de 2000 à 2019). C'est aussi le cas pour les densités dont la moyenne en 2020 est de 229 ind.m<sup>-2</sup> alors que la moyenne sur la période 2000-2019 est de 192 ind.m<sup>-2</sup>. Il est à souligner que la moyenne sur la période 2000-2015 est tirée vers le haut par le pic de *Lanice conchilega* du printemps 2000 avec près de 4800 ind.m<sup>-2</sup>. Sans l'année 2000, la moyenne est de 120

ind.m<sup>-2</sup>. La biomasse moyenne annuelle est de 0,91 g.m<sup>-2</sup> soit un peu en-deçà de la moyenne sur la période 2000-2019 qui est de 1,24 g.m<sup>-2</sup> (ANNEXE C-5).

### C.1.5 EVOLUTION TEMPORELLE DES PEUPELEMENTS

Même si la richesse spécifique au point C était plus faible qu'au point B (*i.e.* 40 espèces vs 86 espèces), la qualité écologique du milieu n'en était pas moins bonne. En effet, lorsque l'on calcule l'AMBI pour 2020, la moyenne de 1,6 pour le point C traduit un état écologique d'un milieu « légèrement perturbé » ; la moyenne des années 2000-2019 était de 1,53 pour ce même point traduisant un bon état écologique (Figure C-10). Au point B, la moyenne de l'AMBI pour l'année 2020 était de 2,96 traduisant un milieu « légèrement perturbé » ; la moyenne des années 2000-2019 était de 2,38 pour ce même point traduisant un état écologique « légèrement perturbé ».

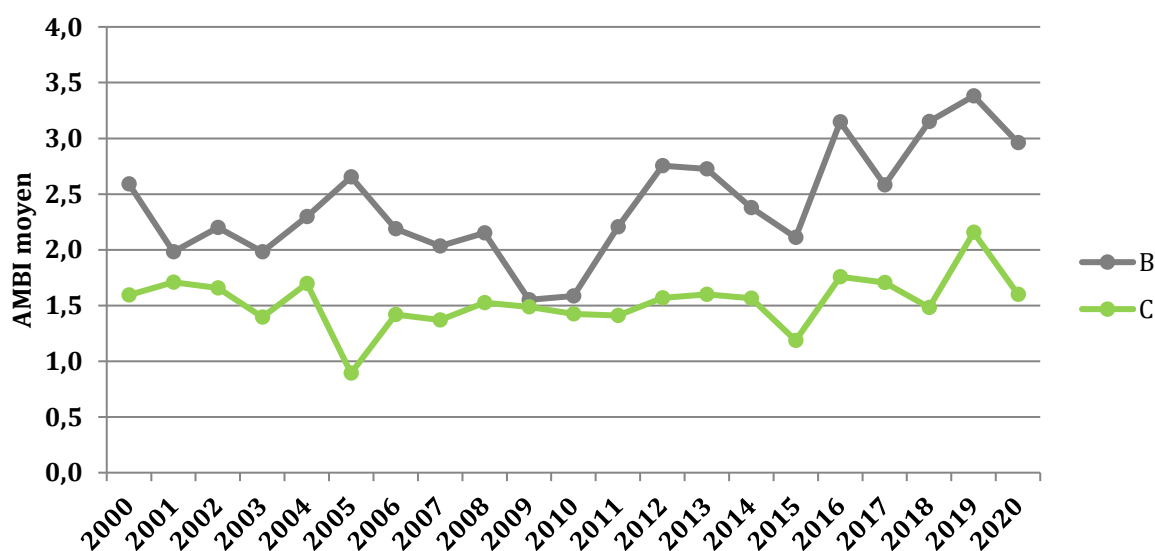


Figure C-10 : Evolution de l'indice biotique AMBI aux points B et C depuis 2000

A l'échelle saisonnière, on observe un état écologique similaire au point B en 2020. Le milieu était « légèrement perturbé » quelle que soit la période considérée (ANNEXE C-7). Au point B et quelle que soit la saison, on a observé une dominance des espèces de groupe II « espèces indifférentes aux perturbations » (36 %), des espèces de groupe III « espèces tolérantes » (32,3 %) et des espèces de groupe V « espèces opportunistes de premier ordre » (23 % ; ANNEXE C-8).

Au point C, l'état écologique du milieu était « légèrement perturbé » aux périodes hivernale, printanière et automnale alors qu'il était « non perturbé » en période estivale ; l'AMBI variant de 1,13 en été (S3) à 1,78 en hiver (S1 ; ANNEXE C-9). Les espèces du groupe II dominaient toute l'année au point C suivies des espèces du groupe III à l'exception de la période estivale (S3) où dominaient les espèces du groupe II et celles du groupe I « espèces sensibles et absentes des milieux pollués ». Les espèces opportunistes de premier ordre (groupe V) étaient peu représentées sur le point C (ANNEXE C-10).

Conformément à ce qui a déjà été observé, la différence de qualité entre les deux points suivis peut être expliquée par leur position géographique. En effet, le point B est davantage soumis aux apports en matière organique (MO) de l'Aa alors que les apports en MO participent à l'augmentation de l'AMBI. A noter toutefois que cette année, la qualité écologique du point C était meilleure qu'en 2019 et du même ordre de grandeur que les années antérieures.

### C.1.6 CONCLUSIONS

Le **point B** est caractéristique du peuplement des sables fins à *Abra alba*, avec les densités de ce mollusque qui ont fortement augmenté en automne suite à un bon recrutement. Le recrutement

de *Lanice conchilega*, observé au printemps, en été et à l'automne, explique la retenue d'autres organismes, tels les oligochètes et de nombreux polychètes mais aussi les recrues de *Fabulina fabula* et *Ensis leei*.

La richesse taxonomique et la densité sont, en 2020, supérieures aux observations depuis 2000 (86 taxa en 2019 contre 67 sur la période 2000-2019 et 11 295 ind.m<sup>2</sup> en 2020 contre 8 245 sur la période 2000-2019). La biomasse est, quant à elle, du même ordre de grandeur (i.e. 71,7 g.m<sup>2</sup> en 2020 contre 64 g.m<sup>2</sup> sur la période 2000-2019).

En ce qui concerne la qualité écologique du milieu au point B, il n'y a pas de réelle modification entre les années, même si la valeur se trouve dans les plus hautes calculée depuis 2000. Le milieu a toujours une bonne qualité avec un indice biotique AMBI dont la valeur moyenne est de 2,96 qualifiant le milieu de « légèrement perturbé ».

Le **point C** permet de visualiser l'impact de la centrale sur le peuplement à *Abra alba* dans le champ proche du rejet. **Le lessivage des fines du sédiment par les eaux rejetées par la centrale, parfaitement matérialisé par les analyses granulométriques, provoque la disparition des espèces vasicoles.** Cependant, certains recrutements observés au point B peuvent être observés, en résonance, de manière atténuée au point C. Ce phénomène a déjà été observé plusieurs fois, par exemple en 1991 avec *Ensis leei* et en 2000 avec *Lanice conchilega* (Antajan, 2014). De plus, les espèces récoltées en zone non impactée peuvent être trouvées au point C mais en densité beaucoup plus faible, comme par exemple cette année les Annélides Polychètes *Eumida sanguinea*, *Spio martinensis*, *Spiophanes bombyx* et *Lanice conchilega* ou encore les Bivalves *Fabulina fabula* et *Ensis leei*.

**Les peuplements benthiques subtidaux établis à ce point restent toujours du type sabulicole et le déficit en densité et biomasse au point C reste toujours significatif par rapport au point B.** Ces déficits étaient du même ordre que celui des études précédentes. Malgré ces déficits, la qualité écologique du milieu au point C apparaît comme bonne, voire très bonne en période estivale (S3), avec une valeur moyenne d'AMBI encore plus faible qu'au point B (i.e. 1,6 contre 2,96). En 2020, elle était également inférieure aux années antérieures évoquant une légère amélioration de la qualité du milieu.

**Les résultats enregistrés en 2020 au point C confirment donc à la fois l'impact de la centrale sur les communautés benthiques du champ proche de l'embouchure du canal de rejet, mais aussi la stabilité de cet impact au cours du temps.** Le maintien du peuplement en place confirme la constance de la perturbation. L'Annélide Polychète *Nephtys cirrosa* demeure l'espèce la plus dense du peuplement établi à ce point, suivi d'autres Polychètes tels que *Magelona johnstoni*, *Spio martinensis* et *Scolecopsis squamata*.

Cependant, il faut aussi rappeler que le peuplement installé au point C est tout à fait semblable, tant du point de vue de la composition faunistique que de la densité et de la biomasse globale, à ceux établis sur les sédiments similaires dans la région. De plus, la zone de déficit est localisée au débouché du canal de rejet et ne s'étend pas *a priori* au-delà de quelques centaines de mètres. **Enfin, ce déficit est uniquement dû à l'action de la courantomologie et rien ne permet de penser, avec les informations recueillies, que l'on puisse être en présence d'un autre impact que celui courantomologique du rejet.**

**Au vu des données disponibles pour le compartiment benthique subtidale en 2020 à Gravelines, il n'apparaît pas d'effet perceptible du fonctionnement du CNPE sur la morphologie de l'estran ainsi que sur la macrofaune associée.**

# MACROFAUNE BENTHIQUE INTERTIDALE

## **Rédaction/mise en page**

Mélanie Rocroy (GEMEL)

Guillaume Wacquet (LER-BL)

## **Prélèvements et mesures *in situ***

GEMEL

## **Analyses/Traitement des données**

GEMEL

## **Expertise thématique**

Mélanie Rocroy (GEMEL)

## C.2 MACROFAUNE BENTHIQUE INTERTIDALE

Les études écologiques menées depuis 1973 sur l'estran de Petit Fort Philippe ont permis d'avoir une bonne connaissance des facteurs qui déterminent l'organisation, la répartition et l'évolution des peuplements benthiques intertidaux.

Ces peuplements sont sous l'influence directe de deux principaux facteurs de l'environnement : la salinité et la teneur en fines du sédiment. Il a été démontré également que l'impact thermique de la centrale pouvait jouer un rôle important dans la structuration bionomique de l'estran, notamment au niveau de deux populations d'annélides polychètes de la famille des spionidés : *Spio martinensis* et *Pygospio elegans*. Ces deux populations se répartissent sur l'estran en fonction de leur préférence thermique, *P. elegans* étant plus thermophile que *S. martinensis*. Il faut néanmoins relativiser l'ampleur de cet impact dans la mesure où l'exclusion réciproque des deux populations n'est pas systématique et que la densité de population des deux espèces varie fortement. Les modifications bionomiques mises en évidence sur l'estran de Gravelines peuvent être expliquées dans une large mesure par les évolutions respectives de ces trois facteurs. Ces altérations sont particulièrement évidentes au niveau des populations de la partie supérieure de l'estran et notamment de celles du peuplement des espèces vasicoles et d'eaux saumâtres. Les niveaux inférieurs de l'estran sont caractérisés depuis plusieurs années par une grande stabilité bionomique qui ne peut être remise en cause temporairement que par la résonance dans ces niveaux des phénomènes qui se déroulent dans le milieu subtidal proche. Ces phénomènes sont toujours indépendants du fonctionnement de la centrale.

### C.2.1 STRATEGIE DE SURVEILLANCE

#### C.2.1.1 HISTORIQUE DES SUIVIS

La stratégie d'échantillonnage a été modifiée lors de l'étude de 2000. En effet, étant donnée la stabilité bionomique des niveaux inférieurs depuis plusieurs années, ne révélant par ailleurs aucun impact de la centrale, il avait été décidé de porter davantage notre attention sur la continuité de l'impact mis en évidence dans les niveaux supérieurs de l'estran et de délaissier les niveaux inférieurs. Dans ce but, deux points en haut niveau (point M) et en moyen niveau supérieur (point N) sur une nouvelle radiale située entre les deux radiales précédemment étudiées ont été rajoutés en 2000. Cependant, lors des campagnes réalisées depuis 2000 nous avons conservé la grille d'échantillonnage des niveaux inférieurs du fait du recrutement de *Donax vittatus*, espèce qui n'avait pas été récoltée depuis de nombreuses années sur l'estran.

#### C.2.1.2 SUIVI ACTUEL

Les points de surveillance sont répartis sur l'ensemble de l'estran Petit-Fort-Philippe, zone comprise entre l'estuaire de l'Aa et la route des Dunes (Figure C-11) et couvrent à la fois les niveaux inférieurs de l'estran, partiellement sous influence des rejets thermiques de la centrale (points H, G, K et L), et les niveaux supérieurs, hors influence thermique (E, F, M, N, I et J). La campagne de prélèvement a lieu à la fin du printemps, période où les densités du zoobenthos sont plus importantes. La campagne a eu lieu le 08 juin 2020.

### C.2.2 PARAMETRES / METHODES

#### C.2.2.1 ÉCHANTILLONNAGE, PRELEVEMENTS

Sur chacune des 10 stations échantillonnées, 13 répliques ont été effectués à l'aide d'un carottier de 16 cm de diamètre, ce qui représente une surface d'échantillonnage totale de 0,26 m<sup>2</sup> (surface identique à celle réalisée les années précédentes). Les prélèvements ont été tamisés sur place à l'aide d'un tamis de 1 mm de vide de maille carrée. Ils ont par la suite été fixés au formol neutralisé



à 5 %, additionné de rose bengale. Ces prélèvements vont servir à la caractérisation de la faune en place. Une quatorzième carotte a été faite afin de caractériser la granulométrie du sédiment. Ces prélèvements sédimentologiques ont été congelés de retour au laboratoire.

Les coordonnées et les heures de chacune des carottes ont été relevées (ANNEXE C-11). Le positionnement des prélèvements est présenté Figure C-11.



Figure C-11 : Positions des prélèvements du benthos intertidal en 2020 (coordonnées en Lambert 93, en m)  
(Source : Ortho Littorale 2013)

### C.2.2.2 GRANULOMETRIE

Pour chaque prélèvement, le sédiment a été parfaitement dessalé à l'eau douce par trois lavages successifs afin de supprimer toutes traces de sel qui provoque par cristallisation des agrégats de grains. Chaque prélèvement a ensuite été desséché à l'étuve à 110°C, pendant au moins 48 heures et tamisé immédiatement ou maintenu dans l'étuve jusqu'à son tamisage. Étant donné les teneurs en particules très fines, le sédiment a d'abord été tamisé sur un tamis de vide de maille 40 µm. La fraction ainsi obtenue a ensuite été séchée et pesée à part.

Une série de 26 tamis de type AFNOR (allant de 20 cm à 40 µm de vide de maille, suivant une progression géométrique de raison  $10\sqrt{10}$ ) a été utilisée (Tableau C-9). Au vu des types sédimentaires, un tamisage manuel a été effectué sur les deux premiers vides de maille (20, 5 et 2 cm). Le tamisage mécanique a été réalisé en plaçant le reste des tamis par ordre décroissant de vide de maille en trois colonnes vibrantes successives :

- Tamis de 6,3 mm à 1,6 mm,
- Tamis de 1,25 mm à 250 µm,
- Tamis de 200 à 40 µm.

Ce tamisage mécanique a été réalisé à l'aide d'une tamiseuse *Octagon digital* durant 20 minutes pour toutes les fractions. La masse de chaque refus de tamis a été mesurée. Les pesées ont été réalisées à l'aide d'une balance électronique à 0,01 g près.

La masse de la fraction inférieure à 40  $\mu\text{m}$  a été calculée en additionnant la valeur de la pesée du sédiment ayant traversé le tamis de 40  $\mu\text{m}$  lors du tamisage mécanique et la valeur de la pesée du sédiment recueilli par décantation lors du dessalage. Les résultats ont ensuite été ramenés en pourcentage du poids total de l'échantillon et les différentes mesures de tamis ont ensuite été regroupées en six classes :

- Pélites : fraction inférieure à 63  $\mu\text{m}$ ,
- Sables fins : fractions de 63 à 160  $\mu\text{m}$ ,
- Sables moyens : fractions de 200 à 400  $\mu\text{m}$ ,
- Sables grossiers : fractions de 500  $\mu\text{m}$  à 1,6 mm,
- Graviers fins : fraction de 2 mm à 4 mm,
- Graviers grossiers : fraction de 5 mm et plus.

Tableau C-9 : Série de tamis utilisée pour l'analyse granulométrique

Classification de Larsonneur	Maille ( $\mu\text{m}$ )	Classes utilisées
<b>Blocs</b>	200000	Graviers grossiers
<b>Galets et coquilles</b>	50000	Graviers grossiers
	20000	Graviers grossiers
<b>Graviers</b>	6300	Graviers grossiers
	5000	Graviers grossiers
<b>Granules</b>	4000	Graviers fins
	3150	Graviers fins
	2500	Graviers fins
	2000	Graviers fins
<b>Sables grossiers</b>	1600	Sables grossiers
	1250	Sables grossiers
	1000	Sables grossiers
<b>Sables moyens</b>	800	Sables grossiers
	630	Sables grossiers
	500	Sables grossiers
<b>Sables fins</b>	400	Sables moyens
	315	Sables moyens
	250	Sables moyens
	200	Sables moyens
<b>Sablons</b>	160	Sables fins
	125	Sables fins
	100	Sables fins
<b>Sablons fins</b>	80	Sables fins
	63	Sables fins
	50	Pélites
<b>Silts et argiles</b>	40	Pélites
	< 40	Pélites

Ensuite, un dérivé de la classification de Folk a été utilisé afin de décrire le sédiment à travers 15 catégories. Dans cette classification, les sédiments sont regroupés en 3 types : vase, sable et gravier. Cette distinction se fait sur la base du diamètre des grains aux limites entre la vase et le sable (63  $\mu\text{m}$ ) et entre le sable et le gravier (2 mm). La proportion relative des grains dans chacune des catégories permet de décrire le sédiment et peut être reportée sur un diagramme appelé « triangle de Folk ». Les noms attribués à chaque catégorie correspondent aux croisements d'un tableau à double entrée.

### C.2.2.3 MATIERE ORGANIQUE

La teneur en matière organique se mesure par « perte au feu ». La fraction tamisée inférieure à 63 µm, dont le poids est connu, a été conservée pour être ensuite portée à calcination à 465°C pendant 6 heures. Les échantillons sont alors à nouveau pesés. La teneur en Matière Organique (MO) est finalement calculée par cette équation :

$$\text{Teneur en MO (\%)} = [(PS-PV)-(PC-PV)] \times 100 / (PS-PV)$$

avec *PS* = Poids Sec, *PV* = poids du contenant utilisé pour la mesure et *PC* = Poids de Cendres.

### C.2.2.4 IDENTIFICATION ET DENOMBREMENT DE LA MACROFAUNE BENTHIQUE INTERTIDALE

Au laboratoire, les échantillons de sédiment contenant la macrofaune ont tout d'abord été rincés afin d'éliminer le fixateur (formol). Les échantillons ont été rincés au fur et à mesure de l'avancement des travaux, afin d'éviter toute dégradation des organismes. Ensuite, un tri à vue méticuleux du refus de tamis par la méthode d'agitation-flottaison a permis d'extraire le macro-zoobenthos du sédiment. Une première répartition par groupes taxinomiques a été réalisée lors de cette étape.

Les déterminations ont été menées autant que possible jusqu'au niveau spécifique. Elles ont été réalisées sous une loupe binoculaire et, lorsque cela s'avérait nécessaire, sous microscope. En cas d'incertitude quant à l'identification au niveau de l'espèce, le rang taxinomique le plus sûr a été adopté (genre, parfois famille, voire à un niveau nettement supérieur dans le cas des némerthes par exemple).

Pour chaque prélèvement, le nombre d'espèces ainsi que le nombre exact d'individus par espèce pour l'endofaune et pour l'épifaune vagile ont été comptabilisés. Une photographie de chaque taxon a été prise afin de constituer une photothèque de référence.

### C.2.2.5 BIOMASSE DE LA MACROFAUNE BENTHIQUE INTERTIDALE

La biomasse de la macrofaune benthique a été déterminée par espèce et par station et exprimée en poids sec libre de cendres (PSLC) selon la méthodologie préconisée par le *Benthos Ecology Working Group* du Comité International pour l'Exploration de la Mer (Anonyme, 1986)<sup>20</sup> et reprise dans la norme ISO/FDIS 16 665 (2005).

Après comptage des individus de chaque espèce, ceux-ci ont été placés dans des papillotes en aluminium, puis séchés à l'étuve à 75°C pendant 48 heures jusqu'à l'obtention d'un poids constant. Une première pesée, donnant le poids sec, a été effectuée à 0,01 mg près. Ensuite, les papillotes ont été placées au four à 500°C pendant 6 heures afin de permettre une calcination complète de la matière organique sans altérer la matière minérale (coquilles de mollusques). Une seconde pesée, donnant le poids de cendres a été effectuée à l'aide de la même balance que lors de l'étape précédente. La différence entre les deux pesées donne le PSLC. Cette méthode permet de s'affranchir des problèmes liés à la teneur en eau des organismes.

### C.2.2.6 BASE DE DONNEES ET ANALYSES DES DONNEES

La base de données (sous Access 2007 ; © Microsoft Corporation) regroupant la totalité des données disponibles a été augmentée des données nouvellement collectées. La table relative à la taxinomie a été mise à jour en se basant sur l'ERMS (*The European Register of Marine Species*), consulté à la date du 31 septembre 2020.

Les analyses de données ont été effectuées sous le logiciel Primer (pour ce qui concerne les analyses de diversité).

<sup>20</sup> Anonyme (1986). Fifth report on the Benthos Ecology Working Group. ICES CM L :27 : 1-33



### C.2.2.7 TERMINOLOGIE UTILISEE

Les termes utilisés en écologie benthique ont énormément évolué depuis 1973. Récemment, la multiplication des textes officiels gouvernementaux (notamment les textes de classifications en écologie) a montré un mésusage des termes écologiques; alors qu'il est indispensable d'avoir une terminologie commune pour les notions les plus couramment employées par le plus grand nombre. Pour le présent chapitre, les définitions suivantes ont été adoptées :

- Population : ensemble des individus d'une même espèce sujets aux mêmes événements démographiques.
- Peuplement : ensemble des populations d'un même niveau taxinomique qui vivent dans le même biotope et qui crée une entité relativement stable et homogène étendue sur une large aire (par exemple, le peuplement des bivalves des sables fins infralittoraux).
- Communauté : ensemble des différentes populations vivant dans des conditions écologiques moyennes dans un endroit donné.
- Assemblage : ensemble des espèces caractérisant un groupe de stations ayant une forte similitude faunistique.

## C.2.3 RESULTATS D'ANALYSE

### C.2.3.1 GRANULOMETRIE

Les analyses granulométriques ont révélé des sédiments majoritairement constitués de sables fins et de sables moyens. Les stations G, F, M, I et J présentaient des proportions comparables en sables moyens et sables fins; les sables fins étaient majoritaires au niveau des autres stations (Figure C-12). Les résultats détaillés sont donnés en ANNEXE C-12.

La fraction constituée par ces sables fins et moyens représentaient entre 91,8 % (station E) et plus de 99 % (stations H et K) de la composition totale du sédiment. Les particules les plus fines (<63 µm) étaient en proportion plus élevées (>1 %) dans les stations du haut de l'estran (stations E, M, et N; Tableau C-10). La proportion des particules les plus grossières (graviers fins et graviers grossiers) était faible (<1 % pour l'ensemble des stations, hormis pour les stations G = 1 % et N = 2,2 % ; Tableau C-10).

Tableau C-10 : Autres caractéristiques des sédiments prélevés le 08 juin 2020

Station	Teneur en graviers (%)	Teneur en fines (%)	Teneur en matière organique (%)	Folk
E	0.27	6.89	1.39	S
F	0.03	0.29	0.45	S
G	1.00	0.12	0.37	(g)S
H	0.00	0.31	0.38	S
I	0.00	1.56	0.46	S
J	0.09	0.28	0.72	S
K	0.00	0.14	0.46	S
L	0.31	0.15	0.50	S
M	0.05	1.52	0.48	S
N	2.17	0.63	0.59	(g)S

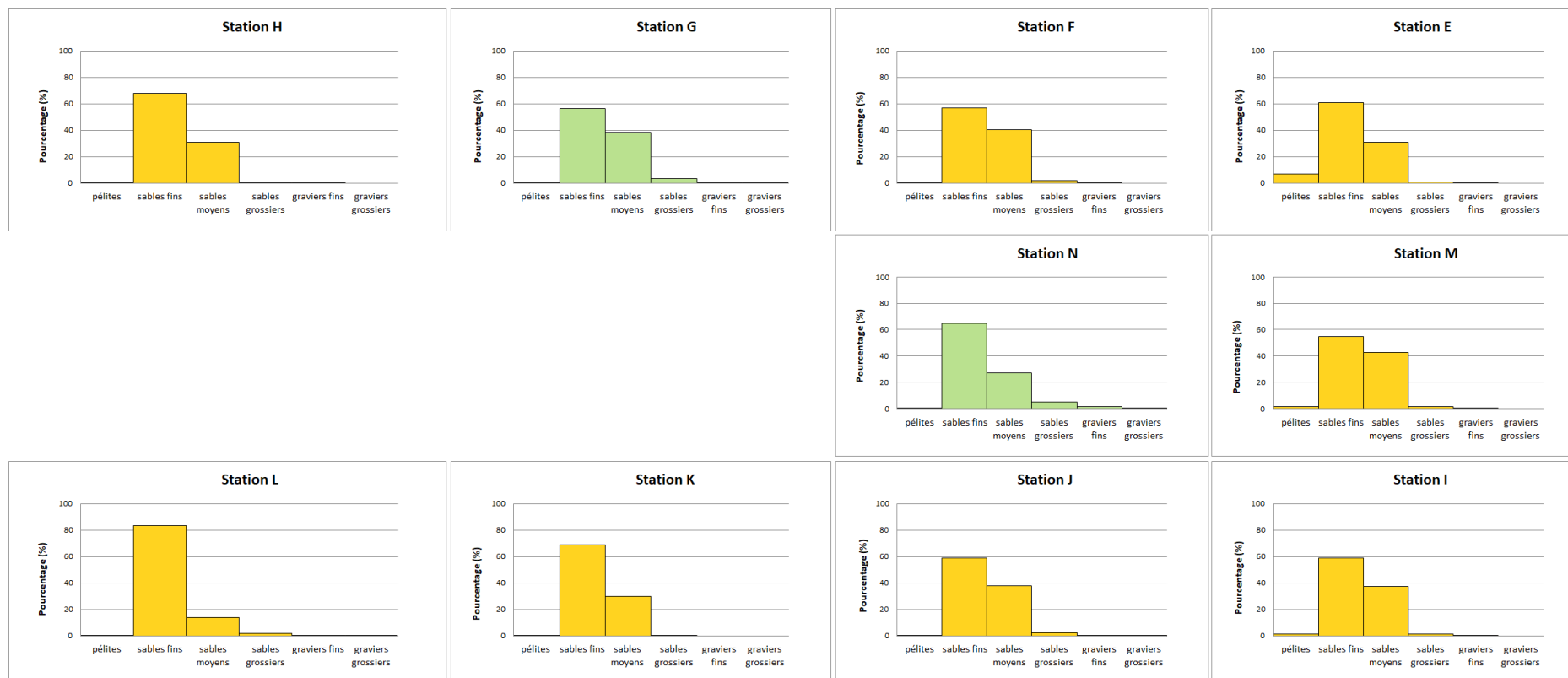


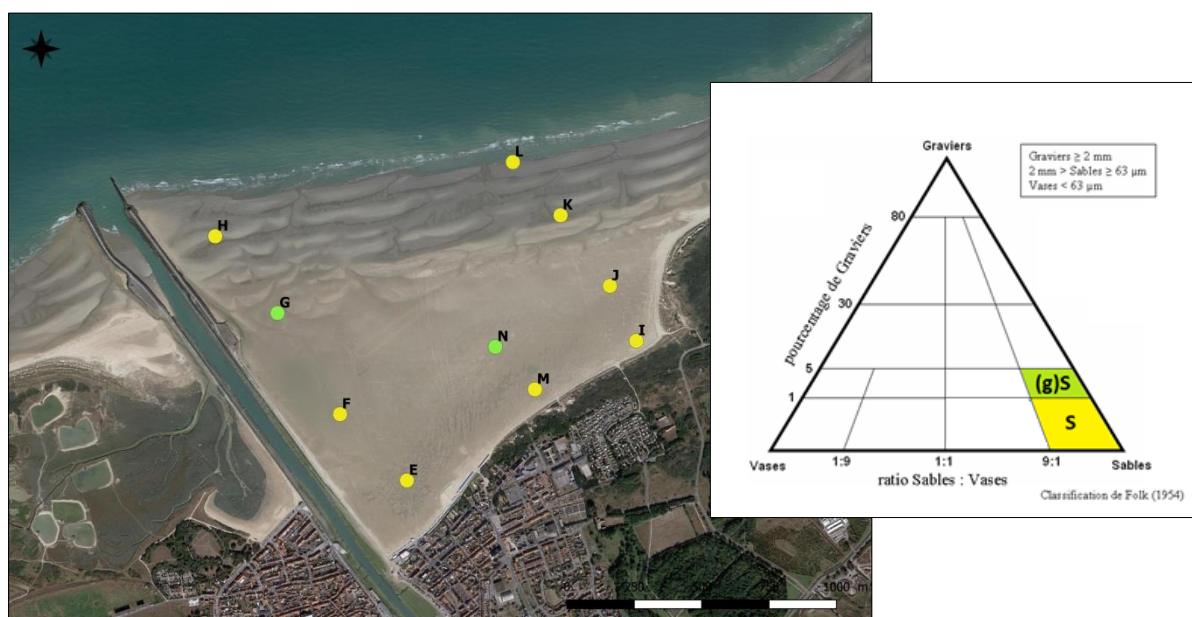
Figure C-12 : Caractéristiques granulométriques du sédiment (pourcentages pondéraux) en 2020  
 Les couleurs sont celles utilisées pour la classification de Folk (vert clair= sables légèrement graveleux ; jaune = sables fins)

L'ensemble de ces caractéristiques permet de classer les sédiments selon la classification de Folk en deux catégories présentées Figure C-13 :

- sables légèrement graveleux, notés (g)S,
- sables fins, notés S.

Dans les parties haute et moyenne de l'estran, les catégories les plus fluctuantes entre 2000 et 2020 sont les pélites et les graviers (Figure C-14). Pour les stations de bas d'estran, ce sont les proportions entre les sables fins et moyens qui varient le plus.

Globalement, une diminution des particules les plus grossières a été constatée au cours de ces 20 dernières années. L'enrichissement en pélites au niveau de la station E, la plus proche du port, qui n'avait pas été observé en 2019, mais qui avait été noté en 2014, 2016 et 2018, a été constaté cette année.



### C.2.3.2 ANALYSE DES PEUPELEMENTS FAUNISTIQUES

En 2020, la richesse taxinomique (nombre de taxon identifié) sur l'estran de Petit-Fort-Philippe est resté stable par rapport à 2018 et 2019 puisque 33 taxa ont été identifiés (Figure C-15), et quatre nouveau taxa (Figure C-16) ont été observés dans les prélèvements : *Asterina phylactica*, *Bodotria scorpioides*, *Gammarus salinus* et *Jassa falcata*. Le nombre de taxon était semblable à celui des années 2001 et 2015. Il fait partie des plus forts observés depuis les années 2000.

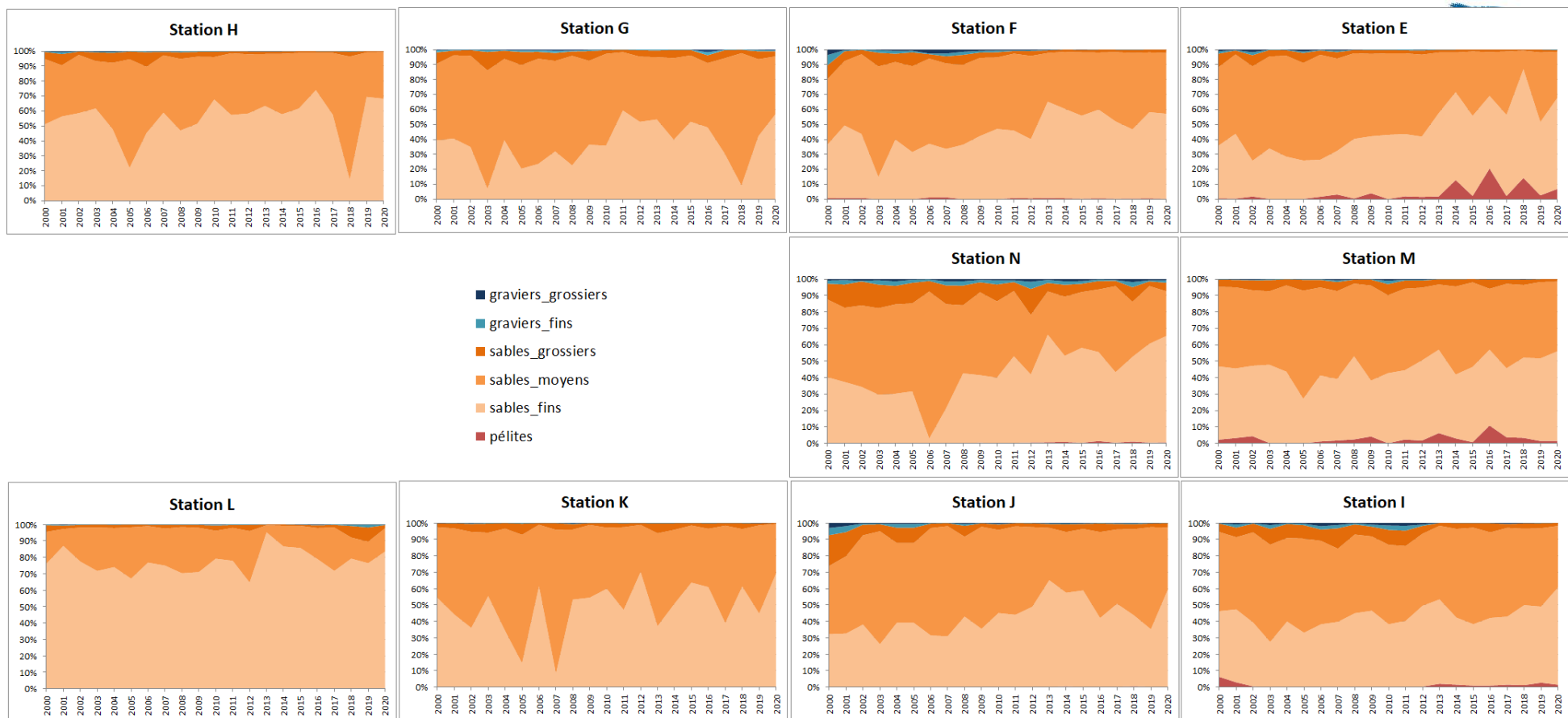


Figure C-14 : Évolution des proportions des catégories sédimentaires sur les dix stations de l'estran depuis l'an 2000

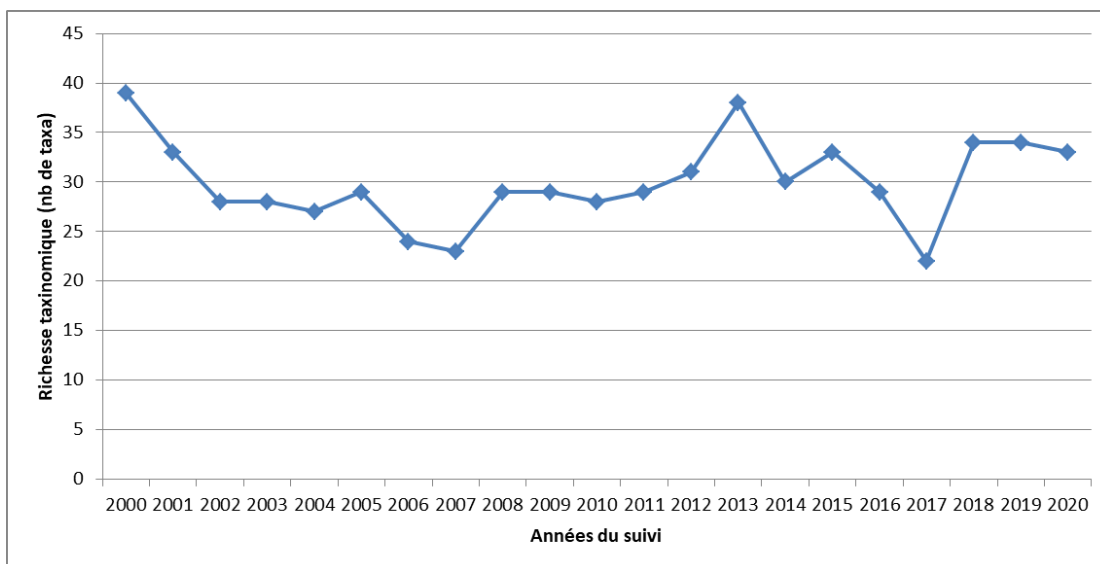
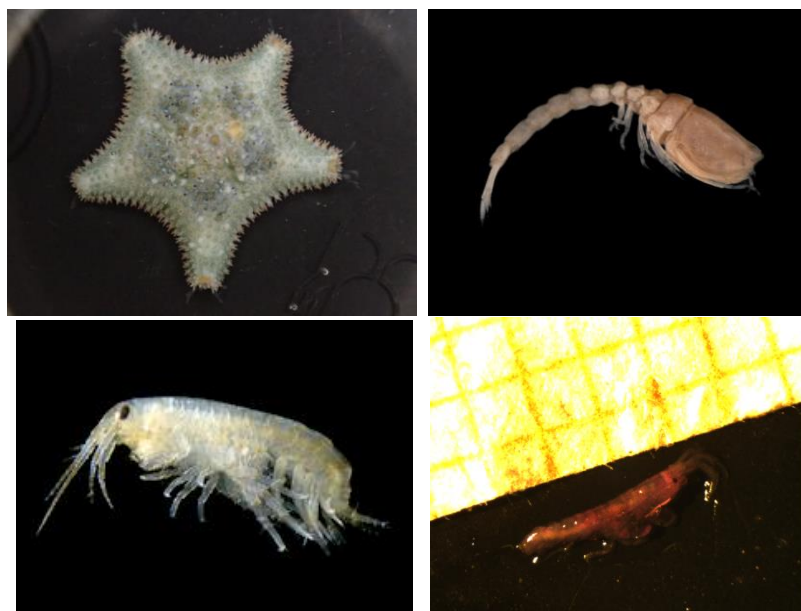


Figure C-15 : Évolution de la richesse taxinomique depuis l'an 2000

Figure C-16 : *Asterina phylactica* (en haut, à gauche), *Bodotria scorioides* (en haut, à droite), *Gammarus salinus* (en bas, à gauche) et *Jassa falcata* (en bas, à droite) (crédit photo : Hans Hillewaert et GEMEL)

Ces 33 taxa se décomposaient par ordre décroissant d'importance en arthropodes (15), annélides (10), mollusques (3) et échinoderme (1), nématode (1), némerte (1). Les proportions de mollusques et némertes étaient stables par rapport aux années précédentes, le nombre de taxon d'arthropodes est stable par rapport à 2019, mais il a augmenté (passant de 10 en moyenne à 15) et celui des annélides s'est stabilisé (autour de 10).

Malgré une richesse taxinomique stable, la station J était en diminution par rapport aux dernières années. La station L avait la richesse spécifique la plus forte de l'ensemble des années du suivi (Figure C-17).

Aucune station n'était totalement azoïque même si cela était parfois le cas pour plusieurs répliques d'une même station (au total, 5 répliques répartis sur 3 stations étaient azoïques).

L'indice de diversité de Shannon-Weaver (cf. § B.2.3.2),  $H'$ , calculé en log de base 2 pour permettre une interprétation au sens de la DCE, a montré une diversité faible pour la plupart des stations, avec un minimum de 1,13 bit.ind<sup>-1</sup> (station M) et un maximum de 2,97 bits.ind<sup>-1</sup> (station H).



Lorsque l'on regroupe les stations pour connaître la diversité globale du site, on a une diversité de 2,86 bits.ind<sup>-1</sup>, ce qui est la valeur la plus haute enregistrée depuis 2000 et est donc supérieur à la moyenne globale du suivi 2000-2019, puisque  $H' = 1,44$  bits.ind<sup>-1</sup>.

Le gradient croissant de diversité qui était visible les années précédentes en allant du haut vers le bas de l'estran est resté vrai pour 2020 (Figure C-18). Les stations situées en haut de l'estran (M et I :  $H' = 1,1$  bits.ind<sup>-1</sup> et E :  $H' = 1,6$  bits.ind<sup>-1</sup>) restaient les plus pauvres même si la station E était plus diversifiée que les années précédentes. Cela correspond à une situation normale pour une plage de sables fins et moyens : le haut de l'estran présentant des conditions environnementales trop contraignantes par rapport au bas de l'estran (exondation plus longue, peu d'effet tampon de la mer vis-à-vis des températures et de la pluviométrie), d'où une faune moins diversifiée car peu d'espèces sont adaptées à de telles contraintes.

Afin de nuancer l'information donnée par  $H'$ , l'indice d'équitabilité de Piélou ( $J'$ ), rapport de la diversité observée sur la diversité maximum, a été calculée selon la formule :

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$$

avec  $H'_{max} = \log RT$  (RT= nombre total de taxon).

L'équitabilité de Piélou était de 0,57 en moyenne sur les stations en 2020, ce qui est une valeur moyennement élevée. Cet indice est corrélé à l'indice de Shannon-Weaver ( $r^2 = 0,83$  ;  $n = 9$  stations, la station J n'est pas prise en considération). Cela signifie que plus les stations ont une faune diversifiée et moins elles sont dominées par un taxon et inversement (sauf pour la station J). Ainsi, les stations du haut de l'estran (I, M et E) étaient-elles peu diversifiées et dominées par un ou deux taxa, *Peringia ulvae* et *Corophium arenarium* comme en 2017, 2018 et 2019.

Figure C-17 : Indice de diversité de Shannon-Weaver en 2020





er



Figure C-18 : Évolution de la richesse taxinomique sur les dix stations de l'estran depuis l'an 2000

### C.2.3.3 ABONDANCES ET DENSITES

Les 33 taxa correspondaient à une abondance totale de 4 368 individus (ANNEXE C-13) récoltés sur les trois radiales. Cela représentait une densité moyenne de 1 680 ind.m<sup>-2</sup>. Ce résultat était du même ordre de grandeur qu'en 2013 et 2017 c'est-à-dire parmi les valeurs faibles du suivi (Figure C-19).

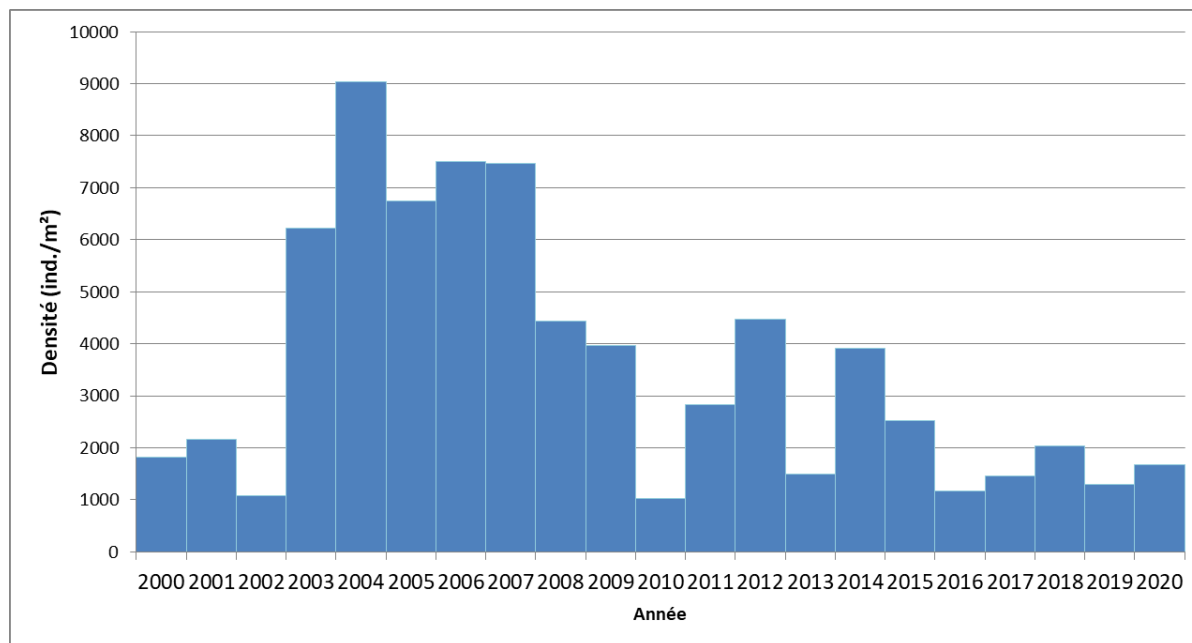


Figure C-19 : Densité moyenne du macrozoobenthos sur les dix stations de l'estran depuis l'an 2000

Les plus fortes densités et les plus fortes variations de densités ont été observées sur les niveaux hauts et moyen supérieur de l'estran (Figure C-20). C'est sur les 2 radiales les plus éloignées du port (stations M, N et I, J, K, L) que les densités moyennes étaient les plus faibles (1250 ind.m<sup>-2</sup>). Sur la radiale qui longe le port, les densités les plus élevées ont été sur le haut de l'estran (stations E, F) avec en moyenne 4306 ind.m<sup>-2</sup>.

Les différences de densités étaient principalement dues aux variations des populations du mollusque *Peringia ulvae*, des arthropodes *Corophium arenarium* et *Bathyporeia pilosa* ainsi que de l'annélide *Pygospio elegans*. Ces taxa ont des répartitions très agrégatives qui peuvent faire fortement fluctuer les densités d'une année sur l'autre.

De fortes densités de *P. ulvae* et *C. arenarium* ont été observées essentiellement sur le haut de l'estran (stations E, F, I, M et N). De même, *P. elegans* a été observé en majorité sur une station du haut de l'estran (F), avec une densité de 1 054 ind.m<sup>-2</sup>. On a retrouvé également, entre le milieu et le bas de l'estran, quelques *S. squamata* présents presque uniquement aux stations G (123 ind.m<sup>-2</sup>) et F (69 ind.m<sup>-2</sup>).

Comme les quatre dernières années, il n'y a pas eu en 2020 une grande quantité de recrues du mollusque *Limecola balthica* sur la plage. Cette espèce a été observée à la station F (27 ind.m<sup>-2</sup>), c'est-à-dire là où elle est principalement trouvée depuis 17 ans et à la station H (4 ind.m<sup>-2</sup>).

Les stations des niveaux moyen inférieur et bas (H, G, L et K) présentaient des densités beaucoup plus faibles et constantes dans le temps que les stations du haut de l'estran (maximum 743 ind.m<sup>-2</sup> pour la station L ; Figure C-20).



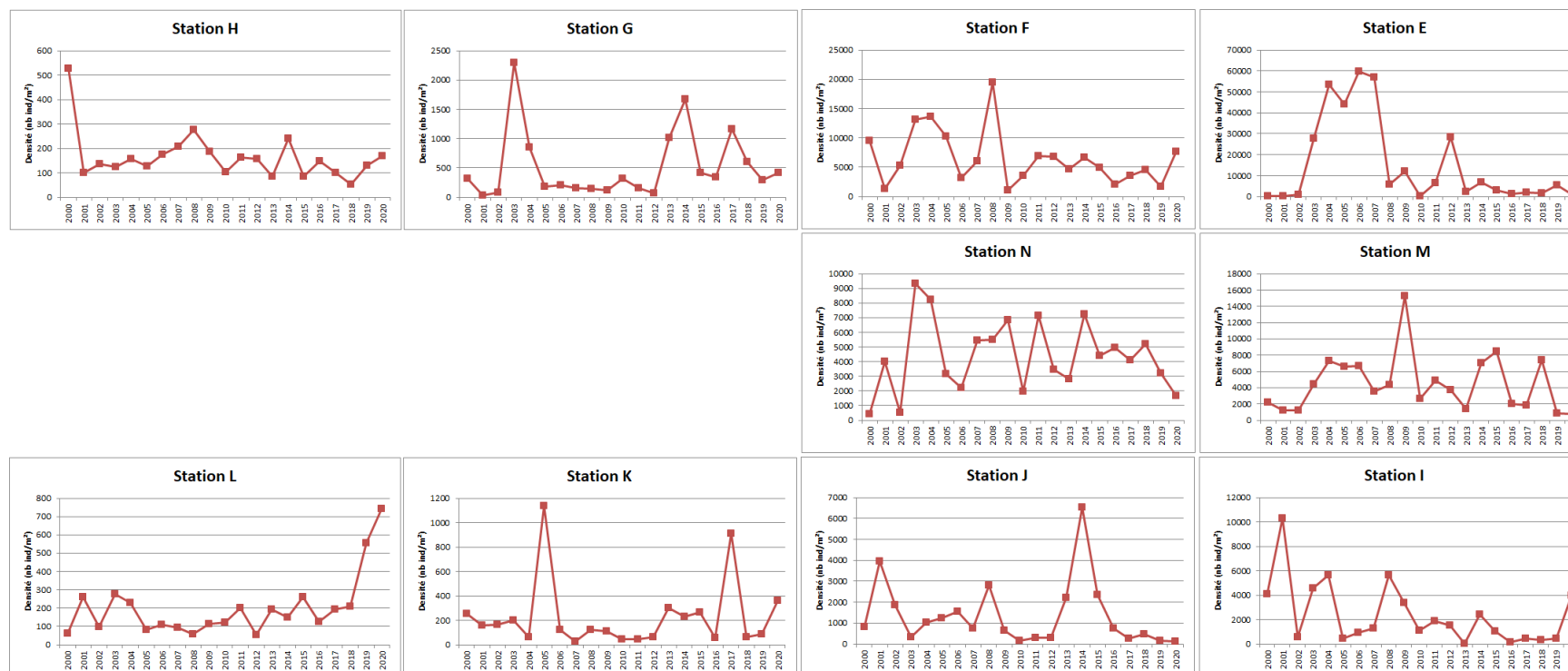


Figure C-20 : Évolution des densités (ind./m²) sur les dix stations de l'estran depuis l'an 2000  
(Attention, l'échelle de l'axe des ordonnées est propre à chaque station)

### C.2.3.4 BIOMASSES

En 2020, la biomasse moyenne sur les 10 stations était, comme en 2019, la plus faible enregistrée depuis les années 2000 (Figure C-21), dans la continuité de ce qui est observé depuis la fin des années 2010. En effet, elle était faible et stable depuis 2010 ( $r^2 = 0,99$  ;  $n = 10$  années ; Figure C-22), alors qu'elle est forte et stable de 2001 à 2006 ( $r^2 = 0,99$  ;  $n = 6$  années).

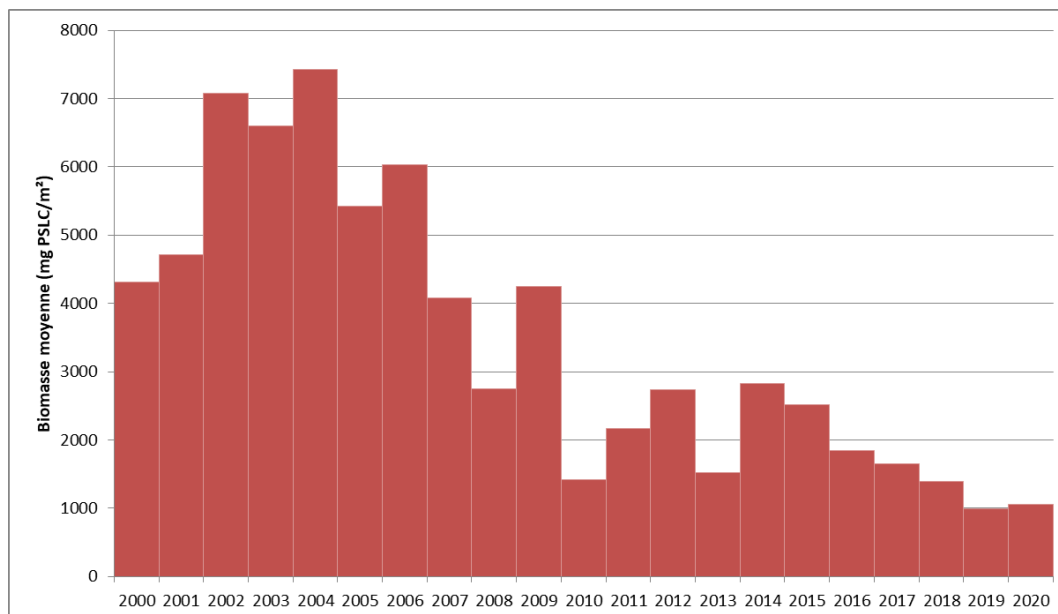


Figure C-21 : Évolution de la biomasse moyenne de l'estran de Petit-Fort-Philippe

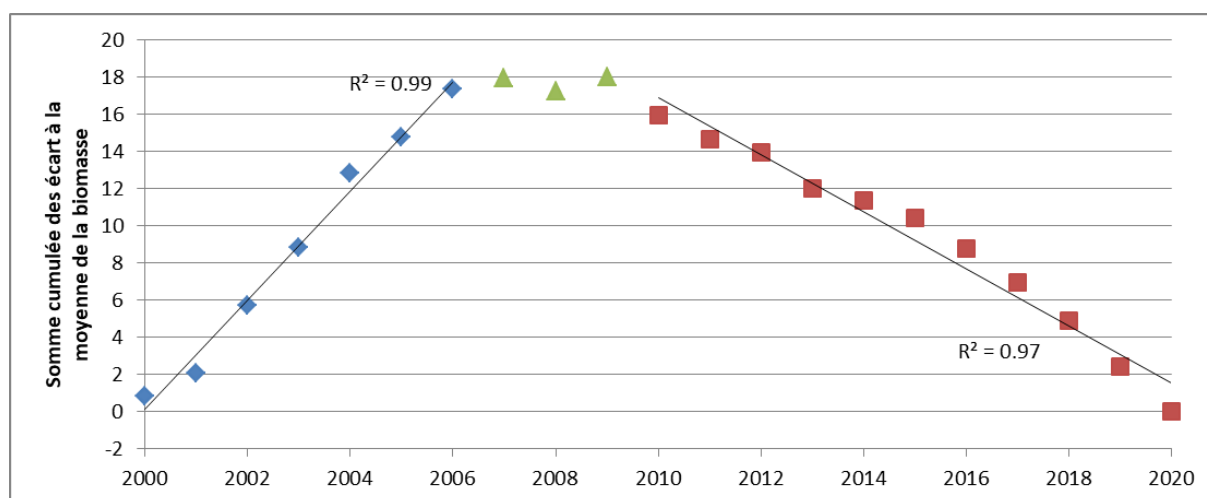


Figure C-22 : Évolution de la somme cumulée des écarts à la moyenne 2000-2020 de la biomasse moyenne (g PSLC /m²) de l'estran de Petit-Fort-Philippe

Contrairement à l'an dernier, les biomasses les plus élevées ne dépendaient pas de leur hauteur sur l'estran. En effet, les plus fortes biomasses ont été retrouvées aux stations F (3800 mg.m<sup>-2</sup>), G (976 mg.m<sup>-2</sup>), I (1705 mg.m<sup>-2</sup>), et L (1480 mg.m<sup>-2</sup>). Elles étaient liées aux variations de densités des populations de *L. balthica*, de *P. ulvae* (Figure C-24), *C. edule*, *H. diversicolor*, *B. pilosa*, *S. squamata* et *C. arenarium*, Figure C-23.

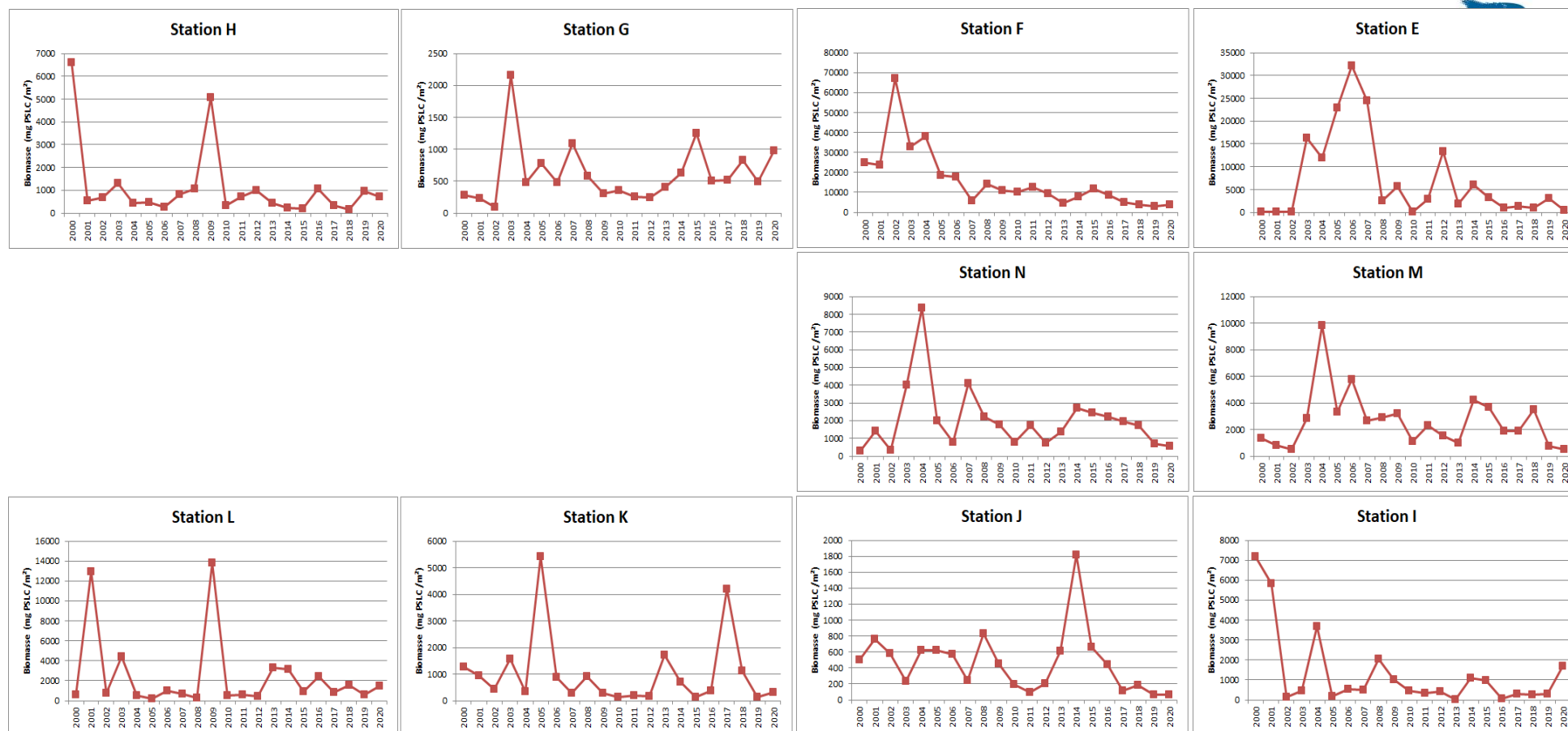


Figure C-23 : Évolution de la biomasse (g PSLC/m²) sur les dix stations de l'estran depuis l'an 2000  
(Attention, l'échelle de l'axe des ordonnées est propre à chaque station)

Hormis pour la station I, sur les autres stations, les biomasses sont restées faibles (ANNEXE C-14) et globalement stables dans le temps. Les variations enregistrées étaient principalement liées à la présence ou non dans les prélèvements d'espèces dispersées à fortes biomasses (pour la station L, cela était dû à l'espèce *Portumnus latipes* qui avait une biomasse de 339 mg PSLC pour 1 individu et représentait à lui seul 1/4 du PSLC de la station).

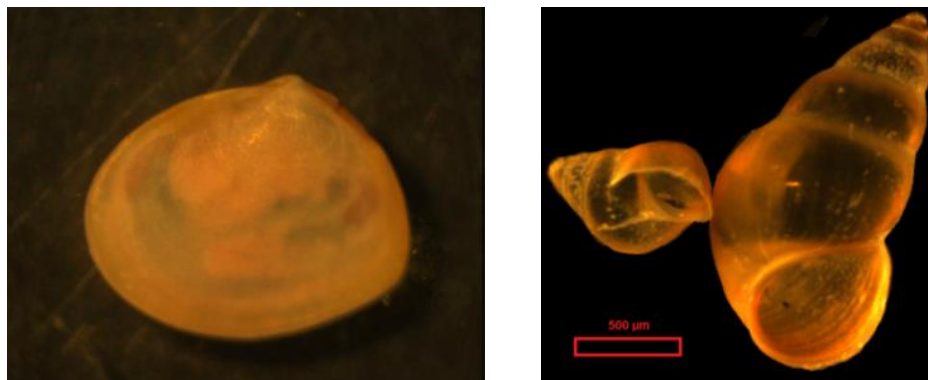


Figure C-24 : *Limecola balthica* et *Peringia ulvae*, principales espèces de l'estran de Petit-Fort-Philippe en termes de densité et de biomasse sur le suivi 2000-2020 (crédit photos : GEMEL)

### C.2.3.5 ASSEMBLAGES BENTHIQUES

Le coefficient de Bray-Curtis (Bray et Curtis, 1957)<sup>21</sup> a été utilisé pour mesurer la similarité entre les stations (Figure C-25). La matrice de similarité obtenue a été représentée sous la forme de dendrogrammes établis par la technique du regroupement moyen. Cet algorithme identifie d'abord les deux stations les plus similaires puis les traite ensuite comme un groupe dont il recherche la station la plus proche et ainsi de suite jusqu'à ce qu'il n'y ait plus que deux groupes.

Ces analyses ont ainsi permis de distinguer (Figure C-25) :

- un assemblage de bas d'estran (stations L, H, G et K),
- un assemblage de zone moyenne haute d'estran (stations J, F, N et I),
- un assemblage de zone de haut d'estran (M et E).

L'altimétrie demeure donc le facteur le plus structurant. Les différences est-ouest ne sont plus manifestes depuis 2015.

Les espèces caractéristiques d'une communauté ou d'un faciès sont définies comme étant celles qui y sont à la fois constantes ou du moins communes et électives ou du moins préférantes. La constance d'une espèce est le rapport, en pourcentage, entre le nombre de stations ( $P_i$ ) où l'espèce  $i$  est présente et le nombre total de stations ( $P_t$ ) de l'unité biocénétique considérée (Dajoz, 1975)<sup>22</sup>. Elle s'exprime par la formule suivante :

$$C_i = \frac{P_i}{P_t} \times 100$$

Elle permet de déterminer quatre catégories :

- (1) Espèce rare,  $C < 12,5\%$ ,
- (2) Espèce occasionnelle,  $12,5 \leq C < 25\%$ ,
- (3) Espèce commune,  $25 \leq C < 50\%$ ,
- (4) Espèce constante  $C \geq 50\%$ .

<sup>21</sup> Bray J. R., Curtis J.T. (1957). An ordination of upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs* 27 : 325-349

<sup>22</sup> Dajoz R. (1975). Précis d'écologie. Dunod. 549 p.

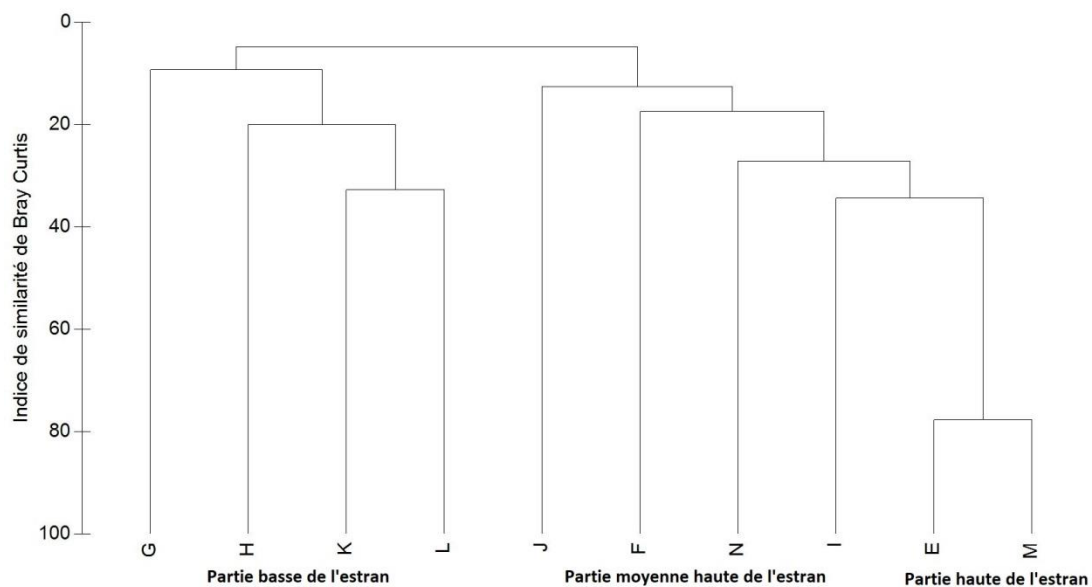


Figure C-25 : Similarité de Bray-Curtis entre les stations en 2020

La fidélité d'une espèce  $i$  à une unité  $A$  est le rapport, en pourcentage, de la constance de cette espèce ( $C_{iA}$ ) au sein de cette unité sur la somme de ses constances dans chaque unité de la zone étudiée (Retière, 1979). Elle s'exprime par la formule suivante :

$$F_{iA} = \frac{C_{iA}}{(C_{iA} + \dots + C_{NA})} \times 100$$

Elle permet de déterminer cinq catégories :

- (1) Espèce accidentelle,  $F < 10$  ;
- (2) Espèce accessoire,  $10 \leq F < 33,3\%$  ;
- (3) Espèce indifférente,  $33,3 \leq F < 66,6\%$  ;
- (4) Espèce préférante,  $66,6 \leq F < 90\%$  ;
- (5) Espèce élective,  $F \geq 90\%$ .

À partir de ces éléments, il est possible de déterminer que :

- l'assemblage de bas d'estran (stations G, H, K et L) était principalement caractérisé, comme les années précédentes, par les annélides *Nephtys cirrosa*, *Spio martinensis* et *Spiophanes*

*bombyx* et les crustacés *Bathyporeia pelagica* et *Haustorius arenarius*. On y retrouvait en plus cette année les annélides *Lanice conchilega* et *Scolecipis (scolecipis) squamata*,

- l'assemblage de zone moyenne haute d'estran (stations I, N, F et J) était principalement caractérisé par les annélides *Eteone longa* et *Pygospio elegans* et les Nématodes,
- l'assemblage de la zone de haut d'estran (stations E et M) était caractérisé comme les deux dernières années par les crustacés *Eurydice affinis*, *Corophium arenarium* et *Bathyporeia pilosa* et le mollusque *Peringia ulvae*.

## C.2.4 EVOLUTION DE L'ESTRAN

### C.2.4.1 CAS DE LA PARTIE OUEST (RADIALE EFGH)

Les peuplements typiquement estuariens ont disparu de la partie ouest de l'estran dès la mise en service de la centrale. La disparition de la dune hydraulique a entraîné le lessivage des fines, mais l'influence de la dessalure causée par l'Aa reste importante. Néanmoins, les populations d'espèces euryhalines connues sur Gravelines (les annélides *Hediste diversicolor*, *Ophelia rathkei* et les Oligochaeta) présentent une très grande variabilité dans le temps.

En 2020, *H. diversicolor* était présente uniquement sur la station F (densité de 46 ind.m<sup>-2</sup>), cette année, on retrouve les Oligochaeta sur d'autres stations (H, I, L et M) mais la plus forte densité était sur la station F (densité de 119 ind.m<sup>-2</sup>). La densité des espèces euryhaline sur la station F ( $d = 165$  ind.m<sup>-2</sup>) était deux fois plus importante que la moyenne du suivi ( $d \text{ moy} = 95$  ind.m<sup>-2</sup>) (Figure C-26). En ce qui concerne l'espèce *Ophelia rathkei*, elle était uniquement présente sur la station G comme en 2018 et 2019 ( $d = 135$  ind.m<sup>-2</sup>).

Cela témoigne de l'influence des eaux douces, notamment la dessalure causée par l'Aa, mais aussi des eaux de ruissellement. En 2020, cette zone de dessalure a principalement concerné les stations F et G.

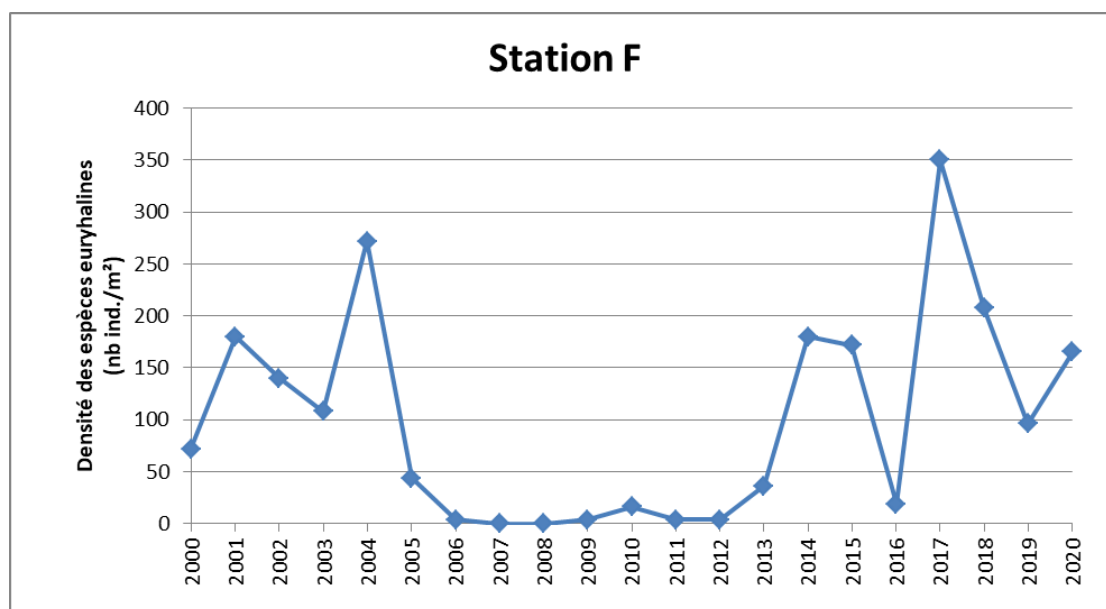


Figure C-26 : Évolution de la densité des espèces euryhalines à la station F

### C.2.4.2 CAS DES SPIONIDES

Les spionidés sont une famille d'annélides polychètes au cycle de développement très court. Leurs populations réagissent de fait, très rapidement et de façon marquée à la moindre perturbation du milieu, notamment aux perturbations thermiques. Quatre espèces de spionidés ont été récoltées en 2020 : *Pygospio elegans*, *Scolecipis (Scolecipis) squamata*, *Spio martinensis* et *Spiophanes*



*bombyx*. Ce sont des espèces qui tolèrent un enrichissement en matière organique. Elles en tirent même un profit puisqu'elles sont mixtes. En effet, elles se nourrissent des particules organiques en suspension dans l'eau à marée haute et des particules déposées sur le sédiment à marée basse.

Les populations de spionidés se répartissaient sur l'estran en fonction de leur *preferendum* édaphique (relatif au substrat), bathymétrique et thermique (*P. elegans* étant plus thermophile que *S. martinensis*) mais aussi en fonction de la compétition inter-spécifique.

En 2020, quasiment aucun spionidé (4 ind.m<sup>-2</sup>) n'a été retrouvé sur la partie la plus haute de la plage (stations M et E). Sur la zone moyenne haute d'estran (stations I, J, F et N) c'est *Pygospio elegans* qui était présent, avec la plus grande densité à la station F (1 054 ind.m<sup>-2</sup>). On dénombrait aussi 69 *Scolecipis (Scolecipis) squamata*.m<sup>-2</sup> à la station F (Tableau C-11). Sur la zone basse de l'estran, on retrouvait les 4 espèces de spionidés avec la plus forte densité de *Scolecipis (Scolecipis) squamata* sur la station G (123 ind.m<sup>-2</sup>) et *Spio martinensis* uniquement aux stations H et L dans des proportions similaires (environ 30 ind.m<sup>-2</sup>). Comme en 2018 et 2019 et contrairement à 2017, *P. elegans* était l'espèce majoritaire, avec une forte densité située essentiellement sur la zone moyenne de l'estran. La 2<sup>ème</sup> espèce majoritaire était *Scolecipis (Scolecipis) squamata* qui se trouvait sur la zone de dessalure de l'Aa (stations F et G). S'en suivait *Spio martinensis* (stations H et L) qui se trouvait au plus proche de la mer, à la limite de la zone subtidale.

Tableau C-11 : Répartition des annélides spionidés sur l'estran en 2020

Densité de spionidés en 2020 (nb ind.m <sup>-2</sup> )	Zone haute d'estran		Zone moyenne haute d'estran				Zone basse d'estran				Total
	E	M	I	J	F	N	G	H	K	L	
<i>Pygospio elegans</i>	4	-	19	-	1054	85	8	-	-	-	1169
<i>Scolecipis (Scolecipis) squamata</i>	-	-	-	-	69	-	123	-	4	-	196
<i>Spio martinensis</i>	-	-	-	-	-	-	-	31	-	27	58
<i>Spiophanes bombyx</i>	-	-	-	-	-	-	4	4	-	4	12
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>19</b>	<b>0</b>	<b>1123</b>	<b>85</b>	<b>135</b>	<b>35</b>	<b>4</b>	<b>31</b>	<b>1435</b>

#### C.2.4.3 CAS DE LA BIOMASSE

Toute altération de la structure bionomique d'un peuplement provoque une altération de la biomasse qui peut être positive ou négative. L'arrivée d'une espèce pionnière provoquera une forte augmentation de la biomasse. L'évolution de la structure démographique (proportion des différentes cohortes) influe aussi fortement sur la biomasse.

En 2020, la biomasse moyenne du macrozoobenthos était de 1,06 g PSLC.m<sup>-2</sup> ce qui faisait partie des valeurs les plus basse acquise depuis 2000. 2019 était l'an dernier la valeur, la plus faible du suivi (1,06 g PSLC.m<sup>-2</sup>). Cela était plus de 3 fois inférieur à la moyenne du suivi qui est de 3,59 g PSLC.m<sup>-2</sup>.

Les points des hauts niveaux de l'estran (F et I) présentaient, comme l'an dernier, les biomasses et les abondances les plus élevées. Cette étude confirme que la forte capacité de charge de la plage du Petit-Port-Philippe peut être soumise à des évolutions importantes d'une année sur l'autre en fonction du maintien de populations à forte biomasse (comme *P. ulvae*) ou d'espèces surdispersées à densité faible mais à forte biomasse (*P. latipes*, *C. edule*). Néanmoins, les données montrent que la biomasse était répartie comme dans les systèmes classiques des estrans à énergie modérée, dans lesquels elle est plus élevée dans les niveaux supérieurs notamment grâce aux espèces euryhalines qui s'y rencontrent.

#### C.2.5 CONCLUSIONS

En 2020, aucune évolution majeure de la morphologie de l'estran qui pourrait être liée aux activités du CNPE n'était à noter. Les sédiments sont restés majoritairement constitués de sables fins et de sables moyens. L'enrichissement en pélites qui avait été relevé en 2014 et en 2018 au



niveau de la station la plus proche du port (E), et qui ne s'était pas maintenue en 2019, était notable en 2020.

33 taxa ont été identifiés, parmi lesquels majoritairement des arthropodes, des annélides, puis des mollusques. 5 répliques se sont révélés être azoïques, ce qui est plus faible que la situation "normale" du site et de ce type d'estran. L'indice de diversité de Shannon est le plus important du suivi et sa répartition est similaire aux années précédentes. Le "classique" gradient de diversité caractéristique des plages de sables fins et moyens dû à des conditions environnementales sur le haut de l'estran trop contraignantes par rapport au bas (exondation plus longue, peu d'effet tampon de la mer vis-à-vis des températures et de la pluviométrie), entraînant une faune moins diversifiée car peu d'espèces sont adaptées à de telles contraintes, était très clairement visible.

Les plus fortes densités et les plus fortes variations de densités ont été observées dans la partie supérieure de l'estran (stations E, F, M, N et I), en lien avec les variations des populations du mollusque *Peringia ulvae*, des annélides *Pygospio elegans* et des arthropodes *Corophium arenarium* et *Bathyporeia pilosa*. Ces espèces, ainsi que la présence de quelques espèces à forte biomasse individuelle, expliquent les variations de biomasses observées en 2020. **La répartition de la biomasse sur l'estran était conforme à ce qui peut être observé sur d'autres estrans à énergie modérée de la région non soumis aux activités du CNPE.**

Les analyses ont permis de distinguer des assemblages faunistiques qui correspondent à une zonation naturelle de l'estran, avec :

- l'assemblage de bas d'estran (stations G, H, K et L) était principalement caractérisé, comme les années précédentes, par les annélides *Nephtys cirrosa*, *Spio martinensis* et *Spiophanes bombyx* et les crustacés *Bathyporeia pelagica* et *Haustorius arenarius*. On y retrouvait en plus cette année les annélides *Lanice conchilega* et *Scolecopsis (scolecopsis) squamata* ;
- l'assemblage de zone moyenne haute d'estran (stations I, N, F et J) était principalement caractérisé par les annélides *Eteone longa* et *Pygospio elegans* et les Nématodes ;
- l'assemblage de la zone de haut d'estran (stations E et M) était caractérisé comme les deux dernières années par les crustacés *Eurydice affinis*, *Corophium arenarium* et *Bathyporeia pilosa* et le mollusque *Peringia ulvae*.

Cette zonation est fonction des temps d'exondation, de l'influence des eaux douces (fleuve Aa et eaux de ruissellement), du substrat et de la compétition interspécifique. **Les autres facteurs qui pourraient modifier cette zonation (enrichissement en matière organique, perturbation thermique liée au panache de rejet du CNPE, ...) ne l'ont pas modifié en 2020.**

**Au vu des données disponibles pour le compartiment benthique intertidale en 2020 à Gravelines, il n'apparaît pas d'effet perceptible du fonctionnement du CNPE sur la morphologie de l'estran ainsi que sur la macrofaune associée.**

## D LE DOMAINE HALIEUTIQUE

### **Rédaction/mise en page**

Christophe Loots (LRH-BL)

Guillaume Wacquet (LER-BL)

### **Prélèvements et mesures *in situ***

IFREMER (LRH-BL)

### **Analyses/Traitement des données**

IFREMER (LRH-BL)

### **Expertise thématique**

Christophe Loots (LRH-BL)

## D.1 ICTHYOPLANCTON

Le site de Gravelines s'inscrit dans une famille d'aires côtières de nutrition, de frayères et de nourriceries, en particulier pour les espèces de poissons telles que la sole (*Solea solea*) et le sprat (*Sprattus sprattus*) ainsi que pour certains crustacés comme la crevette grise (*Crangon crangon*).

**La sole** commune constitue l'une des grandes ressources halieutiques du secteur. Le site de Gravelines se situe à proximité du barycentre de la frayère de mer du Nord. Les œufs et larves de sole forment ainsi un élément caractéristique du plancton de Gravelines et les cycles annuels d'abondance sont bien reproductibles.

**Le sprat**, bien que n'étant pas exploité à Gravelines, est une espèce très représentative des peuplements du secteur et régulièrement présente dans le plancton. L'abondance de ses phases œufs et larves, jointe à la reproductibilité des cycles d'abondance en fait également une espèce caractéristique du site. En effet, bien que pélagique et migrateur, le sprat forme des populations relativement inféodées à un secteur donné. Celles-ci s'égrènent le long des côtes du sud de la mer du Nord, essentiellement les côtes belges et hollandaises.

**La crevette grise** est nettement plus abondante sur le site de Gravelines du fait du substrat sablo-vaseux qui lui est particulièrement favorable et les densités de zoés y étaient nettement supérieures à celles relevées sur d'autres sites de Manche, comme Penly, Paluel ou Flamanville. La période de reproduction de la crevette grise est très étendue et ses zoés sont a priori présentes tout au long de l'année.

### D.1.1 STRATEGIE DE SURVEILLANCE

#### D.1.1.1 HISTORIQUE DES SUIVIS

Depuis son début en 1975, le suivi de l'ichtyoplancton et des larves de crevette grise à Gravelines a connu de nombreuses évolutions en ce qui concerne la période et la fréquence d'échantillonnage, les points de prélèvements suivis et les espèces identifiées.

Quatre points de prélèvements ont été régulièrement échantillonnés (Figure 0-1 et Tableau 0-3) :

- trois points situés en mer le long d'une radiale, un point *Côte*, un point *Contrôle* (situé dans le panache de rejet de la centrale) et un point *Large* (au-delà de la zone d'influence de la centrale). Ces trois points sont échantillonnés depuis le début du suivi.
- un point situé à l'entrée du canal de prise d'eau, accessible depuis le pont enjambant le canal, appelé point *Prise*. Ce point a commencé à être échantillonné à partir de 1985.

Entre 1975 et 1984, un échantillonnage quasi-mensuel et sur l'ensemble de l'année (à l'exception de 1975 et 1977 où seule une partie de l'année a été échantillonnée) a été réalisé uniquement au niveau des trois points en mer. Toutes les espèces d'œufs et de larves de poissons présentes ainsi que les larves de crevettes grises étaient identifiées.

Entre 1985 et 2000, l'échantillonnage a été restreint à 4 ou 6 campagnes réalisées pendant la période printemps-été (avril-juillet jusqu'en 1987 et avril-juin à partir de 1988). Le point *Prise* a commencé à être échantillonné à partir de cette période. Pour ce dernier, le filet n'étant pas lesté avant 2002, les données ne sont pas représentées dans la suite du rapport. A partir de 1989, seuls les œufs et larves de sole et de sprat ont été comptabilisés et le suivi de la crevette grise a été arrêté.

#### D.1.1.2 SUIVI ACTUEL

Depuis 2001, le suivi de la crevette grise a repris. Quatre campagnes annuelles sont réalisées entre les mois de mars et mai, afin de couvrir au mieux la période de reproduction de la sole et du sprat : deux campagnes réglementaires où les quatre points sont échantillonnés, qui alternent avec deux campagnes complémentaires et non-réglementaires, où seul le point *Prise* est échantillonné.

Cependant, la crise sanitaire, qui aura profondément marqué l'année 2020, a eu pour effet, à Gravelines, l'abandon d'une campagne réglementaire (sur 4 points), ainsi que des deux campagnes complémentaires, non-réglementaires, réalisées au point *Prise*. Du point de vue réglementaire, sur les 16 échantillons prévus, seuls 8 ont donc pu être réalisés (2 échantillons  $\times$  4 points  $\times$  1 campagne).

## D.1.2 PARAMETRES / METHODES

### D.1.2.1 ÉCHANTILLONNAGE, PRELEVEMENTS

Pour les points *côte*, *contrôle* et *large*, les prélèvements sont effectués avec un filet bongo muni de deux filets cylindro-coniques (diamètre d'ouverture : 60 cm ; maille de 500  $\mu$ m) qui est préconisé pour son faible évitement (Smith & Richardson, 1977). Le filet est déployé en trait double oblique (allers-retours successifs entre la surface et le fond) à l'arrière du bateau qui navigue à une vitesse de deux noeuds pendant au maximum dix minutes. Le contenu de chaque filet constitue un réplica.

Pour le point *Prise*, les prélèvements sont effectués à l'aide d'un filet cylindro-conique (diamètre d'ouverture: 60 cm ; maille de 500  $\mu$ m). Deux réplicas, correspondant à deux mises à l'eau du filet, sont réalisés.

Les échantillons collectés sont conservés dans des flacons de deux litres pré-remplis d'une sauce de conservation formolée (concentration finale, 0,9 % ; Mastail & Battaglia, 1978 ; Lelièvre *et al.*, 2010).

Le volume d'eau filtré ( $V_f$ ) est calculé à partir d'un volucompteur de marque *kc-denmark* monté à l'entrée du filet selon la formule :

$$V_f = NTrs \times \alpha \times S$$

avec,  $NTrs$  le nombre de tours de volucompteur,  $\alpha$  le coefficient de conversion du volucompteur ( $\alpha = 0,3$ ) et  $S$  la surface d'ouverture du filet ( $S = 0,28 \text{ m}^2$ ).

Les mesures de température et de salinité sont réalisées au moyen d'une sonde *WTW Multi 340i*.

### D.1.2.2 IDENTIFICATIONS ET DENOMBREMENTS

Les œufs et larves de sole et de sprat ainsi que les stades larvaires (zoés et mégaloopes) de crevette grise sont triés, identifiés et comptés sous loupe binoculaire sur tout ou partie de l'échantillon. Pour les œufs, deux stades sont distingués, un stade « Non Embryonné » (absence d'un embryon formé) et un stade « Embryonné » (présence d'un embryon formé). Lorsque l'échantillon est trop concentré, un fractionnement à la boîte de Motoda (Motoda, 1959) est réalisé de manière à obtenir un sous-échantillon contenant au moins 100 individus pour chaque groupe identifié (œufs embryonnés de sprat, larves de sole...). Le nombre d'individus comptés est ensuite ramené au volume total de l'échantillon ( $\text{ind.m}^{-3}$ ).

L'identification des œufs et larves de sole et de sprat est faite d'après Russel (1976) et l'identification des stades zoés et mégaloopes de crevette grise d'après Martin (2001).

## D.1.3 RESULTATS D'ANALYSE

**En 2020, aucune campagne n'a pu être réalisée durant la période printanière habituellement échantillonnée, du fait de la situation sanitaire liée à la COVID-19.** Seule une campagne a pu être réalisée le 07 Juillet (Tableau D-1). En conséquence, aucun œuf ni aucune larve de sole et de sprat n'a été collecté puisque cette date de collecte se situe en dehors de la période principale de reproduction de ces espèces.

Tableau D-1 : Caractéristiques de la campagne d'échantillonnage de l'ichtyoplancton et des larves de crevette grise sur le site du CNPE de Gravelines en 2020

N° de campagne	Date	Point	Réplicats	Heure	Température en surface (°C)	Salinité en surface	Durée du trait (min)	Volume filtré (m³)
424	07/07/2020	Prise	1	13:00	17,6	34,3	10	153,95
			2	13:20			10	158,53
		Côte	1	15:09	18,6	34,4	10	165,48
			2					159,12
		Contrôle	1	15:25	17,1	34,3	10	348,87
			2					353,62
		Large	1	15:50	17,0	34,5	10	400,11
			2					354,13

#### D.1.3.1 LA SOLE (SOLEA SOLEA)

Aucun œuf ni aucune larve n'a été capturé lors de la campagne de 2020.

L'évolution de l'abondance des œufs et larves de sole observée depuis 1976 sur le site de Gravelines est présentée Figure D-1.

Pour les œufs, l'évolution des abondances depuis le début du suivi semble être cyclique sur l'ensemble des quatre points avec un pic dans les années 80 et après les années 2010. La période récente semble montrer une phase décroissante des abondances.

Pour les larves, le patron d'évolution est moins clair que pour les œufs et montre une alternance de périodes de faibles (au début du suivi) et fortes abondances (au début des années 2000). Cette succession ne semble pas être corrélée à celle des œufs. Dans la période récente, les abondances sont plutôt dans la tranche élevée de l'ensemble de la série.

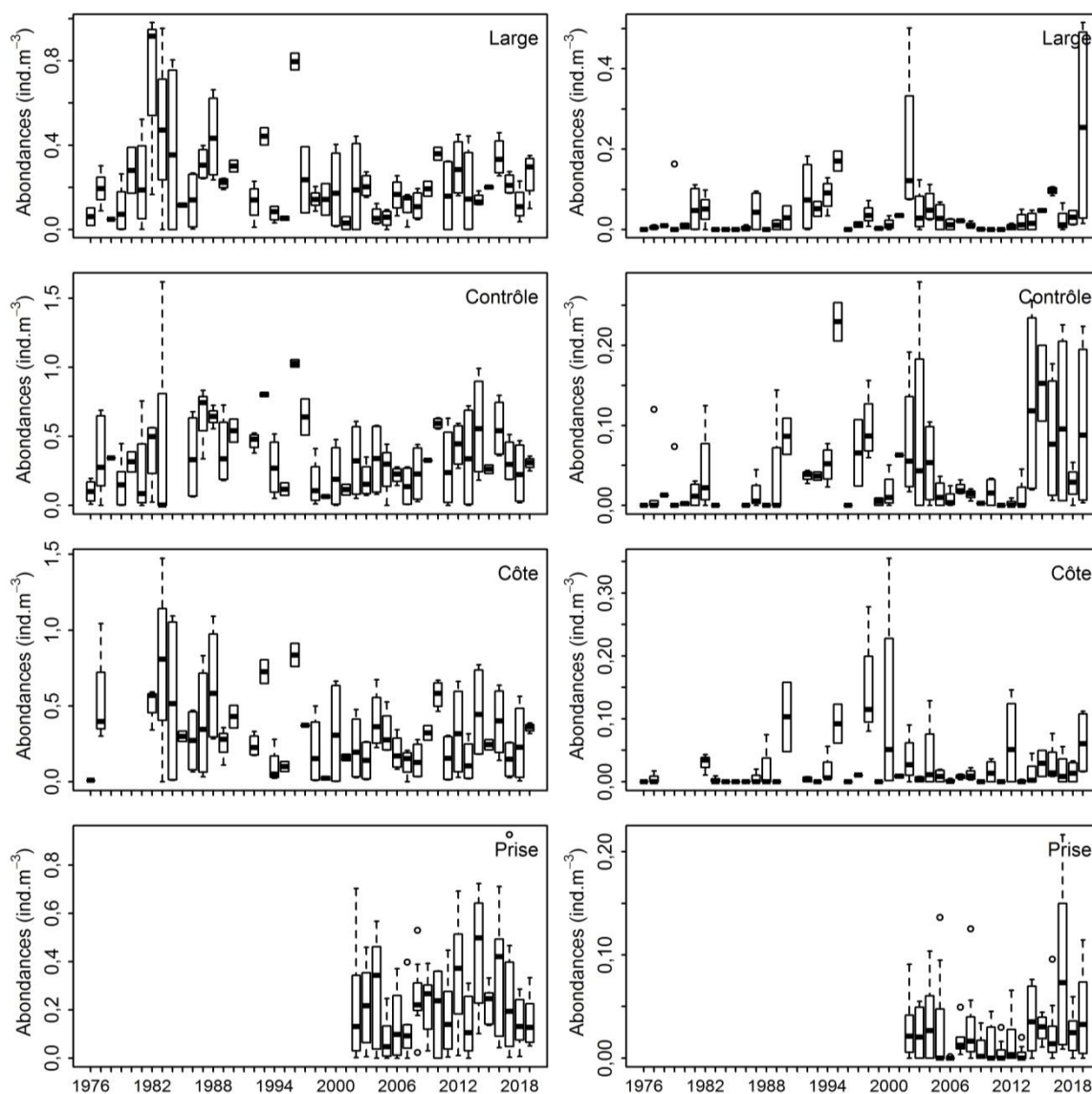


Figure D-1 : Evolution annuelle des abondances log-transformées (ind.m<sup>-3</sup>) des œufs (à gauche) et larves (à droite) de sole observées aux points *Prise*, *Côte*, *Contrôle* et *Large* du site du CNPE de Gravelines entre mars et mai depuis 1976 (la boîte et les moustaches englobent respectivement 50 % et 75 % des valeurs, avec traits des boxplots = médianes et ronds = données extrêmes)

### D.1.3.2 LE SPRAT (*SPRATTUS SPRATTUS*)

Aucun œuf ni aucune larve n'a été capturé lors de la campagne de 2020.

L'évolution des abondances des oeufs et larves de sprat sur le site de la centrale de Gravelines depuis 1976 est présentée Figure D-2.

Pour les œufs, les abondances montrent globalement des niveaux élevés sur l'ensemble de la série avec parfois des périodes plus faibles dans les années 90 et 2000 et des périodes plus élevées au début de la série. Dans la période récente, les abondances semblent être dans une phase croissante de leur niveau.

Pour les larves, le suivi semble montrer une évolution cyclique des abondances avec un pic à la fin des années 80 et au début des années 90, une période de faible abondance au début des années 2000 et une période de réaugmentation durant les cinq dernières années.

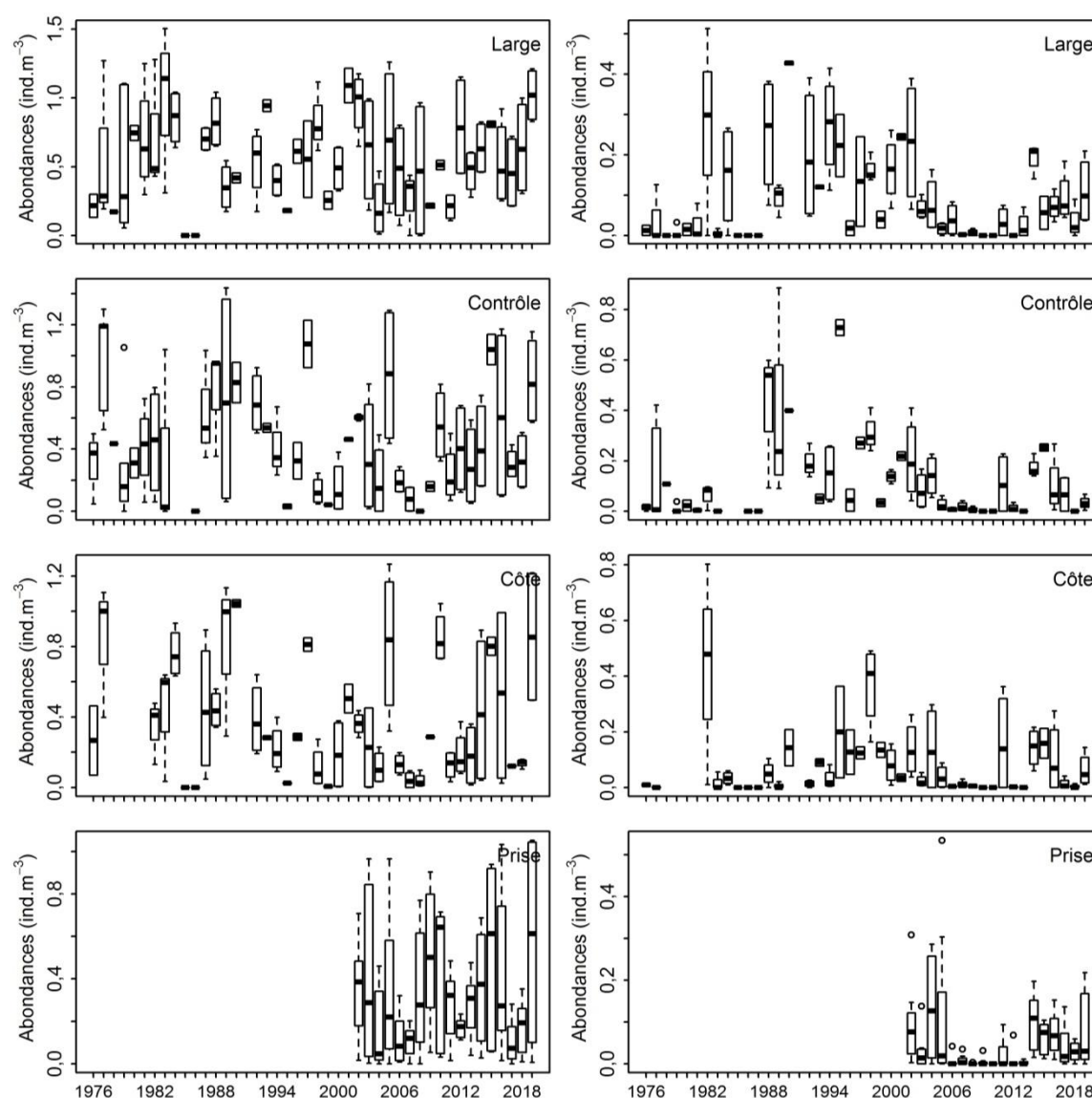


Figure D-2 : Evolution annuelle des abondances log-transformées (ind.m<sup>-3</sup>) des œufs (à gauche) et larves (à droite) de sprat observées aux points *Prise*, *Côte*, *Contrôle* et *Large* du site du CNPE de Gravelines entre mars et mai depuis 1976 (la boîte et les moustaches englobent respectivement 50 % et 75 % des valeurs, avec traits des boxplots = médianes et ronds = données extrêmes)

### D.1.3.3 LA CREVETTE GRISE (*CRANGON CRANGON*)

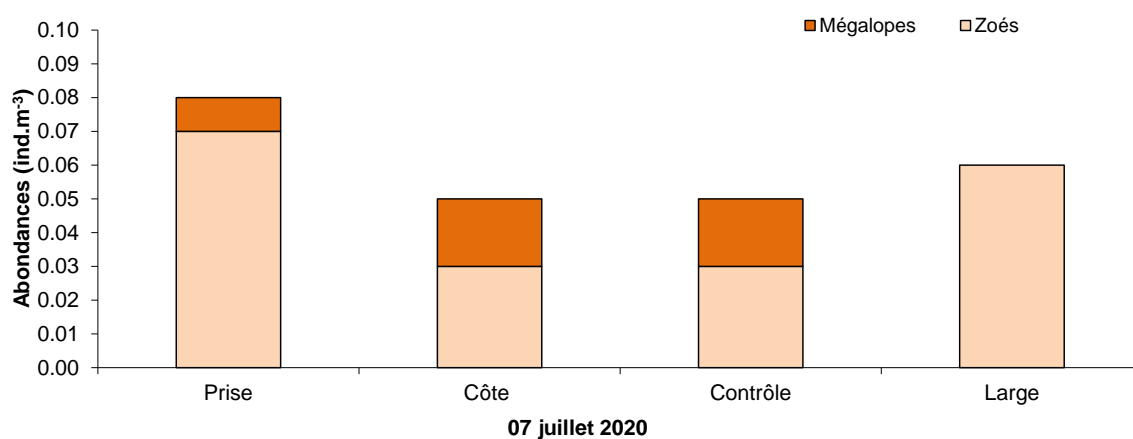
Les abondances de zoés et mégalopes de crevette grise sur le site du CNPE de Gravelines lors de la campagne de 2020 sont présentées Tableau D-2et Figure D-3. Ce sont principalement des stades zoés qui ont été capturés. Les abondances totales étaient sensiblement les mêmes sur l'ensemble des quatre points. Aucun stade mégalope n'a été capturé au point large.

L'évolution des abondances de zoés et mégalopes de crevette grise sur le site du CNPE de Gravelines depuis 1976 est présentée Figure D-4. Pour le stade zoé comme pour le stade mégalope, les abondances sont du même ordre et montrent une évolution similaire quelque soit le point considéré. Les abondances étaient plus élevées au début du suivi et vers les années 2010 et plus faibles dans la période récente. En 2020, le nombre de prélèvements n'étant pas le même, ni réalisé à la même période que pour les autres années, il n'est pas possible de comparer les abondances obtenues avec la série complète.



Tableau D-2 : Abondances (ind.m<sup>-3</sup>) de zoés et de mégaloques de crevette grise sur le site du CNPE de Gravelines en 2020

N° de campagne	Date	Point	Réplicats	Zoés	Mégaloques
424	07/07/2020	Prise	1	0,07	0,01
			2	0,06	0,01
			<b>Moyenne</b>	<b>0,07</b>	<b>0,01</b>
		Côte	1	0,02	0,02
			2	0,03	0,01
			<b>Moyenne</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>
		Contrôle	1	0,03	0,02
			2	0,03	0,01
			<b>Moyenne</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>
		Large	1	0,06	0,00
			2	0,06	0,00
			<b>Moyenne</b>	<b>0,06</b>	<b>0,00</b>

Figure D-3 : Abondances (moyennes sur les deux réplicats en ind.m<sup>-3</sup>) des zoés et mégaloques de crevette grise sur le site du CNPE de Gravelines en 2020

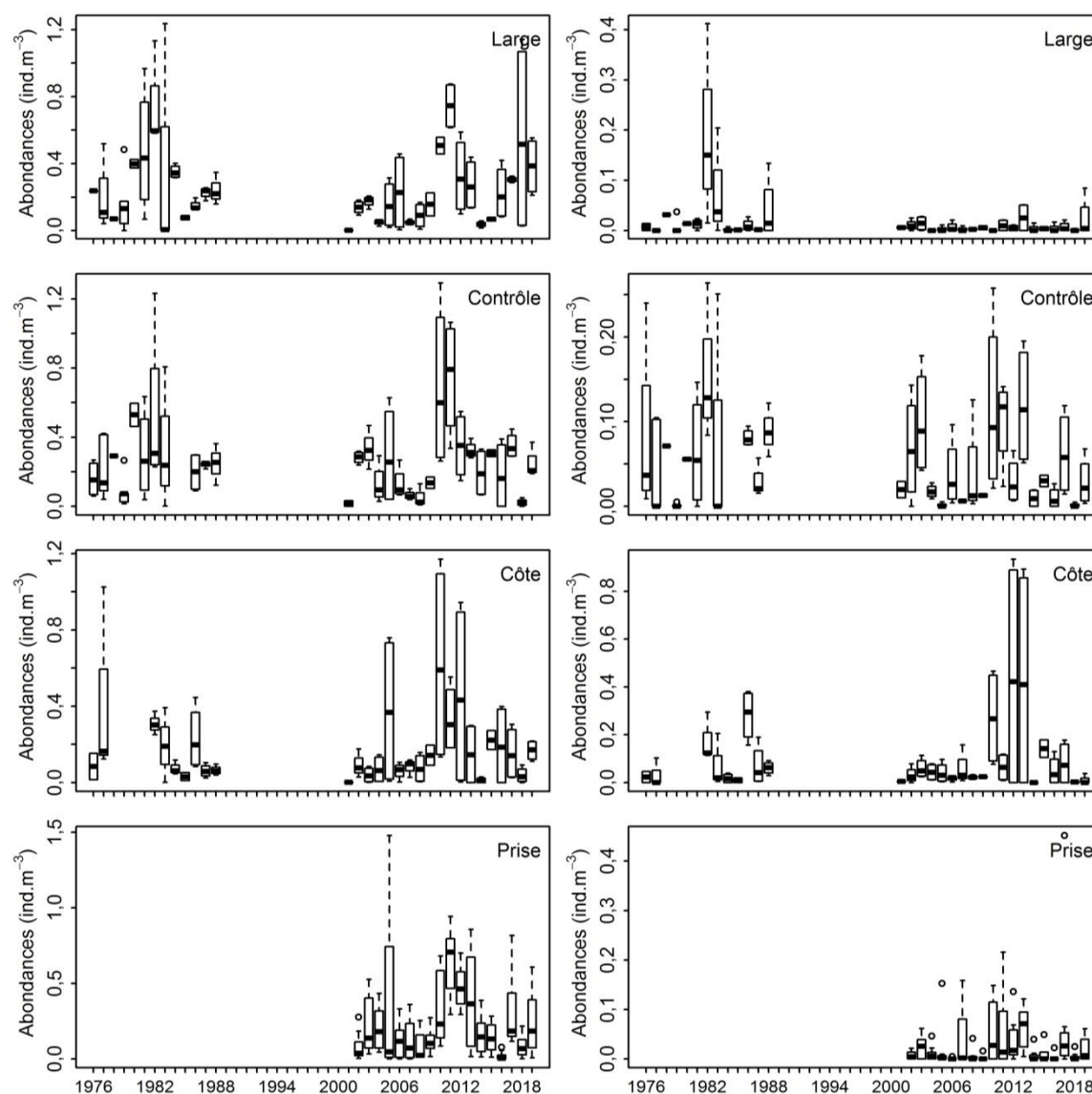


Figure D-4 : Evolution annuelle des abondances log-transformées (ind.m<sup>-3</sup>) des zoés (à gauche) et mégaloques (à droite) de crevette grise observées aux points *Prise*, *Côte*, *Contrôle* et *Large* du site du CNPE de Gravelines entre mars et mai depuis 1976 (la boîte et les moustaches englobent respectivement 50 % et 75 % des valeurs, avec traits des boxplots = médianes et ronds = données extrêmes).

Note : pour 2020, le nombre de prélèvements n'étant pas le même, ni réalisé à la même période que pour les autres années, les données ne peuvent être comparées à la série complète.

## D.1.4 CONCLUSIONS

En 2020, **une seule campagne d'échantillonnage a pu être réalisée en juillet** du fait de la situation sanitaire liée à la COVID-19. Ceci a eu pour conséquence l'absence d'œufs et de larves de sprat et de sole dans les échantillons collectés. Seules des larves de crevette grise ont pu être collectées.

Depuis le début du suivi, les trois espèces ont montré d'importantes fluctuations, alternant des périodes de fortes et de plus faibles abondances. Les valeurs d'abondance enregistrées au niveau du point *Contrôle* s'inscrivaient dans l'intervalle de celles des points *Prise*, *Côte* et *Large*. Toutefois, l'influence éventuelle des rejets du CNPE de Gravelines sur ces populations reste difficile à évaluer. En effet, l'échantillonnage tel qu'il est réalisé actuellement (et plus encore en 2020 du fait de la réalisation d'une seule campagne réglementaire sur les deux prévues) ne permet pas de couvrir entièrement la période de reproduction des trois espèces. Pour la crevette grise, la reproduction s'étend sur une longue période et seule une petite partie est couverte par l'échantillonnage. **Un échantillonnage plus fréquent et couvrant une plus grande partie de la saison permettrait de mieux suivre la dynamique des œufs et larves de sole et de sprat, et de couvrir entièrement la période larvaire de la crevette grise.** De plus, l'échantillonnage deux fois par an pour les points

*Côte, Contrôle* et *Large* reste très insuffisant et conduit à une variabilité élevée chaque année, ce qui rend difficile l'interprétation de l'évolution à long terme. Au vu de ces éléments, l'incidence de l'abandon d'une campagne réglementaire reste très limitée en regard de l'historique de la surveillance halieutique.

**L'étude du compartiment de l'ichtyoplancton halieutique réalisée dans le cadre de la surveillance du CNPE de Gravelines en 2020, ne permet pas de conclure à l'existence d'un effet des rejets d'eau sur la communauté des crevettes capturées pendant la campagne expérimentale.**



## E CONCLUSION GENERALE

### E.1 LES PARTICULARITES ENVIRONNEMENTALES

Deuxième année la plus chaude depuis 1986, après 2014, l'année 2020 était une année très douce et normalement pluvieuse, malgré un déficit pluviométrique record au printemps puis des périodes de sécheresse en juillet et septembre, qui ont été compensées par des pluies abondantes en raison des nombreux épisodes orageux de juin et août. Sur la côte, l'année 2020 a été moins ventée que la normale, malgré quelques épisodes de vent fort, dont plusieurs tempêtes hivernales.

### E.2 LE COMPARTIMENT PELAGIQUE

#### E.2.1 HYDROLOGIE, PHYSICO-CHIMIE, CHIMIE

Comme depuis 2014, les températures de l'eau au canal de prise au cours de ce cycle de surveillance étaient globalement au-dessus des normales observées depuis 1986 (+1,1°C). Néanmoins, aucune température de l'eau supérieure à 30°C, de novembre à mai, et à 35°C, de juin à octobre, n'a été enregistrée au point *Rejet* au cours de cette période et l'échauffement moyen hebdomadaire est toujours resté inférieur à 12 °C.

Le cycle saisonnier des sels azotés (ammonium, nitrites et nitrates) était conforme à ce que l'on observe habituellement en milieu côtier tempéré : reconstitution des stocks en périodes automnale et hivernale, et épuisement rapide des nutriments lors des poussées phytoplanctoniques printanières. En début d'année 2020, bien que la pluviométrie excédentaire de février et mars ait entraîné des débits de rivières plus importants (notamment de l'Aa), le renouvellement des stocks d'azotes inorganiques a été modéré (en particulier pour l'ammonium) avant leur consommation rapide suite au démarrage de la poussée phytoplanctonique à la mi-mars.

Le procédé d'électrochloration du circuit de refroidissement permettant de lutter contre le développement de salissures biologiques a été mis en service durant 8 mois au cours de l'année 2020, et uniquement lorsque la température de l'eau au canal de prise était supérieure à 10°C. Les concentrations en oxydants résiduels et en composés organohalogénés volatils (haloformes, essentiellement le bromoforme) générées par ce procédé, n'ont été détectées qu'en période de chloration. Les mesures de la persistance du bromoforme dans les dosages réalisés dans le canal de prise ont permis d'évaluer que le pourcentage d'eau de refroidissement qui passe une seconde fois dans la centrale était de 7,5 %.

Les températures mesurées au point *Référence* lors des deux sorties annuelles, n'ont pas indiqué un réchauffement des eaux par rapport au point *Prise*, et les profils de salinité n'ont pas montré de stratification de la colonne d'eau, comme observé parfois au point *Contrôle*. De même, la turbidité de l'eau en surface était toujours plus faible aux points *Prise* et *Référence* et plus importante aux points *Rejet* et *Contrôle*. Ces constatations montrent que l'étendue du panache de rejet du CNPE reste toujours géographiquement limitée.

**Les résultats de la surveillance des paramètres hydrologique, physico-chimique et chimique mettent en évidence une variabilité spatio-temporelle cohérente avec celle du milieu naturel, qui ne peut donc pas être imputable à l'influence du fonctionnement du CNPE.**

#### E.2.2 PHYTOPLANCTON

Cette année encore, la biomasse phytoplanctonique (estimée par la concentration en chlorophylle *a*) était très faible pour la région, avec une moyenne annuelle parmi les plus faibles depuis ces six

dernières années). Les observations de cette année confirment donc les anomalies négatives avec la médiane des valeurs historiques, comme c'est le cas depuis 2011. Cette tendance n'est pas isolée à notre zone d'étude et cela s'observe depuis une dizaine d'années dans l'ensemble de la Manche (Gohin *et al.*, 2019). Malgré des biomasses chlorophylliennes très faibles, la succession des taxons était plutôt conforme à celle observée habituellement en Manche orientale et baie sud de la mer du Nord avec un développement des diatomées suivi de l'efflorescence de la prymnésiofycée *Phaeocystis globosa* de mi-mars à mi-mai, d'intensité moyenne en 2020.

Les résultats acquis lors des deux campagnes pélagiques ont montré que, contrairement au schéma habituel observé lors de la campagne de septembre 2020, la concentration en chlorophylle *a* mesurée en juin 2020, ainsi que le pourcentage de chlorophylle active, n'étaient pas plus faibles au point *Rejet* par rapport aux points *Prise* et *Référence*, contrairement à la diversité spécifique et à l'abondance phytoplanctonique. Cette originalité du phénomène ne trouve pas d'explication scientifique au regard des données disponibles.

Pour les deux campagnes pélagiques, l'effet négatif sur la diversité et l'abondance cellulaire a été plus étendu spatialement que ce qui est observé habituellement. En effet, les résultats au point *Contrôle* sont habituellement du même ordre de grandeur qu'aux points *Prise* et *Référence*, ce qui n'était pas le cas en 2020. Les conséquences pourraient être plus importantes cette année sur la dynamique des communautés phytoplanctoniques à l'échelle du fonctionnement de l'écosystème. Toutefois, la diversité et les abondances observées aux points *Rejet*, *Contrôle* et *Référence* sont restées conformes à l'existence d'un gradient croissant de la côte vers le large, ce qui reflète à la fois l'impact du transit dans le CNPE sur le phytoplancton et l'hétérogénéité de la distribution spatiale du phytoplancton dans l'eau.

**Globalement, le cycle saisonnier du phytoplancton ainsi que la structure des communautés phytoplanctoniques observés en 2020 ne présentent pas de caractéristiques pouvant être reliée à l'activité du CNPE de Gravelines.**

## E.2.3 MICROBIOLOGIE

En 2020, les abondances de vibrions des canaux de prise et de rejet étaient supérieures aux moyennes géométriques mensuelles enregistrées depuis 1997, durant toute la période printemps-été, mais particulièrement au mois d'août lors de l'épisode caniculaire. La tendance à la baisse des abondances de vibrions observée de 2008 à 2014, en particulier au point *Rejet*, a cessé depuis la hausse des températures constatée depuis 2014. La température est le facteur principal expliquant la dynamique saisonnière des vibrions et leur multiplication entre les points *Prise* et *Rejet*. Le passage de l'eau de mer dans l'ensemble du système constitué par la centrale et les installations aquacoles entraîne une multiplication du nombre de vibrions d'un facteur toujours plus important au printemps qu'aux autres saisons (de mai à juin le facteur de multiplication des vibrions entre les points *Prise* et *Rejet* est  $>100$  en moyenne depuis 1997), même si en 2020 ce facteur était exceptionnellement élevé en janvier et juillet avec des valeurs supérieures au maximum mesurées depuis 1997 pour ces deux mois ( $\times 160$  et  $\times 772$  respectivement). Si l'impact du réchauffement thermique des eaux sur la multiplication des vibrions reste important dans le panache de rejet du CNPE (point *Contrôle*), les abondances redeviennent conformes, voir inférieures, à ce que l'on observe au point *Prise* dès que l'on se situe hors influence de la centrale (en 2020, aucune colonie de *Vibrio* n'a été isolée au point *Référence* lors des deux campagnes pélagiques). Ceci tend à montrer que l'impact thermique de la centrale sur l'abondance des vibrions a une étendue assez limitée, et que la faible recirculation de l'eau entre les canaux de rejet et de prise (7,5 %) ne semble pas non plus être à l'origine d'une augmentation des abondances de vibrions dans le canal de prise.

De plus, le transit de l'eau dans le CNPE et la ferme aquacole n'entraîne pas de changement visible dans la composition des principales espèces de vibrions. Comme depuis 2007, *Vibrio alginolyticus* reste l'espèce dominante observée dans les canaux de prise (98% en 2020) et de rejet (69% en 2020). Toutefois, une proportion non négligeable de *Vibrio* reste encore non identifiable avec la méthode d'identification utilisée. A noter que l'espèce *Vibrio cholerae* a été isolée, pour la première

fois depuis 2013, au point *Prise* en février 2020, mais n'était pas agglutinable par les sérums anti *V. cholerae* O1 et anti *V. cholerae* O139 et était, de plus, non-halophile stricte, ce qui permet de la différencier des souches épidémiques présentant un risque sanitaire.

**L'étude de l'ensemble des paramètres du compartiment microbiologique n'a pas mis en évidence, au cours de l'année 2020, de modifications significatives du milieu pouvant être mises en relation avec l'activité du CNPE de Gravelines.**

## E.2.4 ZOOPLANCTON

Comme pour les années antérieures, les évolutions mensuelles de la biomasse sestonique ne reflétaient pas uniquement les variations d'abondance ou de composition du zooplancton, mais également les variations de ses composantes sédimentaire et/ou phytoplanctonique parfois importantes.

Bien qu'en 2020, l'absence de prélèvements entre le 7 mars et le 10 mai en raison du confinement lié à la pandémie du COVID-19, n'a pas permis d'observer le pic d'abondance printanier habituel, les abondances pour le reste de l'année étaient conformes à la dynamique saisonnière observée depuis 1993, et souvent très supérieures aux valeurs moyennes de la série historique. L'apparition et la succession des espèces holoplanctoniques, notamment des copépodes, des appendiculaires et des chaetognathes, étaient conformes à ce que l'on observe habituellement sur le site de Gravelines et sont caractéristiques des milieux tempérés de la Manche est et de la Mer du Nord.

Concernant la surveillance du milieu récepteur, la situation géographique particulière du point *Prise* (à l'intérieur du port ouest de Dunkerque, phénomène de rétention des eaux plus important) par rapport au point *Référence*, situé plus au large, explique les différences d'abondances que l'on peut observer sans que cela ne soit en lien avec les activités du CNPE. Ainsi, lors de la campagne de juin les fortes concentrations de noctiluques sur les deux points très côtiers (*Prise* et *Contrôle*) sont à relier avec les conditions hydroclimatiques, températures en hausses, absence ou vents faibles (faible brassage vertical) et la concentration par les courants de surface dans les zones frontales (*Contrôle*) et les secteurs confinés (*Prise*). En septembre, on constate que les abondances et la composition zooplanctonique observées au point *Contrôle* étaient comparables à celles faites au point *Prise*. La structure des communautés zooplanctoniques ne présentait donc pas de caractéristiques pouvant mettre en cause l'activité du CNPE de Gravelines.

**L'influence des rejets du CNPE de Gravelines n'est donc pas décelable par la variabilité spatio-temporelle de la population zooplanctonique.**

## E.2.5 MISE EN PERSPECTIVE DES RÉSULTATS AVEC LA DCE

Dans le cadre de la surveillance DCE, les paramètres biologiques et hydrologiques ne sont pas considérés pertinents dans les ports. Par conséquent, les résultats pour le point *Prise* présentés dans ce rapport ne peuvent en aucun cas être considérés comme une évaluation au sens de la DCE. Néanmoins, la comparaison des données hebdomadaires au point *Prise* avec celles de la masse d'eau côtière FRAC02 entourant le site du CNPE de Gravelines sur les six dernières années, peut nous permettre de mieux interpréter nos observations en les situant dans un contexte plus large que celui très particulier de l'Avant-Port Ouest de Dunkerque.

Certains paramètres physico-chimiques au point *Prise*, présentaient de fortes divergences avec ceux mesurés au point de surveillance DCE *Dunkerque 1*, qui s'expliquent logiquement par la localisation de ces points, portuaire pour le point *Prise* et dans la masse d'eau au large de Dunkerque pour le point DCE. La turbidité est parfois plus importante au point *Prise*, notamment lors de fort coup de vent (comme lors des tempêtes de février en 2020). Les azotes inorganiques dissous (DIN) mesurés au point *Prise*, présentaient la même dynamique saisonnière qu'au point DCE, mais avec des valeurs supérieures aux maximales de la série historique du point DCE, notamment durant les périodes printanière et estivale.



Concernant les paramètres biologiques (en lien avec le phytoplancton), malgré des concentrations en chlorophylle *a* faibles en 2020, et de plus faibles abondances phytoplanctoniques au point *Prise*, la dynamique saisonnière des abondances phytoplanctoniques au point *Prise* était tout à fait semblable à ce que l'on observe habituellement au point de surveillance DCE.

**La diminution de la production chlorophyllienne n'est toutefois pas limitée à cette masse d'eau, mais est observée de façon générale sur l'ensemble de la Manche depuis ces 10 dernières années (Gohin *et al.*, 2019).**

## E.3 LE COMPARTIMENT BENTHIQUE

### E.3.1 MACROFAUNE BENTHIQUE SUBTIDALE

Les sédiments au point B (hors influence de la centrale) sont composés majoritairement de sables fins, alors que ceux du point C (sous l'influence du panache de rejet du CNPE) sont composés essentiellement de sables moyens à fins. Les pélites (fraction fine), ainsi que les particules les plus grossières, étaient quasi inexistantes au point C. Le lessivage des fines du sédiment par les eaux rejetées par la centrale, parfaitement matérialisé par les analyses granulométriques, provoque la disparition des espèces vasicoles. Les peuplements qui se sont établis à ce point restent toujours du type sabulicole et le déficit en densité et biomasse au point C reste toujours significatif par rapport au point B. Ces déficits étaient de même ordre que lors des études précédentes. Malgré ces déficits, la qualité écologique (*AZTI Marine Biotic Index*) du milieu au point C apparaît comme bonne, voire très bonne en période estivale, et même meilleure qu'au point B. En 2020, la valeur de cet indice au point C était même inférieure aux années antérieures évoquant une légère amélioration du milieu.

Les résultats enregistrés en 2020 au point C confirment donc à la fois l'impact de la centrale sur les communautés benthiques du champ proche de l'embouchure du canal de rejet, mais aussi la stabilité de cet impact au cours du temps. Le peuplement installé au point C est tout à fait semblable à ceux établis sur les sédiments sableux de la région. De plus, le déficit observé, lié au changement de structure granulométrique des sédiments au débouché du canal de rejet, ne semble pas s'étendre au-delà de quelques centaines de mètres.

**Ce déficit est uniquement dû à l'action de la courantologie et rien ne permet de penser, avec les informations recueillies, que l'on puisse être en présence d'un autre impact que celui courantologique du rejet.**

### E.3.2 MACROFAUNE BENTHIQUE INTERTIDALE

Les sédiments de l'estran du Petit-Fort-Philippe restent toujours majoritairement constitués de sables fins et moyens. Aucune évolution majeure de la morphologie de l'estran, pouvant être liée aux activités du CNPE, n'a été constatée.

En 2020, la diversité spécifique globale du site, qualifiable de « diversifiée » (au sens de la DCE) pour l'ensemble de l'estran, était la plus forte enregistrée depuis 2000 et très supérieure à la moyenne interannuelle depuis 2000 qui est qualifiable de « médiocre ». Le gradient de diversité croissant du haut vers le bas de l'estran, caractéristique des plages de sables fins et moyens, était clairement visible en 2020. Les stations situées en haut de l'estran restaient les plus pauvres, ce qui correspond à une situation normale pour une plage de sables fins et moyens : le haut de l'estran présentant des conditions environnementales trop contraignantes par rapport au bas de l'estran (exondation plus longue, peu d'effet tampon de la mer vis-à-vis des températures et de la pluviométrie), d'où une faune moins diversifiée car peu d'espèces sont adaptées à de telles contraintes.

Les analyses ont permis de distinguer des assemblages faunistiques caractéristiques stables par rapport aux années précédentes, et qui correspondent à la zonation naturelle de l'estran. Cette

dernière est principalement fonction des temps d'exondation (donc de l'altimétrie) et, dans une moindre mesure, de l'influence des eaux douces (fleuve Aa et eaux de ruissellement), du substrat et de la compétition interspécifique.

**Cette zonation était, cette année, conforme à ce qui peut être observé sur d'autres estrans à énergie modérée de la région non soumise aux activités du CNPE. Les autres facteurs qui pourraient modifier cette zonation (enrichissement en matière organique, perturbation thermique liée au panache de rejet du CNPE, ...) ne l'ont pas modifié en 2020.**

## E.4 LE COMPARTIMENT HALIEUTIQUE

En 2020, **une seule campagne d'échantillonnage a pu être réalisée en juillet** (au lieu de deux campagnes réglementaires habituellement réalisées plus tôt dans l'année) du fait de la situation sanitaire liée à la COVID-19. Ceci a eu pour conséquence l'absence d'œufs et de larves de sprat et de sole dans les échantillons collectés. Seules des larves de crevette grise ont pu être collectées.

Lors de cette campagne en mer, les valeurs d'abondance enregistrées au niveau du point *Contrôle* s'inscrivaient dans l'intervalle de celles des points *Prise*, *Côte* et *Large*.

Toutefois, l'influence éventuelle des rejets du CNPE de Gravelines sur cette population reste difficile à évaluer de par notamment l'échantillonnage réglementaire actuel (deux campagnes réglementaires par an), et plus encore en 2020 du fait de la réalisation d'une seule campagne réglementaire, qui conduit à une variabilité interannuelle élevée des abondances, rendant difficile l'interprétation de l'évolution à long terme. Un échantillonnage plus fréquent et couvrant une plus grande partie de la saison permettrait de mieux suivre la dynamique des œufs et larves de sole et de sprat et de couvrir entièrement la période larvaire de la crevette grise. Au vu de ces éléments, l'incidence de l'abandon d'une campagne réglementaire reste très limitée en regard de l'historique de la surveillance halieutique.

**L'étude du compartiment de l'ichtyoplancton halieutique réalisée dans le cadre de la surveillance du CNPE de Gravelines en 2020, ne permet pas de conclure à un éventuel effet des rejets d'eau du CNPE de Gravelines sur la communauté des crevettes capturées pendant la campagne expérimentale.**

\*\*\*\*\*

Les études réalisées par l'Ifremer dans le cadre de la surveillance écologique et halieutique du CNPE de Gravelines en 2020 montrent que l'influence du panache de rejet du CNPE reste toujours géographiquement limitée. Le suivi des paramètres physico-chimiques et planctoniques aux points *Prise* et *Référence* ne montrent pas une évolution anormale du milieu marin qui serait imputable au fonctionnement du CNPE de Gravelines. Si la disparition des espèces vasicoles au profit d'espèces sabulicoles confirme cette année encore l'impact courantologique du CNPE sur la communauté benthique subtidale, celui-ci reste circonscrit au débouché du canal de rejet et n'affecte pas la qualité écologique du milieu qui reste très bonne selon la classification AMBI.

**En conclusion, le suivi écologique et halieutique réalisé à proximité du CNPE de Gravelines en 2020, ne permet pas de mettre en évidence d'influence particulière du fonctionnement du CNPE sur les différents compartiments pélagiques, benthiques et halieutiques.**

# BIBLIOGRAPHIE

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Antajan E (2019). Pertinence d'une modification de localisation ou des conditions des prélèvements au point *Rejet* du CNPE de Gravelines. Ifremer R.ODE/LITTORAL/LER/BL19.09, septembre 2019, 22 p.

Antajan E, Bastian T, Raud T, Brylinski J-M, Hoffman S, Breton G, Cornille V, Delegrange A, Vincent D (2014). 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.

Anonyme (1986). Fifth report on the Benthos Ecology Working Group. *ICES CM L :27 : 1-33*.

Bastian T, Delegrange A, Antajan E, Cornille V, Cordier R, Mestre J, Senaffe A, Timmerman C-A, 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 p.

Belgrano A, Vincx M, Dewarumez J-M, Richard A, Craeymeersch J, Heip C (1990). Recruitment of meroplanktonic larvae in the Southern Bight of the North Sea. *Oceanis*, 16 (3): 225-243.

Bertier J (2009). Analyse multi-échelle de la morphodynamique d'une plage artificielle, Avant-port Ouest de Dunkerque (Nord de la France). Thèse de doctorat en Géomorphologie, Univ. du Littoral Côte d'Opale, 304 pp.

Biddanda B, Benner R (1997). Carbon, Nitrogen, and Carbohydrate Fluxes During the Production of Particulate and Dissolved Organic Matter by Marine Phytoplankton. *Limnology and Oceanography*, Vol. 42, No. 3 (May, 1997), pp. 506-518

Borja A, Franco J, Pérez V (2000). A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within european estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin* 40 : 1100-1114.

Bray JR, Curtis JT (1957). An ordination of upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs* 27: 325-349.

Brylinski J-M, Antajan E, Vincent D, First record of the Asian Copepod *Pseudodiaptomus marinus* Seto 1913 (Copepoda: Calanoida: Pseudodiaptomidae) in the southern bight of the North Sea *Aquatic Invasions* 7(4): 577-584.

Castellani C and Edwards M (2017). *Marine Plankton*, Oxford University Press, Oxford (2017)

Dajoz R. (1975). *Précis d'écologie*. Dunod. 549 p.

Delesmont R, Delesmont E (1996). Influence des rejets de pisciculture marine sur les mollusques : population des vibrions dans les coquillages du site Aquacole de Gravelines. Rapport Institut Pasteur Lille, 30 p.

Dewarumez J-M, Lunven M, Toularastel F (1984). Etude de la croissance des moules sur trois sites de centrales nucléaires. Gravelines - Penly - Plogoff. Rapport CNEXO/COB/ELGMM, 115 p.

Eloire D, Somerfield PJ, Conway DVP, Halsband-Lenk C., Harris R., Bonnet D. (2010) Temporal variability and community composition of zooplankton at station L4 in the Western Channel: 20 years of sampling. *J. Plankton Res.* 32: 657-679

Faune de France est une série de 90 guides de détermination publiée depuis 1921 par l'Office Central de Faunistique puis la Fédération Française des Sociétés de Sciences Naturelles et qui concerne l'ensemble du territoire métropolitain dont la Manche.

- Fraser JH (1968) Smaller mesozooplankton, report of Working Party No.2. In: Tranter DJ (ed), Standardization of zooplankton sampling methods at sea, Part II. Monogr. Oceanogr. Methodol.
- Frontier (1972). Calcul de l'erreur sur un comptage de zooplancton. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 8, pp. 121-132.
- Goberville E, Vincent D, Antajan E (2019). Variabilité temporelle et composition des assemblages zooplanctoniques à la station Dunkerque Ouest. – Septembre 2017-Juin 2018. Rapport d'expertise, Université du Littoral Côte d'Opale, Laboratoire d'Océanologie et Géosciences. 77 p.
- Gohin F, Druon J, Lampert L (2002). A five channel chlorophyll algorithm applied to SeaWiFS data processed by SeaDAS in coastal waters. *International Journal of Remote Sensing*, 23: 1639-1661.
- Gohin F, Saulquin B, Oger-Jeanneret H, Lozac'h L, Lampert L, Lefebvre A, Riou P, Bruchon F (2008). Using satellite-derived chlorophyll concentrations for monitoring the eutrophication risk of coastal waters. *Remote Sensing of Environment*, 112: 3329-3340.
- Gohin F, Van Der Zande D, Tilstone G, Eleveld MA, Lefebvre A, Andrieux-Loyer F, Blauw AN, Bryère P, Devreker D, Garnesson P, Hernandez Farinas T, Lamaury Y, Lampert L, Lavigne H, Menet-Nedelec F, Pardo S, Saulquin B (2019). Twenty years of satellite and in situ observations of surface chlorophyll-*a* from the northern Bay of Biscay to the eastern English Channel. Is the water quality improving? *Remote Sensing Of Environment*, 233, 111343 (17p.)
- Hayward PJ, Ryland JS, eds. (1990). The marine fauna of the British Isles and north-west Europe. 2 vols. Oxford, Clarendon Press.
- Ibañez F, Fromentin J-M (1997). Une typologie à partir de la forme des séries chronologiques (TFS). *Oceanologica Acta*, 20(1), 11-25.
- Ibañez F, Fromentin J-M, Castel J (1993). Application de la méthode des sommes cumulées à l'analyse des séries chronologiques en océanographie. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences. Série 3, Sciences de la Vie* 316 : 745-748.
- Ibañez F, Etienne M (1998). Programme d'Analyse des Séries Spatio-Temporelles en Écologie Côtière (P.A.S.S.T.E.C.) (4<sup>ème</sup> édition), manuel d'utilisation. Observatoire Océanologique de Villefranche-sur-Mer, 96 p.
- Jourde J, Alizier S, Dancie C, Dauvin J-C, Desroy N, Dubut S, Gentil F, Grall J, Hanin C, Lanshere J, Thiébaud E (2012). First and repeated records of the tropical-temperate crab *Asthenognathus atlanticus* Monod, 1932 (Decapoda: Brachyura) in the eastern part of the Bay of Seine (eastern English Channel, France). *Cahiers de Biologie Marine*. 53. 525-532.
- Khalanski M (2003). Organic products generated by the chlorination of cooling water at marine power stations. *Tribune de l'Eau* n° 619-620-621, pp. 24-29.
- Lancelot C, Rousseau V, Gypens N (2009). Ecologically based indicators for *Phaeocystis* disturbance in eutrophied Belgian coastal waters (Southern North Sea) based on field observations and ecological modelling. *Journal of Sea Research*, 61 (1-2): 44-49.
- Lefebvre et Dussuel (2018). Bilan de la mise en œuvre des réseaux REPHY et SRN en Manche orientale et baie sud de la Mer du Nord. Bilan de l'année 2017. Rapport Ifremer ODE/LITTORAL/RST.LER.BL/18.07, 215 p
- Lefebvre et Perrouchet (2016). Bilan de la mise en œuvre des réseaux REPHY et SRN en Manche orientale et baie sud de la Mer du Nord. Bilan de l'année 2015. Rapport Ifremer ODE/LITTORAL/LER.BL/16.07, 200 p.
- Lelièvre S, Antajan E, Vaz S (2012). Comparison of traditional microscopy and digitized image analysis to identify and delineate pelagic fish egg spatial distribution. *Journal of Plankton Research*, 34(6): 470-483.

- Lelièvre S, Verrez-Bagnis V, Jérôme M, Vaz S (2010). PCR-RFLP analyses of formalin-fixed fish eggs for the mapping of spawning areas in the Eastern Channel and Southern North Sea, *Journal of Plankton Research*; doi: 10.1093/plankt/fbq067.
- Lorenzen CJ (1967). Determination of chlorophyll and pigments: spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.* 12: 343-346.
- LPSN (2020). List of Prokaryotic names with Standing in Nomenclature. <https://lpsn.dsmz.de/text/introduction>.
- Lund JWG, Kipling C, Le Cren ED 1958. The inverted microscope method of estimating algal number and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiologia* 11: 143-178.
- Mauchline J (1998). The biology of calanoid copepods. *Advances in Marine Biology* 33: 1-710
- Martin, J. 2001. Les larves de crustacés décapodes des côtes françaises de la Manche. Identification, période, abondance. IFREMER, France, 175 pp.
- Mastail, M., Battaglia, A (1978). Amélioration de la conservation des pigments du zooplancton. *Cons. Inter. Explor. Mer (CIEM), Comité de l'Océanographie biologique*, L : 20.
- Motoda, S. 1959. Devices of simple plankton apparatus. *Memoirs. Faculty of fisheries. Hokkaido University* 7, 73-94.
- Pezy J-P, Dauvin J-C (2016). Extension of the geographical distribution of the crab *Asthenognathus atlanticus* Monod, 1932 in the eastern English Channel through its commensal relationship with the polychaete *Chaetopterus variopedatus* (Renier, 1804). *Marine Biodiversity* 48: 987-993.
- Quilici, ML et Robert-Pillot A (2011). Infections à vibrions non cholériques. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), *Maladies Infectieuses*, 8, 1-12.
- Retière C (1979). Contribution à la connaissance des peuplements benthiques du golfe Normano-Breton. Thèse d'Etat. Université Rennes I. 431 p.
- Rivas AJ, Lemos ML, Osorio CR (2013) *Photobacterium damsela* subsp. *Damsela*, a bacterium pathogenic for marine animals and humans. *Front. Microbiol.* 4(283), 10-3389.
- Russel FS (1976). The Eggs and Planktonic Stages of British Marine Fishes. Academic Press, London-New York-San Francisco, 524 pp.
- SCOR-UNESCO. 1966. Determination of photosynthetic pigments in sea water. UNESCO Monographs on Oceanographic Methodology, 1. Paris, France, 69 pp.
- Shannon CE (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal* 27: 379-423
- SHOM (1988). Ondine 85 - Hydrologie discrète et bathythermie réalisées à bord du bâtiment hydrographique l'Espérance par Le Magner F, Vennel R, Launo S Rapport d'Étude 001/88. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, 537 pp.
- Smith PE, Richardson S (1977). Standard techniques for pelagic fish egg and larval surveys. FAO Fisheries Technics Pap. 175:100 pp.
- Synopses of the British Fauna est une série de 56 guides de détermination publiée depuis 1970 par The Field Studies Council et qui concerne l'ensemble du territoire britannique dont la Manche.
- Thompson FL, Hoste B, Vandemeulebroecke K, Swings JYR (2003) Reclassification of *Vibrio hollisae* as *Grimontia hollisae* gen. nov., comb. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 53(5): 1615-1617
- Touron A et Delesmont R (2007). Procédure Technique DRD/P77/Vib - Recherche et dénombrement de *Vibrio* spp. et de dix espèces de *Vibrio*, dans les eaux marines et estuariennes, p. 12. EDF R&D – LNHE.

Utermöhl H (1958). Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitt. Int. Ver. Limnol., 9: 1-38.

Vicaire (1991). Dynamique hydro-sédimentaire en Mer du Nord méridionale : du Cap Blanc-Nez à la frontière belge. Thèse de doctorat en Océanologie, Université de Lille 1, 263 pp.

Vincent D, Bastian T, Antajan E, Brylinski J-M, Cornille V, Cordier R, Raud T, Delegrange A, Bandura C, Podevin M, Timmerman C-A., Bialais C. (2015). Suivi du plancton gélatineux dans le port de Dunkerque – Avril 2013-Avril 2014. Rapport d'expertise, Université du Littoral Côte d'Opale, Laboratoire d'Océanologie et Géosciences. 41 p.

Vincent C, Heinrich H, Edwards A, Nygaard K, Haythornthwaite J (2002). Guidance on typology, classification and reference conditions for transitional and coastal waters. *Commission Européenne. CIS WG 2.4 (COAST)*, 119 p.

Wyatt T (1973) The Biology of *Oikopleura dioica* and *Fritillaria borealis* in the southern bight. Mar. Biol. 22:137- 158.

Zooplankton Sampling. UNESCO (United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization) Press, Paris, pp 153-159.

## REFERENCES HISTORIQUES DE LA SURVEILLANCE

Antajan E, Devreker D, Loots C, Rocroy M, Rolet C (2020). Surveillance écologique et halieutique du site de production électronucléaire de Gravelines – Année 2019. Rapport Ifremer ODE/LITTORAL/LER.AR/20.011, 224 p.

Antajan E, Devreker D, Loots C, Rocroy M, Alizier S (2019). Surveillance écologique et halieutique du site de production électronucléaire de Gravelines, Novembre 2017 – Octobre 2018. Rapport Ifremer ODE/LITTORAL/LER.BL/19.02, 208 p.

Antajan E, Devreker D, Loots C, Rocroy M, Alizier S (2018). Surveillance écologique et halieutique du site de Gravelines, Novembre 2016 – Octobre 2017. Rapport Ifremer ODE/LITTORAL/LER.BL/18.01, 214 p.

Antajan E, Devreker D, Lefebvre A, Loots C, Rocroy M, Ruellet T (2017). Surveillance écologique et halieutique du site de Gravelines, Novembre 2015 – Octobre 2016. Rapport Ifremer ODE/LITTORAL/LER.BL/17.01, 195 p.

Antajan E, Lefebvre A, Loots C, Rocroy M, Ruellet T (2016). Surveillance écologique et halieutique du site de Gravelines, Novembre 2014 – Octobre 2015. Rapport Ifremer ODE/LITTORAL/LER.BL/16.01, 168 p.

Antajan E, Lefebvre A, Loots C, Luyczak C, Ruellet T (2015). Surveillance écologique et halieutique du site de Gravelines, Novembre 2013 – Octobre 2014. Rapport Ifremer ODE/LITTORAL/LER.BL/15.01, 153 p.

Antajan E, Delesmont R, Foveau A, Hervio-Heath D, Lefebvre A, Loots C, Luczak C (2014) Surveillance écologique et halieutique du site de Gravelines, Novembre 2012 – Octobre 2013. Rapport Ifremer ODE/LITTORAL/LER.BL/14.01, 160 p.

Antajan E, Hervio-Heath D, Lefebvre A, Loots C, Luczak C (2013). Surveillance écologique du site de production électronucléaire de Gravelines Novembre 2011 – Octobre 2012. Rapport Ifremer ODE/LITTORAL/LER.BL/13.01, 149 p.

Antajan E, Delesmont R, Dewarumez J-M, Lefebvre A, Loots C, Luczak C (2012). Surveillance écologique du site de production électronucléaire de Gravelines Novembre 2010 – Octobre 2011. Rapport Ifremer ODE/LITTORAL/LER.BL/12.01, 146 p.



Antajan E, Delesmont R, Dewarumez J-M, Lefebvre A, Luczak C, Loots C (2011). Surveillance écologique du site de production électronucléaire de Gravelines Novembre 2009 – Octobre 2010. Rapport Ifremer ODE/LITTORAL/LER.BL/11.01, 148 p.

Antajan E, Delesmont R, Dewarumez J-M, Lefebvre A, Luczak C, Warembourg C (2010). Surveillance écologique et halieutique du site de production électronucléaire de Gravelines Novembre 2008 – Octobre 2009. Rapport Ifremer DOP/LER/LER.BL/10.01, 151 p.

Antajan E, Delesmont R, Dewarumez J-M, Lefebvre A, Luczak C, Warembourg C (2009). Surveillance écologique et halieutique du site de production électronucléaire de Gravelines Novembre 2007 – Octobre 2008. Rapport Ifremer DOP/LER/LER.BL/10.01, 131 p.

Lefebvre A, Antajan E, Delesmont R, Dewarumez J-M, Luczak C (2008). Surveillance Écologique et Halieutique. Site de Gravelines. Novembre 2006 - Octobre 2007. Rapport Ifremer DOP/LER/LER.BL/08.01, 158 p.

Lefebvre A, Brylinski J-M, Delesmont R, Dewarumez J-M, Luczak C, Vincent D, Woehrling D (2007). Surveillance écologique et halieutique du site de production électronucléaire de Gravelines. Novembre 2005 – Octobre 2006. Rapport Ifremer LER/BL/RST/07.01, 183 p.

Lefebvre A, Brylinski J-M, Delesmont R, Dewarumez J-M, Luczak C, Vincent D, Woehrling D (2006). Surveillance Écologique et Halieutique. Site de Gravelines. Novembre 2004 - Octobre 2005. Rapport Ifremer LER/BL/RST/06.01, 175 p.

Lefebvre A, Delesmont R, Dewarumez J-M, Hitier B, Luczak C, Woehrling D (2005). Surveillance écologique et halieutique du site de production électronucléaire de Gravelines - Novembre 2003 / Octobre 2004. Rapport Ifremer Rapport Ifremer LER/BL/RST/05.01, 174 p.

Lefebvre A, Delesmont R, Dewarumez J-M, Hitier B, Le Fevre-Lehoerff G, Luczak C, Woehrling D (2004). Surveillance Écologique et Halieutique. Site de Gravelines. Novembre 2002 - Octobre 2003. Rapport Ifremer DEL/BL/RST/04.01, 178 p.

Lefebvre A, Delesmont R, Dewarumez J-M, Hitier B, Le Fevre-Lehoerff G, Luczak C, Woehrling D (2003). Surveillance Écologique et Halieutique. Site de Gravelines. Novembre 2001 - Octobre 2002. Rapport Ifremer DEL/BL/RST/03.01, 176 p.

Lefebvre A, Delesmont R, Dewarumez J-M, Hitier B, Le Fevre-Lehoerff G, Luczak C, Woehrling D (2002). Surveillance Écologique et Halieutique. Site de Gravelines. Novembre 2000 - Octobre 2001. Rapport Ifremer DEL/BL/RST/02.01, 176 p.

Le Fevre-Lehoerff G, Delesmont R, Dewarumez J-M, Hitier B, Lefebvre A, Luczak C, Woehrling Daniel (2001). Surveillance Écologique et Halieutique. Site de Gravelines. Novembre 1999 - Octobre 2000. Rapport Ifremer DEL/EC/01.05, 168 p.

Le Fevre-Lehoerff G, Delesmont R, Dewarumez J-M, Hitier B, Luczak C, Woehrling D (2000). Surveillance Écologique et Halieutique. Site de Gravelines. Novembre 1998 - Octobre 1999. Rapport Ifremer DEL/EC/00.07, 158 p.

Le Fevre-Lehoerff G, Delesmont R, Dewarumez J-M, Hitier B, Luczak C, Woehrling D (1999). Surveillance Écologique et Halieutique. Site de Gravelines. Novembre 1997 - Octobre 1998. Rapport Ifremer DEL/EC/99.06, 141p.

Le Fevre Lehoerff G, Coppin F, Delesmont E, Delesmont R, Dewarumez J-M, Hebert P, Hitier B, Le Grand J, Luczak C, Menu D, Woehrling D (1998). Surveillance Écologique et Halieutique. Site de Gravelines. Novembre 1996 - Octobre 1997. Rapport Ifremer DEL/EC/98.03, 130 p.

Le Fevre-Lehoerff G, Delesmont R, Dewarumez J-M, Hitier B, Woehrling D (1997). Surveillance écologique et halieutique. Site de Gravelines. Novembre 1995 - Octobre 1996. Rapport Ifremer DEL/EC/RST/97.08, 128 p.



- Le Fevre-Lehoerff G, Cochard M-L, Delesmont E, Delesmont R, Dewarumez J-M, Hebert P, Hitier B, Luczak C, Menu D, Woehrling D (1996). Surveillance écologique et halieutique. Site de Gravelines. Novembre 1994 - Octobre 1995. Rapport Ifremer DEL/Brest/96.04, 118 p.
- Le Fevre-Lehoerff G, Cochard M-L, Delesmont E, Delesmont R, Dewarumez J-M, Hebert P, Hitier B, , Luczak C, Menu D, Woehrling D (1995). Surveillance écologique et halieutique. Site de Gravelines. Novembre 1993 - Octobre 1994. Rapport Ifremer DEL/ 95.07, 112 p.
- Le Fevre-Lehoerff G, Delesmont E, Delesmont R, Dewarumez J-M, Hebert P, Hitier B, Luczak C, Menu D, Woehrling D (1994). Surveillance écologique et halieutique. Site de Gravelines. Novembre 1992 - Octobre 1993. Rapport Ifremer DEL/ 94.05, 121 p.
- Le Fevre-Lehoerff G, Delesmont E, Delesmont R, Dewarumez J-M, Grossel H, Hebert P, Luczak C, Menu D, Woehrling D (1993) Surveillance écologique et halieutique. Site de Gravelines. Novembre 1991 - Octobre 1992. Rapport Ifremer DEL/ 93.11, 112 p.
- Le Fevre-Lehoerff G, Delesmont E, Delesmont R, Dewarumez J-M, Grossel H, Hitier B, Menu D, Woehrling D (1992) Surveillance écologique et halieutique. Site de Gravelines. Novembre 1990 - Octobre 1991. Rapport Ifremer DEL/ 92.14, 130 p.
- Le Fevre-Lehoerff G, Delesmont R, Delesmont E, Dewarumez J-M, Grossel H, Hitier B, Menu D, Woehrling D (1991). Surveillance écologique et halieutique. Site de Gravelines. Novembre 1989 - Octobre 1990. Rapport Ifremer DEL/ 91.10, 116 p.
- Le Fevre-Lehoerff G, Delesmont E, Delesmont R, Dewarumez J-M, Grossel H, Menu D, Woehrling D (1990). Surveillance écologique et halieutique. Site de Gravelines. Novembre 1988 - Octobre 1989. Rapport Ifremer DRO/EL/ 90.12, 144 p.
- Le Fevre-Lehoerff G, Delesmont E, Delesmont R, Dewarumez J-M, Delattre JM, Grossel H, Martin J, Menu D, Tetard A, Woehrling D (1989). Surveillance écologique et halieutique. Site de Gravelines. Novembre 1987 - Octobre 1988. Rapport Ifremer DRO/EL/ 89.08, 182 p.
- Le Fevre-Lehoerff G, Degros N, Janquin M-A, Delesmont E, Delesmont R, Dewarumez J-M, Grossel H, Maillard- Quistoudt C, Martin J, Menu D, Tetard A, Woehrling D (1988). Surveillance écologique et halieutique. Site de Gravelines. Novembre 1986 - Octobre 1987. Rapport Ifremer DRO/EL/ 88.17, 178 p.
- Le Fevre-Lehoerff G, Bourgain JL, Delesmont R, Dewarumez J-M, Grossel H, Quisthoudt C, Tetard A, Woehrling D (1987). Surveillance écologique et halieutique. Site de Gravelines. Novembre 1985 - Octobre 1986. Rapport Ifremer DRO/EL/ 87.06, 196 p.
- Le Fevre-Lehoerff G, Degros N, Delesmont R, Dewarumez J-M, Hilde D, Janquin M-A, Grossel H, Martin J, Menu D, Peronnet I, Tetard A, Woehrling D (1986). Surveillance écologique et halieutique. Site de Gravelines. Novembre 1984 - Octobre 1985. Volume 1 : Rapport Ifremer, 238 p. Volume2 : Annexes, 98 p.
- Le Fevre-Lehoerff G, Degros N, Delattre JM, Delesmont R, Derrien A, Dewarumez J-M, Grossel H, Janquin M-A, Lepercq E, Menu D, Prygiel M, (1985). Surveillance écologique. Site de Gravelines. Novembre 1983 - Octobre 1984. Rapport Ifremer, 202 p.
- Le Fevre-Lehoerff G, Degros N, Delattre JM, Delesmont R, Dewarumez J-M, Grossel H, Hilde D, Janquin M-A, Lepercq E, Menu D, Prygiel M (1984) Surveillance écologique. Site de Gravelines. Novembre 1982 - Octobre 1983. Rapport CNEXO/EL, 206 p.
- Delpech J-P, Grellier P, Peronnet I, Tetard A (1984). Étude de surveillance écologique des ressources halieutiques GRAVELINES (Nord). 1er novembre 1982 - 31 octobre 1983. Rapport ISTPM, 67 p.
- Le Fevre-Lehoerff G, Degros-Dewarumez N, Delesmont R, Dewarumez J-M, Grossel H, Menu D (1983) Surveillance écologique. Site de Gravelines. Novembre 1981 - Octobre 1982. Rapport CNEXO/EL, 218 p.

Delpech J-P, Grellier P, Peronnet I, Tetard A (1983). Etude de surveillance écologique des ressources halieutiques - Gravelines (Nord). 1er novembre 1981 - 31 octobre 1982 - Rapport ISTPM - Volume I, 189 p. Volume II, 80 p.

Le Fevre-Lehoerff G, Degros N, Delattre JM, Delesmont R, Dewarumez J-M, Grossel H, (1982) Surveillance écologique. Site de Gravelines. Novembre 1980 - Octobre 1981. Rapport CNEXO/EL, 218 p.

Woerhling D (1982). Etude expérimentale de l'impact de la centrale de Gravelines (Nord) sur les oeufs et larves de la sole. Contrat EDF - SE/ISTPM n° E – 2858. 82 p.

Woehrling D, Halgand D, Martin J, Giret M, Tetard A (1982). Étude de surveillance écologique des ressources halieutiques. Gravelines (Nord). 1er novembre 1980 - 31 octobre 1981. Rapport ISTPM, 73 p.

Le Fevre-Lehoerff G, Delattre JM, Delesmont R, Dewarumez J-M, Menu D, Grossel H, (1982) Surveillance écologique. Site de Gravelines. Juillet 1979 - Octobre 1980. Rapport CNEXO/EL, 282 p.

Woehrling D, Martin J, Halgand D (1981). Étude halieutique de projet de site GRAVELINES (Nord). Rapport de fin d'étude - 1ère Partie - Zooplanctonologie halieutique. Rapport ISTPM, 188 p.

Gros P (1981). Gravelines : première étude de surveillance du site. Description statistique et interprétation écologique des données. Rapport CNEXO/COB/ELGMM, 123 p.

Arnal O, Bougard M, Delatre JM, Dewarumez N, Jospin JP, Labbe A, Le Fevre-Lehoerff G, Menu D, Nicoulaud F, Pauchet MC, Quintin J-Y, Souplet A, Toularastel F, Romana L-A, Laubier L, Chardy P (1977). Etude écologique de projet. Site de Gravelines. 2è cycle. Volume 1: Rapport final, 293 p. Volume 2 : Annexes, 289 p.

Marchand P, Romana A, Laubier L, Chardy P, Arnal O, Le Fevre-Lehoerff G (1976). Etude écologique. Site de Gravelines. Volume 1 : Rapport final, 377 p. Volume 2 : Tableaux des données, 150 p. Volume 3 : Coupes horizontales, 172 p.

Chardy P, De La Salle P, Derrien E, Jezequel M, Laurec A (1976). Etude écologique. Site de Gravelines. Rapport final, vol. 4. Traitement mathématique. 88 p.

Marchand P, Romana A, Laubier L, Chardy P (1976). Etude écologique. Site de Gravelines. Rapport final, vol. 1. Rapport général. 319 p. Volume 2 : Tableaux des données, 141 p. Volume 3 : Coupes horizontales, 160 p.

## VALORISATIONS (PUBLICATIONS, POSTERS, ARTICLES, ...)

Antajan E, Bastian T, Raud T, Brylinski J-M, Hoffman S, Breton G, Cornille V, Delegrange A, Vincent D (2014). 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.

Bastian T, Antajan E, Vincent D (2014) Spatio-temporal variability of gelatinous plankton (including *M. leidyi*) in Dunkirk harbour (Southern North Sea, France). In Report of the Joint CIESM/ICES Workshop on Mnemiopsis Science (JWMS) [co-edited by Pitois S. and Shiganova T.] 18-20 September 2014, A Coruna, Spain.

Brylinski J-M, Monchy L-L, Vansteenbrugge L, Antajan E, Hoffman S, Van Ginderdeuren K, Vincent D (2016). 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*, 11(1), 21-32.

Brylinski J-M, Antajan E, Raud T and Vincent D (2012). First record of the Asian Copepod *Pseudodiaptomus marinus* Sato, 1913 (Copepoda: Calanoida: Pseudodiaptomidae) in the southern bight of the North Sea. *Aquatic Invasions* 7(4): 577-584.

- Carpenter P, Dewarumez J-M, Leprêtre A (1997). Long-term variability of the *Abra alba* community in the southern bight of the North Sea. *Oceanologica Acta*, 20(1), 283-290.
- Dauvin J-C (2015). History of benthic research in the English Channel: From general patterns of communities to habitat mosaic description. *Journal of Sea Research*, 100, 32-45.
- Dauvin J-C, Dewarumez J-M., Elkaim B, Bernardo D, Fromentin J-M, Ibanez F (1993). Cinétique d'*Abra alba* (mollusque bivalve) de 1977 à 1991 en Manche-Mer du Nord, relation avec les facteurs climatiques. *Oceanologica acta*, 16(4), 413-422.
- Delattre J-M, Delesmont R, Clabaux M, Oger C, Leclerc H (1979). Bacterial biomass, production and heterotrophic activity of the coastal seawater at Gravelines (France). *Oceanologica Acta*, 2(3), 317-324.
- Dewarumez J-M, Davoult D, Frontier S (1991). Examples of responses of benthic communities to environmental stress (Dover Strait, France). *Oceanologica Acta*, SP11, 191-196.
- Fevre-Lehoerff L, Woehrling D (1991). Aménagement industriel du littoral et surveillance de l'environnement: la centrale nucléaire de Gravelines (1975 à 1989). *Oceanologica Acta*, SP11, 299-311.
- Fevre-Lehoerff, L., Gossel, H., & Derrien, A. (1983). Evolution des populations planctoniques animales en Manche et au sud de la Mer du Nord. *Oceanologica Acta*, SP4, 131-135.
- Fromentin J-M, Dauvin J-C, Ibanez F, Dewarumez J-M., Elkaim B (1997). Long-term variations of four macrobenthic community structures. *Oceanologica Acta*, 20(1), 43-53.
- Fromentin J-M, Ibanez F, Dauvin J-C, Dewarumez J-M., Elkaim B (1997). Long-term changes of four macrobenthic assemblages from 1978 to 1992. *Journal of the Marine Biological Association UK*, 77(02), 287-310.
- Ghertsos K, Luczak C, Dewarumez J-M, Dauvin J-C (2000). Influence of spatial scales of observation on temporal change in diversity and trophic structure of fine-sand communities from the English Channel and the southern North Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 57(5), 1481-1487.
- Halsband-Lenk C, Antajan E (2010). Zooplankton time-series analyses in the English Channel: potential for regional multimetric foodweb indices. In *Proceedings of the Joint ICES/CIESM Workshop to Compare Zooplankton Ecology and Methodologies between the Mediterranean and the North Atlantic (WKZEM)*, Gislason A. and Gorsky G. (eds). ICES Cooperative Research report 300: 29-34.
- Hervio-Heath, D., Colwell, R. R., Derrien, A., RobertPillot, A., Fournier, J. M., & Pommepuy, M. (2002). Occurrence of pathogenic vibrios in coastal areas of France. *Journal of applied microbiology*, 92(6), 1123-1135.
- Le Fevre-Lehoerff G, Ibanez F, Poniz P, Fromentin J-M (1995). Hydroclimatic relationships with planktonic time series from 1975 to 1992 in the North Sea off Gravelines, France. *Marine Ecology Progress Series*, 129, 269-281.
- Lehoerff G, Denn EL, & Arzul G (1993). Planktonic ecosystems in the Channel-Trophic relations. *Oceanologica Acta*, 16(5-6), 661-670.
- Lindley JA, Beaugrand G, Luczak C, Dewarumez J-M, Kirby RR (2010). Warm-water decapods and the trophic amplification of climate in the North Sea. *Biology letters*, 6(6), 773-776.
- Luczak C, Beaugrand G, Lindley JA, Dewarumez J-M, Dubois PJ, Kirby RR (2012). North Sea ecosystem change from swimming crabs to seagulls. *Biology letters*, 8, 821 – 824.
- Luczak C, Dewarumez J-M, Essink K (1993). First record of the American jack knife clam *Ensis directus* on the French Coast of the North Sea. *Journal of Marine Biological Association UK*, 73, 233–235.

Martin J (1995). Période d'éclosion et abondance des larves de crevette grise Crangon Crangon Linnaeus, 1758 et Manche et au sud de la Mer du Nord. CIEM Conseil International pour l'Exploration de la Mer, Comité des mollusques et crustacés, C.M. 1995/K : 53.

Ryckaert M, Gros P, Denn EL (1983). Succession saisonnière des populations phytoplanctoniques des eaux côtières de la Manche. Oceanologica Acta, SP4, 171-175.

Saulnier E, Brind'Amour A, Tableau A, Rufino MM, Dauvin J-C, Luczak C, Le Bris H (2018). Seasonality in coastal macrobenthic biomass and its implications for estimating secondary production using empirical models. Limnology and Oceanography, 0, 1-13.

Tetard A (1985). Eléments sur la croissance de la crevette grise, Crangon crangon (L.), en Manche-Est et en Sud mer du Nord. CIEM Conseil International pour l'Exploration de la Mer, Comité des mollusques et crustacés, C.M. 1985 / K : 17.

Woehrling D, Lefebvre A, Le Fèvre-Lehoërff G, Delesmont R (2005). Seasonal and longer term trends in sea temperature along the French North Sea coast, 1975 to 2002. Journal of the marine biological Association UK, 85(01), 39-48.

Woehrling D, Le Fèvre-Lehoërff G (1998). Long-term series in ichthyoplankton: sole and sprat at French coast of the North Sea from 1975 to 1994. Oceanologica acta, 21(1), 113-121.

////////////////////

## GLOSSAIRE

Termes	Domaine	Définition
<b>Actinométrie</b>	CLIMATOLOGIE	Mesure de l'intensité de certaines radiations, en particulier des radiations solaires
<b>Benthos</b>	BENTHIQUE	Ensemble des organismes aquatiques (animaux ou végétaux) vivant à proximité du fond des eaux. Par opposition, on parle de pélagos (constitué du plancton et du necton) pour désigner l'ensemble des organismes qui occupent la tranche d'eau supérieure, du fond à la surface
<b>Frustule</b>	PHYTOPLANCTON	Structure siliceuse très ornementée et spécifique des diatomées. Elle est constituée de deux parties (valves) imbriquées telle une boîte de Pétri. Les diverses formes et ornementation des frustules (c'est-à-dire, caractéristiques morphologiques) ont longtemps été la base de la taxinomie des diatomées et constitue de nos jours l'élément principal observée en microscopie optique
<b>Gram</b>	MICROBIOLOGIE	Coloration qui permet de mettre en évidence les propriétés de la paroi bactérienne, et d'utiliser ces propriétés pour distinguer et classer les bactéries. Il est possible de distinguer les bactéries à Gram positif dotées d'une simple paroi, des bactéries à Gram négatif, pourvues d'une membrane externe supplémentaire (la résistance des bactéries et l'efficacité d'antibiotiques dépendant du type de bactérie)
<b>Halin(e)</b>	HYDROLOGIE	Relatif à la salinité marine
<b>Holoplancton</b>	ZOOPLANCTON	Partie du zooplancton effectuant tout son cycle de vie dans la colonne d'eau
<b>Ichtyoplancton</b>	HALIEUTIQUE	Partie du zooplancton animale méroplanctonique comprenant les oeufs et les larves de poissons
<b>Masse d'eau</b>	PELAGIQUE (DCE)	Désigne un important volume d'eau océanique possédant des caractéristiques spécifiques de température et de salinité (donc de densité) et présentant une certaine extension horizontale et verticale
<b>Méroplancton</b>	ZOOPLANCTON	Partie du zooplancton n'effectuant qu'une partie de son cycle de vie dans la colonne d'eau
<b>Milieu intertidal</b>	BENTHIQUE	Zone de l'estran recouverte à marée haute et découverte à marée basse, aussi appelée zone de balancement des marées. Elle est située entre le niveau des basses marées et le niveau des hautes marées de vives-eaux (coefficient de marée >70)
<b>Milieu subtidal</b>	BENTHIQUE	Zone située en dessous de la zone de balancement des marées et ne découvrant donc jamais à marée basse
<b>Milieu TCBS</b>	MICROBIOLOGIE	La gélose TCBS est un milieu sélectif pour la recherche et l'isolement des vibrios pathogènes présents dans les prélèvements poly-microbiens
<b>Morphotype</b>	MICROBIOLOGIE	Teme technique qui sert à désigner l'aspect d'une colonie bactérienne selon plusieurs critères de différenciation (taille, forme, couleur, rugosité, ...)
<b>Nauplius/Nauplii</b>	ZOOPLANCTON	Premier stade larvaire pélagique caractéristique de la classe des crustacés. Cette larve possède typiquement 3 paires d'appendices natatoires qui correspondent aux antennules, antennes et mandibules. Elle ne présente aucune trace de segmentation (pluriel : Nauplii)
<b>Plancton</b>	PHYTOPLANCTON ZOOPLANCTON	Partie vivante du seston. Ensemble des organismes flottant ou en suspension dans l'eau, composés principalement de végétaux ou d'animaux de petite taille, mais également de formes de plus grande taille disposant de moyens de locomotion limités
<b>Phytoplancton</b>	PHYTOPLANCTON	Partie végétale du plancton
<b>Seston</b>	ZOOPLANCTON	Ensemble des particules, de toute nature, minérales, mortes ou vives, d'origine organique ou inorganique en suspension dans l'eau
<b>Zoobenthos</b>	BENTHIQUE	Ensemble des organismes animaux du benthos
<b>Zooplancton</b>	ZOOPLANCTON	Partie animale du plancton



## ANNEXES

### Compilation

Guillaume Wacquet (LER-BL)





## A. ENVIRONNEMENT ET CLIMATOLOGIE

ANNEXE A-1 : Synthèse climatique à Dunkerque en 2020 (données Météo France)

Eléments météorologiques	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Année
<b>Températures :</b>													
<b>minimales</b>	5.3	6.2	5.4	8.2	10.8	14	15.3	17.4	14.1	10.6	8	5.3	10.0
<i>normales</i>	2.9	2.9	5	6.9	10.1	12.9	15.2	15.5	13.4	10.1	6.5	3.7	8.8
<b>maximales</b>	9.5	10.8	10.6	14.3	16.8	19.5	21	23.5	19.8	15	13.1	9.2	15.3
<i>normales</i>	7.1	7.4	9.9	12.4	15.6	18.4	20.9	21.3	19	15.4	10.9	7.8	13.9
<b>moyenne</b>	7.4	8.5	8	11.2	13.8	16.8	18.1	20.5	17	12.8	10.6	7.2	12.7
<i>normales</i>	5	5.1	7.5	9.6	12.9	15.7	18.1	18.4	16.2	12.7	8.7	5.7	11.3
minimales la plus basse	-0.6	1.9	1.5	3.2	7.1	8.6	13	12.8	8.7	5.9	2.4	0.8	-0.6
maximales la plus élevée	13.6	15.3	15.1	21.9	27.5	29.8	37.6	33.3	29.3	19.6	19.2	14.3	37.6
nombre de jours de gel	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
nombre de jours sans dégel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
nombre de jours chauds (Tx >= 25 °C)	-	-	-	-	1	3	2	10	1	-	-	-	17
nombre de jours très chauds (Tx >= 30 °C)	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	2
<b>Précipitations et ETP :</b>													
<b>précipitations</b>	44	96.6	70.5	26.1	2.4	73.2	34.4	85.1	46.3	114.3	34.7	75.3	702.9
<i>normales</i>	55	41.2	46.9	43.2	50.4	56.5	58.4	59.3	67	78	74.8	67.1	697.8
hauteur maximale quotidienne	18.4	9.1	21.6	11.3	1.8	25.8	11.9	36.5	14.7	14.5	14.1	9.8	36.5
nombre de jours de pluie >= 1 mm	11	19	11	6	1	12	8	12	7	19	8	19	133
<b>ETP</b>													
<i>normales</i>													
<b>Insolation et rayonnement :</b>													
<b>insolations cumul</b>													
<i>normales</i>													
<b>rayonnement cumul</b>													
<i>normales</i>													
<b>Vent :</b>													
<b>moyen</b>	20.2	29.9	24.8	16.9	21.2	17.6	18.0	16.6	20.5	21.6	18.4	20.9	20.5
<i>normales</i>	25.2	24.1	23.0	21.6	20.5	19.8	19.8	19.4	20.5	21.6	22.3	23.4	21.6
rafales maxi	79.6	126.0	97.9	74.9	89.3	79.2	82.1	94.0	112.3	91.4	85.3	98.6	126.0
nombre de jours de vent >= 100.8 km/h	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<b>Occurrences :</b>													
neige	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
grêle	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
brouillard	4	-	-	1	-	-	-	2	-	-	2	1	10
orage	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-	-	3

- : donnée manquante ; lorsqu'un paramètre n'est pas mesuré il n'y a pas de valeur associée (colonne ou case vide)

: donnée égale à 0

**Occurrences** : jours où le phénomène a été observé avec certitude.**Unités** : les températures sont exprimées en degrés Celsius (°C), les précipitations et l'évapotranspiration potentielle (ETP) en millimètres (mm), les durées d'insolation en heures, le rayonnement en Joules/cm², le vent en km/h et les occurrences en nombre de jours.**Normales** : elles sont calculées sur la période de référence 1981-2010 (ou, à défaut, sur la période maximale d'ouverture de la station) sauf pour les paramètres suivants : insolation (1991-2010), ETP (2001-2010). \* Normales reconstituées.

ANNEXE A-2 : Fréquence des vents en % en fonction de leur direction (dir., en degré) et par groupe de vitesse (km/h) à Dunkerque en 2020 (gauche) et pour la période de référence 1981-2019. Le signe + indique une fréquence non nulle mais inférieure à 0,1% . Source : données Météo France

Dir.	[ 5.0;16.0 [	[ 16.0; 29.0 ]	> 29.0 km/h	Total	Dir.	[ 5.0;16.0 [	[ 16.0; 29.0 ]	> 29.0 km/h	Total
20	2.2	1.5	1.1	4.8	20	1.7	2.4	1.4	5.5
40	2.1	2.5	2.4	7.0	40	1.6	2.3	1.5	5.4
60	1.8	2.1	1.1	5.0	60	1.4	2.0	1.0	4.4
80	1.6	1.4	0.5	3.5	80	1.7	1.7	0.5	3.9
100	1.3	0.9	+	2.3	100	1.7	1.4	0.2	3.3
120	1.4	0.7	0.0	2.1	120	1.6	1.2	+	2.9
140	1.3	0.7	+	2.0	140	1.9	1.8	0.2	3.9
160	1.9	2.8	0.3	4.9	160	3.0	2.7	0.3	6.1
180	3.6	3.8	0.7	8.1	180	3.8	3.8	0.6	8.2
200	5.7	5.1	1.4	12.3	200	2.9	4.6	1.5	8.9
220	3.7	7.3	1.9	12.9	220	1.7	4.7	3.1	9.5
240	0.9	4.2	2.4	7.5	240	0.9	3.0	2.9	6.8
260	0.5	3.3	2.9	6.7	260	0.9	3.0	2.4	6.3
280	1.2	3.2	1.4	5.9	280	1.3	2.9	1.7	5.9
300	1.3	1.5	0.7	3.6	300	1.4	2.0	1.1	4.5
320	1.5	1.0	0.6	3.1	320	1.4	1.5	0.9	3.8
340	1.0	0.8	0.8	2.5	340	1.3	1.4	0.7	3.4
360	1.5	0.7	0.5	2.7	360	1.4	1.7	0.8	3.8
Total	34.6	43.4	19.0	97.0	Total	31.6	44.0	20.9	96.5
[ 0;5.0 [				3.0	[ 0;5.0 [				3.5

## B. DOMAINE PELAGIQUE

ANNEXE B-1 : Fonctionnement de la centrale en 2020 (débit et puissance calculés à partir des données fournies par EDF ; - données manquantes)

Semaine	Puissance moyenne (MW)	Débit canal (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	Echauffement moyen calculé par EDF (°C)	Echauffement moyen mesuré par EDF (°C)	Echauffement ponctuel mesuré par Flandres Analyses (°C)
1	4761	220	10,4	10,1	8,7
2	4369	220	9,5	9,0	5,8
3	4630	220	10,1	8,8	8,8
4	4343	220	9,4	8,9	7
5	3838	220	8,3	8,4	5,7
6	4550	228	9,5	8,7	7,5
7	4730	240	9,4	8,7	3,2
8	3996	235	8,1	7,6	5,3
9	4172	234	8,5	8,4	3,2
10	5416	230	11,2	9,5	4,61
11	5108	238	10,3	9,3	4,4
12	4315	219	9,4	7,1	7,7
13	4178	204	9,8	7,2	6,7
14	3601	180	9,6	8,5	7,1
15	4628	198	11,2	10,2	9,4
16	4732	200	11,3	10,8	9,7
17	4637	198	11,2	10,0	9,6
18	4584	205	10,7	10,5	10,7
19	4495	207	10,4	9,2	9,4
20	4349	229	9,1	8,2	3,7
21	4319	240	8,6	8,9	7,1
22	4462	234	9,1	9,4	8
23	4089	205	9,6	9,7	3,9
24	3365	175	9,2	8,1	3,6
25	3106	149	10,0	9,8	9,9
26	3657	165	11,8	10,0	4,9
27	2736	180	7,9	7,6	2,7
28	2866	180	7,6	7,7	2,7
29	3642	180	9,7	9,5	3,1
30	3650	180	9,7	9,0	3,6
31	3568	181	9,5	9,0	7,6
32	3531	196	8,6	8,7	7,3
33	4246	200	10,2	10,3	7,6
34	4203	194	10,4	9,7	9,3
35	3694	166	10,7	10,4	7,8
36	3702	166	10,7	10,2	3,9
37	3443	177	9,3	9,2	7,6
38	2804	165	8,2	8,0	3
39	2676	165	7,8	7,4	3,8
40	2837	151	9,0	8,1	6,8
41	2842	148	9,2	7,9	4,1
42	2834	157	8,6	6,7	5,5
43	2812	170	7,9	6,1	6,8
44	2748	180	7,3	6,8	6,4
45	3281	193	8,1	7,6	4,7
46	3689	192	9,2	9,4	7,2
47	4311	199	10,4	10,0	1,8
48	4734	200	11,3	10,3	9,2
49	3190	200	7,6	7,7	4,7
50	3726	214	8,3	8,4	5,7
51	3833	211	8,7	7,7	5,3
52	4463	220	9,7	9,9	4
53	4787	220	10,4	10,3	6
Minimum	2676	148	7,3	6,1	1,8
Maximum	5416	240	11,8	10,8	10,7
Moyenne	3862	198	9,5	8,8	6,1
Ecart-type	709	26	1,1	1,1	2,3

ANNEXE B-2 : Concentrations hebdomadaires en ammonium, nitrate et nitrite aux canaux de prise et de rejet en 2020

Date	Canal de prise			Canal de rejet		
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (μmol.l <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (μmol.l <sup>-1</sup> )	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (μmol.l <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (μmol.l <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (μmol.l <sup>-1</sup> )	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (μmol.l <sup>-1</sup> )
30/12/2019	5,52	17,08	0,89	16,48	26,53	1,17
09/01/2020	20,97	29,61	1,40	4,48	16,31	1,25
13/01/2020	3,45	26,27	1,34	5,07	17,82	0,99
23/01/2020	6,61	19,90	1,41	6,55	19,81	1,17
27/01/2020	5,02	17,25	0,88	45,55	22,41	1,08
07/02/2020	3,10	14,78	1,07	5,94	18,98	0,85
12/02/2020	2,74	26,55	0,52	2,86	28,05	0,43
21/02/2020	2,74	23,53	0,42	2,84	26,03	0,44
27/02/2020	3,90	27,11	0,55	1,32	26,11	0,46
06/03/2020	1,38	21,51	0,58	1,78	19,98	0,24
12/03/2020	2,11	35,95	0,34	4,65	32,76	0,36
20/03/2020	2,18	18,37	0,47	2,60	19,16	0,52
26/03/2020	0,27	10,27	0,19	2,34	8,98	0,26
03/04/2020	0,37	29,84	0,49	1,76	24,77	0,35
09/04/2020	2,27	16,90	0,35	5,15	19,48	0,49
17/04/2020	3,90	10,25	0,30	3,15	8,92	0,28
23/04/2020	13,70	10,65	0,35	5,50	8,60	0,34
27/04/2020	5,80	5,41	0,24	16,19	7,26	0,45
07/05/2020	8,89	3,62	0,28	7,66	25,77	0,79
15/05/2020	7,86	4,99	0,21	10,39	11,30	0,34
22/05/2020	5,97	4,61	0,44	15,99	2,91	0,27
25/05/2020	12,76	2,42	0,64	24,59	24,61	0,78
05/06/2020	8,20	5,05	0,45	15,11	4,39	0,52
08/06/2020	7,64	3,44	0,67	19,89	4,37	0,71
19/06/2020	9,21	2,79	0,51	15,53	6,00	0,91
22/06/2020	6,90	22,11	0,41	17,17	3,63	0,60
03/07/2020	17,22	1,32	0,29	22,58	2,52	0,34
06/07/2020	6,92	1,40	0,22	24,49	2,78	0,37
17/07/2020	4,80	0,36	0,09	8,48	7,89	0,57
20/07/2020	3,28	0,75	0,33	4,86	1,14	0,30
31/07/2020	3,62	0,87	0,12	4,83	7,28	0,32
04/08/2020	27,30	<0.10	0,07	3,34	<0.10	0,18
14/08/2020	4,07	1,49	0,73	14,64	1,87	0,36
20/08/2020	7,48	5,73	0,40	7,78	2,02	0,35
28/08/2020	7,54	2,90	0,35	8,10	13,27	0,78
03/09/2020	9,25	2,26	0,32	5,75	7,02	0,35
07/09/2020	6,86	1,70	0,37	8,79	3,22	0,46
18/09/2020	5,33	11,28	0,47	3,14	1,28	0,22
21/09/2020	4,60	9,89	0,37	3,84	1,26	1,71
02/10/2020	3,02	4,10	0,35	8,96	12,00	0,64
05/10/2020	5,80	2,55	0,46	5,31	3,12	0,26
16/10/2020	7,70	5,10	0,34	6,51	19,42	0,41
19/10/2020	8,15	0,30	3,09	8,10	4,20	0,49
30/10/2020	10,77	4,61	0,29	7,96	4,43	0,21
04/11/2020	2,81	4,72	0,19	2,42	10,04	0,35
13/11/2020	7,81	5,89	0,23	12,61	5,87	0,24
16/11/2020	4,55	11,43	0,24	4,21	11,29	0,13
27/11/2020	22,59	5,97	0,20	13,49	6,93	0,27
03/12/2020	3,55	56,69	0,70	4,50	13,59	0,63
11/12/2020	9,12	14,83	0,63	9,95	14,32	0,55
17/12/2020	0,72	14,82	0,68	4,93	13,26	0,11
24/12/2020	1,62	16,11	0,63	2,90	15,85	0,83
28/12/2020	3,99	12,45	0,55	5,67	19,76	0,69

## ANNEXE B-3 : Mesures mensuelles de turbidité, oxygène dissous, phosphate et silicate aux canaux de prise et de rejet en 2020

Date	Canal de prise				Canal de rejet			
	Turbidité (NTU)	Oxygène dissous (mg.l <sup>-1</sup> )	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (μmol.l <sup>-1</sup> )	SiO <sub>2</sub> (μmol.l <sup>-1</sup> )	Turbidité (NTU)	Oxygène dissous (mg.l <sup>-1</sup> )	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (μmol.l <sup>-1</sup> )	SiO <sub>2</sub> (μmol.l <sup>-1</sup> )
09/01/2020	24,00	7,70	0,264	12,166	6,50	8,10	0,595	10,036
12/02/2020	26,00	9,25	0,546	11,001	27,10	8,77	0,596	11,001
06/03/2020	13,20	9,70	0,314	8,521	12,10	8,80	0,540	8,521
09/04/2020	0,41	8,94	0,153	0,583	2,14	9,24	0,283	0,583
07/05/2020	0,88	10,30	0,140	2,363	2,50	9,40	<0,100	2,363
08/06/2020	6,00	7,02	0,420	3,795	9,32	6,80	0,720	3,795
06/07/2020	9,00	9,11	0,423	7,506	48,00	9,75	0,441	7,506
04/08/2020	7,30	8,40	0,140	3,046	9,50	8,60	0,811	3,745
07/09/2020	7,00	7,50	0,546	4,760	6,80	6,20	1,027	7,473
05/10/2020	18,00	8,10	0,682	4,760	16,00	8,20	0,184	5,342
04/11/2020	5,00	10,40	0,220	10,302	11,00	10,10	0,310	6,175
03/12/2020	3,00	8,20	3,872	6,973	1,60	8,60	0,596	6,391

ANNEXE B-4 : Concentration hebdomadaire du chlore résiduel et des haloformes au canaux de prise et de rejet en 2020 et nombre d'électrochloration en service pendant plus de 12 heures le jour des prélèvements ('<' indique que la valeur est inférieure au seuil de détection mentionné ; la période d'électrochloration est grisée)

Date	Canal de prise						Canal de rejet						Nombre électrochloration > 12 heures
	Chlore libre (mg.l <sup>-1</sup> éq. Cl <sub>2</sub> )	Chlore totale (mg.l <sup>-1</sup> éq. Cl <sub>2</sub> )	CHCl <sub>3</sub> (µg.l <sup>-1</sup> )	CHCl <sub>2</sub> Br (µg.l <sup>-1</sup> )	CHClBr <sub>2</sub> (µg.l <sup>-1</sup> )	CHBr <sub>3</sub> (µg.l <sup>-1</sup> )	Chlore libre (mg.l <sup>-1</sup> éq. Cl <sub>2</sub> )	Chlore totale (mg.l <sup>-1</sup> éq. Cl <sub>2</sub> )	CHCl <sub>3</sub> (µg.l <sup>-1</sup> )	CHCl <sub>2</sub> Br (µg.l <sup>-1</sup> )	CHClBr <sub>2</sub> (µg.l <sup>-1</sup> )	CHBr <sub>3</sub> (µg.l <sup>-1</sup> )	
30/12/19	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	0
09/01/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	0
13/01/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	0
23/01/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	0
27/01/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	0
07/02/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	0
12/02/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	0
21/02/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	0
27/02/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	0
06/03/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	0
12/03/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	0
20/03/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	0
26/03/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	0
03/04/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	0
09/04/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	0
17/04/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	2,7	1
23/04/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	5,8	3
27/04/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	12,0	4
07/05/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	4,9	4
15/05/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	16,0	5
22/05/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	16,0	5
25/05/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	14,0	5
05/06/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	11,0	4
08/06/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	9,1	5
19/06/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	16,0	4
22/06/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	1,5	14,0	4
03/07/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	13,0	4
06/07/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	6,3	4
17/07/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	1,9	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	16,0	3
20/07/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	1,9	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	23,0	4
31/07/20	<0.10	<0.10	<0.5	<0.5	<0.5	0,8	<0.10	<0.10	<0.5	<0.5	<0.5	12,0	3
04/08/20	<0.10	<0.10	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.10	<0.10	<0.5	<0.5	<0.5	18,0	5
14/08/20	<0.10	<0.10	<0.5	<0.5	<0.5	1,3	<0.10	<0.10	<0.5	<0.5	<0.5	14,0	3
20/08/20	<0.10	<0.10	<0.5	<0.5	<0.5	0,7	<0.10	<0.10	<0.5	<0.5	<0.5	13,0	4
28/08/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	13,0	3
03/09/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	4,9	4
07/09/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	13,0	3
18/09/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	6,6	3
21/09/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	13,0	3
02/10/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	9,1	3
05/10/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	8,4	3
16/10/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	8,3	2
19/10/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	11,0	3
30/10/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	10,0	2
04/11/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	7,2	3
13/11/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	1,0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	9,5	3
16/11/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	1,7	1
27/11/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	2,1	0
03/12/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	7,2	2
11/12/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	0
17/12/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	0
24/12/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	0
28/12/20	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<0.10	<0.10	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	0



ANNEXE B-5 : Dosages des bromophénols au canal de rejet en 2020 (la période d'électrochloration est grisée)

Date	2,4,6-tribromo-phénol (ng.l <sup>-1</sup> )	2,6-dibromo-phénol (ng.l <sup>-1</sup> )	2,4-dibromo-phénol (ng.l <sup>-1</sup> )	4-bromo-phénol (ng.l <sup>-1</sup> )	3-bromo-phénol (ng.l <sup>-1</sup> )	2-bromo-phénol (ng.l <sup>-1</sup> )
09/01/2020	15,8	<2,0	4,6	<2,0	<0,7	7,6
12/02/2020	11,9	<0,2	3,0	<0,7	<0,7	7,8
06/03/2020	17,3	<2,0	3,7	<0,7	<0,7	5,5
09/04/2020	21,5	<2,0	6,7	2,0	<0,7	6,7
07/05/2020	60,0	4,6	5,0	2,2	<2,0	4,0
08/06/2020	174,0	6,8	4,6	2,6	<2,0	5,5
06/07/2020	42,3	2,6	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7
04/08/2020	38,7	8,3	<2,0	<0,7	<0,7	2,5
07/09/2020	18,3	2,4	<2,0	<0,7	<0,7	<0,7
05/10/2020	48,9	3,7	6,0	<0,7	<0,7	<0,7
04/11/2020	72,1	6,7	3,4	<0,7	<0,7	2,0
03/12/2020	17,3	2,6	2,8	<0,7	<0,7	<0,7

ANNEXE B-6 : Paramètres hydrologiques mesurés lors des campagnes pélagiques 2020

Point	Température (°C)	Salinité	Turbidité (NTU)	Oxygène dissous (mg l <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (μmol.l <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (μmol.l <sup>-1</sup> )	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (μmol.l <sup>-1</sup> )	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (μmol.l <sup>-1</sup> )	SiO <sub>2</sub> (μmol.l <sup>-1</sup> )	Chl <i>a</i> (μg.l <sup>-1</sup> )	Phéopigments (μg.l <sup>-1</sup> )
Prise	17,2	34,1	1,6	7,1	9,45	1,22	0,37	0,59	4,83	1,49	1,47
Rejet	27,5	34,1	16,3	6,8	12,50	4,19	0,65	1,27	5,48	3,40	2,77
Contrôle	26,4	33,9	6,8	6,5	11,30	2,35	0,68	0,80	4,96	1,18	0,91
Référence	16,6	34,1	2,8	8,0	1,10	<0.100	0,08	0,45	1,45	2,04	2,93
Prise	18,5	34,3	3,8	7,4	9,96	3,49	0,35	0,99	7,42	1,36	1,27
Rejet	28,3	34,3	5,4	7,2	9,50	5,92	0,56	1,80	8,75	0,86	1,15
Contrôle	26,4	33,9	7,5	5,7	9,23	2,62	0,38	1,51	7,27	0,62	0,87
Référence	16,6	34,1	3,4	7,2	1,71	0,41	0,05	1,10	2,73	1,41	1,18

ANNEXE B-7 : Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration ( $\mu\text{g.l}^{-1}$ ) en chlorophylle a au canal de prise (A) pour la période 2015-2020 et la période de surveillance en 2020, (B) par années et (C) pour chaque mois sur la période 2015-2020

(A)

	Moyenne	Ecart-type	Minimum	1 <sup>er</sup> Quartile	Médiane	3 <sup>ème</sup> Quartile	Maximum	Nombre de données
2015-2020	2,33	2,53	0,00	0,90	1,51	2,64	19,30	313
2020	1,87	2,85	0,22	0,89	1,27	1,89	19,30	53

(B)

	Moyenne	Ecart-type	Minimum	1 <sup>er</sup> Quartile	Médiane	3 <sup>ème</sup> Quartile	Maximum	Nombre de données
2015	3,33	3,51	0,39	0,91	1,91	5,07	17,70	52
2016	2,63	2,66	0,32	0,94	1,82	3,18	12,90	52
2017	1,62	1,38	0,10	0,75	1,21	2,03	6,85	51
2018	2,20	1,80	0,35	1,01	1,67	2,55	9,21	53
2019	2,13	1,87	0,20	0,83	1,39	2,65	8,25	52
2020	1,87	2,85	0,22	0,89	1,27	1,89	19,30	53

(C)

	Moyenne	Ecart-type	Minimum	1 <sup>er</sup> Quartile	Médiane	3 <sup>ème</sup> Quartile	Maximum	Nombre de données
1	0,73	0,26	0,22	0,55	0,67	0,98	1,15	27
2	1,95	1,84	0,30	0,75	1,33	2,21	8,55	26
3	5,66	5,39	0,80	2,01	2,94	8,23	19,30	24
4	4,98	2,44	1,23	3,05	4,31	6,85	10,40	26
5	1,81	1,52	0,20	0,69	1,55	2,35	6,80	28
6	2,94	2,54	0,72	1,49	1,97	3,03	11,30	24
7	2,21	1,24	0,56	1,36	2,03	2,74	5,22	28
8	2,51	1,51	0,75	1,24	2,03	3,20	5,75	25
9	1,92	1,22	0,85	1,23	1,61	2,01	5,70	27
10	1,50	0,80	0,39	0,99	1,33	1,98	3,73	27
11	1,11	0,85	0,27	0,66	0,98	1,27	3,88	25
12	0,64	0,24	0,00	0,54	0,62	0,83	0,97	26

ANNEXE B-8 : Concentration hebdomadaire des pigments chlorophylliens au canal de prise et indices de Shannon des espèces phytoplanctoniques

Date	Chlorophylle <i>a</i> ( $\mu\text{g.l}^{-1}$ )	Phéopigments ( $\mu\text{g.l}^{-1}$ )	% chlorophylle <i>a</i> active	Indice de Shannon
30/12/2019	0,74	0,88	45,68	2,80
09/01/2020	0,46	0,50	47,92	2,17
13/01/2020	0,94	1,15	44,98	2,08
23/01/2020	0,22	0,32	40,74	3,28
27/01/2020	0,46	0,50	47,92	2,71
07/02/2020	0,33	0,33	50,00	3,24
12/02/2020	1,42	1,01	58,44	3,38
21/02/2020	0,30	0,31	49,18	2,98
27/02/2020	1,40	1,51	48,11	2,77
06/03/2020	1,89	1,90	49,87	3,72
12/03/2020	1,04	1,01	50,73	3,75
20/03/2020	2,19	1,08	66,97	3,34
26/03/2020	19,30	0,80	96,02	3,38
03/04/2020	10,40	4,09	71,77	3,77
09/04/2020	3,61	1,61	69,16	1,34
17/04/2020	3,45	1,87	64,85	0,45
23/04/2020	2,65	1,49	64,01	0,45
27/04/2020	2,24	1,44	60,87	0,46
07/05/2020	1,92	1,47	56,64	1,00
15/05/2020	0,71	0,79	47,33	3,54
22/05/2020	0,92	1,07	46,23	2,33
25/05/2020	0,66	0,76	46,48	2,21
05/06/2020	1,28	1,44	47,06	3,74
08/06/2020	1,46	1,70	46,20	3,42
19/06/2020	2,23	2,17	50,68	2,37
22/06/2020	1,29	1,26	50,59	3,35
03/07/2020	1,24	1,28	49,21	3,52
06/07/2020	2,03	1,81	52,86	3,94
17/07/2020	2,31	1,57	59,54	3,53
20/07/2020	1,64	1,60	50,62	3,16
31/07/2020	1,47	1,31	52,88	2,80
04/08/2020	1,27	1,21	51,21	3,24
14/08/2020	1,10	0,97	53,14	2,56
20/08/2020	1,13	1,02	52,56	2,88
28/08/2020	1,65	1,96	45,71	3,65
03/09/2020	1,61	1,50	51,77	3,37
07/09/2020	1,52	1,35	52,96	3,29
18/09/2020	2,50	0,47	84,18	2,89
21/09/2020	3,08	0,77	80,00	3,07
02/10/2020	0,89	0,72	55,28	3,79
05/10/2020	1,10	0,81	57,59	3,65
16/10/2020	1,08	0,46	70,13	3,57
19/10/2020	2,24	0,65	77,51	3,75
30/10/2020	1,18	0,96	55,14	1,90
04/11/2020	0,75	0,71	51,37	3,12
13/11/2020	1,34	0,96	58,26	3,62
16/11/2020	1,23	1,05	53,95	3,79
27/11/2020	0,40	0,47	45,98	2,59
03/12/2020	0,90	0,62	59,21	3,47
11/12/2020	0,37	0,56	39,78	3,68
17/12/2020	0,63	0,72	46,67	2,32
24/12/2020	0,91	1,23	42,52	3,79
28/12/2020	0,48	0,61	44,04	3,82

ANNEXE B-9 : Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour l'abondance phytoplanctonique totale (cell.l<sup>-1</sup>) au canal de prise (A) pour la période 2015-2020 et la période de surveillance en 2020, (B) par années et (C) pour chaque mois sur la période 2015-2020

(A)

	Moyenne	Ecart-type	Minimum	1 <sup>er</sup> Quartile	Médiane	3 <sup>ème</sup> Quartile	Maximum	Nombre de données
2015-2020	896 140	2 334 751	10 200	84 184	181 800	407 274	22 039 698	314
2020	528 331	1 069 530	11 300	90 100	169 751	326 061	5 432 186	53

(B)

	Moyenne	Ecart-type	Minimum	1 <sup>er</sup> Quartile	Médiane	3 <sup>ème</sup> Quartile	Maximum	Nombre de données
2015	828 177	1 789 551	10 200	50 089	134 281	632 633	9 276 597	53
2016	688 636	1 430 300	15 832	82 553	160 729	391 117	6 369 062	51
2017	892 880	2 617 795	28 379	82 311	127 138	301 940	15 322 812	52
2018	871 693	1 870 388	20 694	131 850	218 019	391 965	10 748 271	53
2019	1 571 984	3 992 830	37 349	78 257	222 942	462 247	22 039 698	52
2020	528 331	1 069 530	11 300	90 100	169 751	326 061	5 432 186	53

(C)

	Moyenne	Ecart-type	Minimum	1 <sup>er</sup> Quartile	Médiane	3 <sup>ème</sup> Quartile	Maximum	Nombre de données
1	51 466	27 591	14 600	37 334	48 227	63 536	134 083	26
2	137 335	129 968	20 694	60 297	110 587	145 151	653 594	26
3	527 384	838 282	83 061	142 812	374 811	480 483	4 277 710	24
4	5 298 304	4 031 036	131 394	2 859 326	5 083 846	6 083 456	15 322 812	26
5	2 766 026	4 404 589	138 935	271 439	1 611 871	3 285 293	22 039 698	29
6	436 738	641 843	83 053	160 737	304 145	407 274	3 342 941	25
7	398 352	462 185	34 500	217 481	275 832	388 020	2 184 917	28
8	305 579	195 012	11 300	180 992	295 456	387 826	697 948	25
9	284 787	237 134	46 573	125 284	192 825	376 581	914 948	28
10	140 981	119 752	32 849	70 986	98 539	178 883	496 938	27
11	104 714	55 413	10 200	65 198	96 308	145 397	218 443	25
12	69 647	37 491	13 800	37 457	64 413	98 131	150 517	25

ANNEXE B-10 : Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour l'indice de Shannon (bits.ind<sup>-1</sup>) (A) pour la période 2015-2020 et la période de surveillance en 2020, (B) par années et (C) pour chaque mois sur la période 2015-2020

(A)

	Moyenne	Ecart-type	Minimum	1 <sup>er</sup> Quartile	Médiane	3 <sup>ème</sup> Quartile	Maximum	Nombre de données
2015-2020	2,70	1,09	0,08	2,29	3,02	3,47	4,37	314
2020	2,96	0,90	0,45	2,59	3,28	3,62	3,94	53

(B)

	Moyenne	Ecart-type	Minimum	1 <sup>er</sup> Quartile	Médiane	3 <sup>ème</sup> Quartile	Maximum	Nombre de données
2015	2,38	1,09	0,08	1,89	2,66	3,23	4,10	53
2016	2,59	1,04	0,27	2,29	2,79	3,28	4,22	51
2017	2,75	0,99	0,17	2,53	2,99	3,41	4,06	52
2018	2,71	1,27	0,14	2,11	3,31	3,67	4,37	53
2019	2,79	1,17	0,20	2,46	3,24	3,58	4,31	52
2020	2,96	0,90	0,45	2,59	3,28	3,62	3,94	53

(C)

	Moyenne	Ecart-type	Minimum	1 <sup>er</sup> Quartile	Médiane	3 <sup>ème</sup> Quartile	Maximum	Nombre de données
1	2,70	0,46	1,89	2,34	2,73	2,97	3,74	26
2	3,09	0,45	2,13	2,77	3,09	3,38	3,97	26
3	2,97	1,00	0,41	3,08	3,33	3,54	3,76	24
4	0,80	0,98	0,08	0,29	0,42	0,72	3,77	26
5	1,33	1,02	0,20	0,49	0,98	2,21	3,62	29
6	2,78	0,98	0,36	2,37	2,91	3,42	4,31	25
7	3,01	0,76	0,70	2,69	3,19	3,49	3,96	28
8	3,15	0,75	1,11	2,67	3,21	3,68	4,31	25
9	3,22	0,64	1,39	2,94	3,31	3,62	4,37	28
10	3,32	0,55	1,90	2,96	3,38	3,71	4,22	27
11	3,28	0,67	1,22	3,12	3,47	3,70	4,06	25
12	2,86	0,76	1,13	2,64	3,04	3,36	3,82	25

ANNEXE B-11 : Concentrations en pigments chlorophylliens lors des deux campagnes pélagiques 2020

Date	Heure	Point	Chlorophylle $\alpha$ ( $\mu\text{g.l}^{-1}$ )	Phéopigments ( $\mu\text{g.l}^{-1}$ )	% chlorophylle active
22/06/2020	13:00	Prise	1,49	1,47	50,34
	12:50	Rejet	3,40	2,77	55,11
	12:50	Contrôle	1,18	0,91	56,46
	13:30	Référence	2,04	2,93	41,05
02/09/2020	10:50	Prise	1,36	1,27	51,71
	10:14	Rejet	0,86	1,15	42,79
	12:50	Contrôle	0,62	0,87	41,61
	13:22	Référence	1,41	1,18	54,44

ANNEXE B-12 : Abondances hebdomadaires des vibrions (UFC.l<sup>-1</sup>) au canal de prise en 2020

N° semaine	Date	Température (°C)	Vibrions Totaux à 37°C	V. alginolyticus	V. fluvialis	V. cholerae Nag	V. mimicus	V. parahaemolyticus	V. vulnificus	V. spp.
1	30/12/2019	11.2	<100							
2	09/01/2020	10.3	<100							
3	13/01/2020	9.4	120	120	0	0	0	0	0	0
4	23/01/2020	8.2	<20							
5	27/01/2020	8.5	<20							
6	07/02/2020	7.4	100	0	0	60	0	0	0	40
7	12/02/2020	9.9	120	120	0	0	0	0	0	0
8	21/02/2020	8.8	140	120	0	0	0	0	0	20
9	27/02/2020	8.5	<20							
10	06/03/2020	7.6	<20							
11	12/03/2020	9.9	40	20	0	0	0	0	0	20
12	20/03/2020	7.2	< 20							
13	26/03/2020	9.6	<20							
14	03/04/2020	8.4	40	20	0	0	0	0	0	20
15	09/04/2020	10.4	40	20	0	0	0	0	0	20
16	17/04/2020	10.4	80	40	0	0	0	0	0	40
17	23/04/2020	13.0	1 100	1 060	0	0	0	0	0	40
18	27/04/2020	12.4	60	60	0	0	0	0	0	0
19	07/05/2020	13.1	320	260	0	0	0	0	0	60
20	15/05/2020	12.0	90	70	0	0	0	0	0	20
21	22/05/2020	15.3	200	0	0	0	0	0	200	0
22	25/05/2020	16.3	<20							
23	05/06/2020	16.2	1 140	0	0	0	0	0	0	1 140
24	08/06/2020	16.7	2 140	2 020	0	0	0	0	0	120
25	19/06/2020	17.1	460	0	0	0	0	0	0	460
26	22/06/2020	19.0	2 100	2 100	0	0	0	0	0	0
27	03/07/2020	18.3	560	560	0	0	0	0	0	0
28	06/07/2020	18.3	500	480	0	0	0	0	0	20
29	17/07/2020	19.3	400	0	0	0	0	0	0	400
30	20/07/2020	20.3	1 640	1 640	0	0	0	0	0	0
31	31/07/2020	20.0	720	720	0	0	0	0	0	0
32	04/08/2020	20.1	280 000	280 000	0	0	0	0	0	0
33	14/08/2020	23.1	320 000	320 000	0	0	0	0	0	0
34	20/08/2020	22.5	< 2000							
35	28/08/2020	19.2	8 000	4 000	0	0	0	0	0	4 000
36	03/09/2020	18.9	2 000	1 400	0	0	0	0	0	600
37	07/09/2020	19.5	520	420	0	0	0	0	0	100
38	18/09/2020	19.8	1 680	1 680	0	0	0	0	0	0
39	21/09/2020	19.3	10 000	10 000	0	0	0	0	0	0
40	02/10/2020	16.0	180	180	0	0	0	0	0	0
41	05/10/2020	16.1	180	180	0	0	0	0	0	0
42	16/10/2020	14.0	1 400	0	0	0	0	0	0	1 400
43	19/10/2020	13.8	60	0	0	0	0	0	60	0
44	30/10/2020	14.0	320	320	0	0	0	0	0	0
45	04/11/2020	13.3	360	360	0	0	0	0	0	0
46	13/11/2020	13.4	100	0	0	0	0	0	100	0
47	16/11/2020	13.1	<20							
48	27/11/2020	12.4	340	120	0	0	0	0	160	60
49	03/12/2020	10.4	<10							
50	11/12/2020	10.1	<10							
51	17/12/2020	9.6	100	100	0	0	0	0	0	0
52	24/12/2020	10.0	100	100	0	0	0	0	0	0
53	28/12/2020	9.1	10	0	0	0	0	0	0	10



ANNEXE B-13 : Abondances hebdomadaires des vibrions (UFC.l<sup>-1</sup>) au canal de rejet en 2020

N° semaine	Date	Température (°C)	Vibrions Totaux à 37°C	V. alginolyticus	V. fluvialis	V. cholerae Nag	V. mimicus	V. parahaemolyticus	V. vulnificus	V. spp.
1	30/12/2019	19.9	7 000	0	0	0	0	4 000	0	3 000
2	09/01/2020	16.1	13 000	7 000	0	0	0	0	0	6 000
3	13/01/2020	18.2	22 000	22 000	0	0	0	0	0	0
4	23/01/2020	15.2	<1000							
5	27/01/2020	14.2	2 800	1 200	0	0	0	0	1 600	0
6	07/02/2020	14.9	<100							
7	12/02/2020	13.1	1 900	0	0	0	0	0	0	1 900
8	21/02/2020	14.1	1 400	1 400	0	0	0	0	0	0
9	27/02/2020	11.7	2 080	1 300	0	0	0	0	780	0
10	06/03/2020	12.2	600	600	0	0	0	0	0	0
11	12/03/2020	14.3	1 200	1 200	0	0	0	0	0	0
12	20/03/2020	14.9	4 000	0	0	0	0	0	0	4 000
13	26/03/2020	16.3	<100							
14	03/04/2020	15.5	2 000	2 000	0	0	0	0	0	0
15	09/04/2020	19.8	3 100	3 100	0	0	0	0	0	0
16	17/04/2020	20.1	12 000	12 000	0	0	0	0	0	0
17	23/04/2020	22.6	23 000	3 000	0	0	0	0	0	20 000
18	27/04/2020	23.1	950 000	950 000	0	0	0	0	0	0
19	07/05/2020	22.5	7 000	7 000	0	0	0	0	0	0
20	15/05/2020	15.7	1 600	1 600	0	0	0	0	0	0
21	22/05/2020	22.4	160 000	70 000	0	0	0	0	0	90 000
22	25/05/2020	24.3	>1 500 000							
23	05/06/2020	20.1	320 000	280 000	0	0	0	0	0	40 000
24	08/06/2020	20.3	47 000	47 000	0	0	0	0	0	0
25	19/06/2020	27.0	7 000 000	7 000 000	0	0	0	0	0	0
26	22/06/2020	23.9	2 700 000	2 700 000	0	0	0	0	0	0
27	03/07/2020	21.0	179 000	170 000	0	0	0	0	0	9 000
28	06/07/2020	21.0	230 000	210 000	0	0	0	0	0	20 000
29	17/07/2020	22.4	404 000	394 000	0	0	0	0	0	10 000
30	20/07/2020	23.9	760 000	640 000	0	0	0	0	0	120 000
31	31/07/2020	27.6	2 880 000	2 880 000	0	0	0	0	0	0
32	04/08/2020	27.4	11 420 000	5 720 000	0	0	0	0	0	5 700 000
33	14/08/2020	30.7	>3 000 000							
34	20/08/2020	31.8	2 200 000	2 200 000	0	0	0	0	0	0
35	28/08/2020	27.0	260 000	260 000	0	0	0	0	0	0
36	03/09/2020	22.8	<2000							
37	07/09/2020	27.1	98 000	64 000	0	0	0	0	0	34 000
38	18/09/2020	22.8	63 600	63 000	0	0	0	0	0	600
39	21/09/2020	23.1	29 400	14 400	0	0	0	800	0	14 200
40	02/10/2020	22.8	<200	0	0	0	0	0	0	100
41	05/10/2020	20.2	8 400	1 800	0	0	0	0	0	6 600
42	16/10/2020	19.5	4 200	1 800	0	0	0	0	0	2 400
43	19/10/2020	20.6	4 200	800	0	0	0	0	0	3 400
44	30/10/2020	20.4	1 480	1 480	0	0	0	0	0	0
45	04/11/2020	18.0	<200							
46	13/11/2020	20.6	<20							
47	16/11/2020	14.9	<200							
48	27/11/2020	21.6	14 000	0	0	0	0	0	0	6 800
49	03/12/2020	15.1	420	60	0	0	0	360	0	0
50	11/12/2020	15.8	2 960	1 340	0	0	0	0	0	1 620
51	17/12/2020	14.9	2 120	720	0	0	0	0	0	1 400
52	24/12/2020	14.0	1 800	1 800	0	0	0	0	0	0
53	28/12/2020	15.1	5 000	5 000	0	0	0	0	0	0

ANNEXE B-14 : Résultats des analyses moléculaires (PCR) réalisées sur les souches de *Vibrio* identifiées biochimiquement en 2020

Date	Point	N° souche	ID biochimique	% ID	ID moléculaire
30/12/2019	Rejet	3926-02 T1a	<i>V. parahaemolyticus</i>	83.8%	<i>V. spp</i>
30/12/2019	Rejet	3926-02 T1b	<i>V. parahaemolyticus</i>	99.7%	<i>V. parahaemolyticus</i>
27/01/2020	Rejet	255-02 T2a	<i>V. vulnificus</i>	99.2%	<i>V. vulnificus</i>
07/02/2020	Prise	397-01 T1a	<i>V. cholerae</i>	99.4%	<i>V. cholerae</i>
07/02/2020	Prise	397-01 T1b	<i>V. cholerae</i>	99.5%	<i>V. cholerae</i>
27/02/2020	Rejet	616-02 T2a	<i>V. vulnificus</i>	99.4%	<i>V. vulnificus</i>
27/02/2020	Rejet	616-02 T2b	<i>V. vulnificus</i>	99.3%	<i>V. vulnificus</i>
23/04/2020	Prise	1057-05 T3a	<i>V. vulnificus</i>	94.3%	<i>V. spp</i>
15/05/2020	Prise	1220-01 T3a	<i>V. vulnificus</i>	94.3%	<i>V. spp</i>
22/05/2020	Prise	1273-01 T2a	<i>V. vulnificus</i>	96.2%	<i>V. vulnificus</i>
22/05/2020	Prise	1273-01 T2b	<i>V. vulnificus</i>	99.4%	<i>V. vulnificus</i>
05/06/2020	Rejet	1399-02 T1a	<i>V. parahaemolyticus</i>	81.8%	<i>V. spp</i>
05/06/2020	Rejet	1399-02 T1b	<i>V. parahaemolyticus</i>	81.8%	<i>V. spp</i>
08/06/2020	Prise	1421-01	<i>V. parahaemolyticus</i>	81.8%	<i>V. spp</i>
19/06/2020	Prise	1598-01 T2a	<i>V. parahaemolyticus</i>	81.8%	<i>V. spp</i>
19/06/2020	Prise	1598-01 T2b	<i>V. parahaemolyticus</i>	81.8%	<i>V. spp</i>
22/06/2020	Prise	1617-05 T2a	<i>V. parahaemolyticus</i>	81.0%	<i>V. spp</i>
06/07/2020	Prise	1795-01 T4a	<i>V. vulnificus</i>	94.3%	<i>V. spp</i>
06/07/2020	Rejet	1795-02 T2a	<i>V. vulnificus</i>	94.3%	<i>V. spp</i>
06/07/2020	Rejet	1795-02 T2b	<i>V. vulnificus</i>	94.3%	<i>V. spp</i>
17/07/2020	Prise	1926-03 T1a	<i>V. parahaemolyticus</i>	84.2%	<i>V. spp</i>
17/07/2020	Prise	1926-03 T1b	<i>V. parahaemolyticus</i>	84.2%	<i>V. spp</i>
18/09/2020	Rejet	2637-04 T2a	<i>V. parahaemolyticus</i>	92.9%	<i>V. spp</i>
18/09/2020	Rejet	2637-04 T2b	<i>V. parahaemolyticus</i>	92.9%	<i>V. spp</i>
21/09/2020	Rejet	2657-04 T3a	<i>V. parahaemolyticus</i>	99.9%	<i>V. parahaemolyticus</i>
16/10/2020	Prise	2994-03 T2a	<i>V. parahaemolyticus</i>	81.8%	<i>V. spp</i>
16/10/2020	Rejet	2994-04 T3b	<i>V. parahaemolyticus</i>	81.8%	<i>V. spp</i>
19/10/2020	Prise	3019-01 T2b	<i>V. vulnificus</i>	97.0%	<i>V. vulnificus</i>
19/10/2020	Rejet	3019-02 T3a	<i>V. parahaemolyticus</i>	81.8%	<i>V. spp</i>
13/11/2020	Prise	3295-03 T1a	<i>V. vulnificus</i>	99.2%	<i>pas de pousse</i>
27/11/2020	Prise	3457-03	<i>V. vulnificus</i>	99.4%	<i>V. vulnificus</i>
27/11/2020	Rejet	3457-04 T3b	<i>V. parahaemolyticus</i>	81.8%	<i>V. spp</i>
03/12/2020	Rejet	3543-04 T3a	<i>V. parahaemolyticus</i>	99.9%	<i>V. parahaemolyticus</i>
03/12/2020	Rejet	3543-04 T3b	<i>V. parahaemolyticus</i>	99.9%	<i>V. parahaemolyticus</i>
11/12/2020	Rejet	3624-04 T3b	<i>V. parahaemolyticus</i>	79.6%	<i>V. spp</i>
17/12/2020	Rejet	3702-04 T2b	<i>V. parahaemolyticus</i>	81.8%	<i>V. spp</i>
28/12/2020	Prise	3776-03 T1a	<i>V. parahaemolyticus</i>	81.8%	<i>V. spp</i>

ANNEXE B-15 : Abondances des vibrions (UFC.l<sup>-1</sup>) lors des deux campagnes pélagiques 2020

Date	Heure	Point	Température (°C)	Vibrions totaux à 37°C	<i>V. alginolyticus</i>	<i>V. fluvialis</i>	<i>V. cholerae</i> Nag	<i>V. mimicus</i>	<i>V. parahaemolyticus</i>	<i>V. vulnificus</i>	<i>V. spp</i>
22/06/2020	13:00	Prise	17,2	1 720	1 320	0	0	0	0	0	400
	12:50	Rejet	27,5	5 100 000	5 100 000	0	0	0	0	0	0
	12:50	Contrôle	26,4	45 000	23 000	0	0	0	0	0	22 000
	13:30	Référence	16,6	<20							
02/09/2020	10:50	Prise	18,5	2 160	2 160	0	0	0	0	0	0
	10:14	Rejet	28,3	704 000	674 000	0	0	0	0	0	30 000
	12:50	Contrôle	26,4	<2 000							
	13:22	Référence	16,6	<20							

ANNEXE B-16 : Heure des prélèvements et volume d'eau filtré avec le filet WP2 en 2020

Date	Heure	Point	Volume filtré (m <sup>3</sup> )	
			Abondance	Biomasse
14/01/2020	13:20	Prise	48.5	22.8
07/02/2020	09:25	Prise	29.0	22.0
06/03/2020	09:18	Prise	36.4	5.5
11/05/2020	15:35	Prise	33.1	20.7
22/06/2020	13:24	Prise	4.9	3.2
22/06/2020	12:50	Contrôle	4.5	2.8
22/06/2020	13:22	Référence	5.4	5.8
20/07/2020	12:38	Prise	17.8	7.6
17/08/2020	10:47	Prise	36.3	14.9
02/09/2020	13:25	Prise	11.9	2.2
02/09/2020	12:54	Contrôle	7.0	1.9
02/09/2020	13:25	Référence	9.3	9.0
16/09/2020	12:09	Prise	10.9	11.7
22/10/2020	16:10	Prise	19.4	6.7
19/11/2020	14:10	Prise	15.5	4.1
01/12/2020	11:34	Prise	22.1	4.8

ANNEXE B-17 : Biomasse sestonique lors du suivi mensuel au point *Prise* en 2020

Date	Poids sec (mg.m <sup>-3</sup> )	Biomasse C (mg C.m <sup>-3</sup> )	Biomasse N (mg N.m <sup>-3</sup> )	Rapport C/N	% C	% N
14/01/2020	25.2	6.19	1.50	4.1	24.52	5.95
07/02/2020	25.8	4.74	1.12	4.2	18.41	4.35
06/03/2020	29.6	5.65	1.21	4.7	19.12	4.09
11/05/2020	117.1	7.74	1.43	5.4	6.61	1.22
22/06/2020	28.2	3.50	0.58	6.0	12.40	2.06
20/07/2020	100.5	27.85	8.53	3.3	27.72	8.49
17/08/2020	52.0	12.52	3.74	3.3	24.10	7.20
02/09/2020	65.4	13.37	3.60	3.7	20.45	5.51
16/09/2020	38.4	5.92	1.37	4.3	15.42	3.58
22/10/2020	134.3	21.99	5.61	3.9	16.37	4.17
19/11/2020	65.3	5.75	1.18	4.9	8.80	1.81
01/12/2020	196.9	32.22	7.53	4.3	16.36	3.83

ANNEXE B-18 : Biomasse sestonique lors des deux campagnes pélagiques annuelles en 2020

Date	Point	Biomasse (mg.m <sup>-3</sup> )	Biomasse C (mg C.m <sup>-3</sup> )	Biomasse N (mg N.m <sup>-3</sup> )	Rapport C/N	% C	% N
22/06/2020	Prise	28.2	3.50	0.58	6.0	12.40	2.06
	Contrôle	40.8	10.16	2.49	4.1	24.91	6.11
	Référence	44.2	7.75	1.31	5.9	17.54	2.97
02/09/2020	Prise	41.7	8.52	2.30	3.7	2.45	5.51
	Contrôle	174.8	6.71	10.20	3.6	21.01	5.83
	Référence	63.3	8.03	1.64	4.9	12.69	2.60

ANNEXE B-19 : Abondance de l'espèce exotique *Pseudodiaptomus marinus* en 2020

Date	Point	Stade	Sexe	Nombre compté	Abondance (ind.m <sup>-3</sup> )
14/01/2020	Prise	Adulte	Mâle	1	0.2
14/01/2020	Prise	Adulte	Femelle	4	0.7
20/07/2020	Prise	Adulte	Femelle	1	7.2
17/08/2020	Prise	Adulte	Femelle	1	3.5
17/08/2020	Prise	Adulte	Mâle	2	7.1
17/08/2020	Prise	Copépodite	ND	7	24.7
02/09/2020	Contrôle	Copépodite	ND	1	4.6
02/09/2020	Prise	Adulte	Mâle	1	2.7
02/09/2020	Prise	Copépodite	ND	2	5.4
16/09/2020	Prise	Copépodite	ND	3	2.2
22/10/2020	Prise	Copépodite	ND	27	44.4
19/11/2020	Prise	Copépodite	ND	9	9.3
19/11/2020	Prise	Adulte	Mâle	4	4.1
01/12/2020	Prise	Adulte	Mâle	2	2.9
01/12/2020	Prise	Adulte	Femelle	1	1.4

## C. DOMAINE BENTHIQUE

ANNEXE C-1 : Densités (ind.m<sup>-2</sup>) au point B

Densité (ind.m <sup>-2</sup> )	S1	S2	S3	S4
<i>Abludomelita obtusata</i>	2	6	232	66
<i>Abra alba</i>	381	535	124	2780
<i>Acrocrida brachiata</i>				4
<i>Ampharete acutifrons</i>	2	2		2
<i>Anapagurus hyndmanni</i>	3			
<i>Aonides oxycephala</i>	2	6	1	5
<i>Apseudopsis latreilli</i>			1	1
<i>Bodotria scorpioides</i>			24	2
<i>Capitella sp.</i>	105	2142	361	1432
<i>Caulleriella alata</i>	27	9	11	50
<i>Chaetozone gibber</i>	64	69	3	153
<i>Cirratulus cirratus</i>				84
<i>Copepoda</i>		511	6	
<i>Crangon crangon</i>		45	34	9
<i>Cumopsis goodsir</i>	1			
<i>Decapoda</i>		319	17	35
<i>Echinodermata (larvae)</i>		460		
<i>Diastylis bradyi</i>	1	4	5	1
<i>Diogenes pugilator</i>			15	
<i>Donax vittatus</i>			3	
<i>Endeis laevis</i>				1
<i>Ensis leei</i>	37	77	82	165
<i>Eteone longa</i>	21	32	8	39
<i>Eteone picta</i>		4		4
<i>Eulalia bilineata</i>	1			2
<i>Eumida sanguinea</i>	257	395	419	1077
<i>Eunereis longissima</i>		32	52	47
<i>Euspira nitida</i>		2		1
<i>Fabulina fabula</i>	14	202	125	320
<i>Gammarus salinus</i>		1		
<i>Gastrosaccus sanctus</i>	1			
<i>Glycera tridactyla</i>	52	46	13	311
<i>Harmothoe sp.</i>	28	38	3	104
<i>Iphinoe trispinosa</i>			1	
<i>Ischyrocerus anguipes</i>		35		
<i>Kurtiella bidentata</i>	340	1305	560	1874
<i>Lagis koreni</i>	7	1	20	26
<i>Lanice conchilega</i>	36	6437	1646	3147
<i>Leucothoe incisa</i>	11	19	25	27
<i>Limecola balthica</i>	6	22	4	77
<i>Liocarcinus vernalis</i>	3	1	10	24
<i>Lumbrineris tetraura</i>	2			
<i>Lutraria lutraria</i>	3			2
<i>Macropodia rostrata</i>				1
<i>Magelona johnstoni</i>	2	240	466	43
<i>Mesopodopsis slabberi</i>	1	18		
<i>Monacorchus sextonae</i>	2	2		4
<i>Mytilus edulis</i>			14	4
<i>Nemertea</i>	68	155	122	127
<i>Nephtys assimilis</i>	1	2	4	
<i>Nephtys cirrosa</i>	10	4	4	
<i>Nephtys hombergii</i>	12	26	10	100
<i>Notomastus latericeus</i>	20	172	45	314
<i>Nototropis falcatus</i>		1		
<i>Nototropis swammerdamei</i>	4	9	71	
<i>Nudibranchia</i>		1		
<i>Oligochaeta</i>	819	1882	1669	1173
<i>Ophiura albida</i>	139	71	47	116
<i>Ophiura sp.</i>	184		95	248
<i>Owenia fusiformis</i>	271	226	70	511
<i>Palaemon sp.</i>				2
<i>Pariambus typicus</i>	244	88	118	13
<i>Pholoe baltica</i>	51	64	4	102

Densité (ind.m <sup>-2</sup> )	S1	S2	S3	S4
<i>Photis longicaudata</i>	4	11	108	3
<i>Phtisica marina</i>		1		
<i>Phyllodoce groenlandica</i>		11	2	2
<i>Phyllodoce mucosa</i>	19	75	35	337
<i>Pinnotheres pisum</i>	1	1		4
Poisson (larvae)		3		
<i>Pontocrates arenarius</i>	1			
<i>Pseudocuma longicorne</i>		1		
<i>Pseudopolydora pulchra</i>				29
<i>Schistomysis kervillei</i>	2	10	3	1
<i>Sigalion squamosus</i>	6	30	10	30
<i>Spio martinensis</i>	6	58	35	
<i>Spiophanes bombyx</i>	171	2103	727	584
<i>Spisula subtruncata</i>	53	25	22	30
<i>Spirobranchus lamarcki</i>				3
<i>Stenothoe marina</i>		3	10	
<i>Sthenelais boa</i>	1	1		65
<i>Syllidae sp.</i>	4	13	11	20
<i>Tritia reticulata</i>	43	33	14	45
<i>Tryphosa nana</i>			2	1
<i>Venerupis corrugata</i>	4	8	1	69
<i>Urothoe brevicornis</i>			2	
<i>Urothoe poseidonis</i>		53	58	34
<b>Total</b>	<b>3550</b>	<b>18158</b>	<b>7584</b>	<b>15887</b>

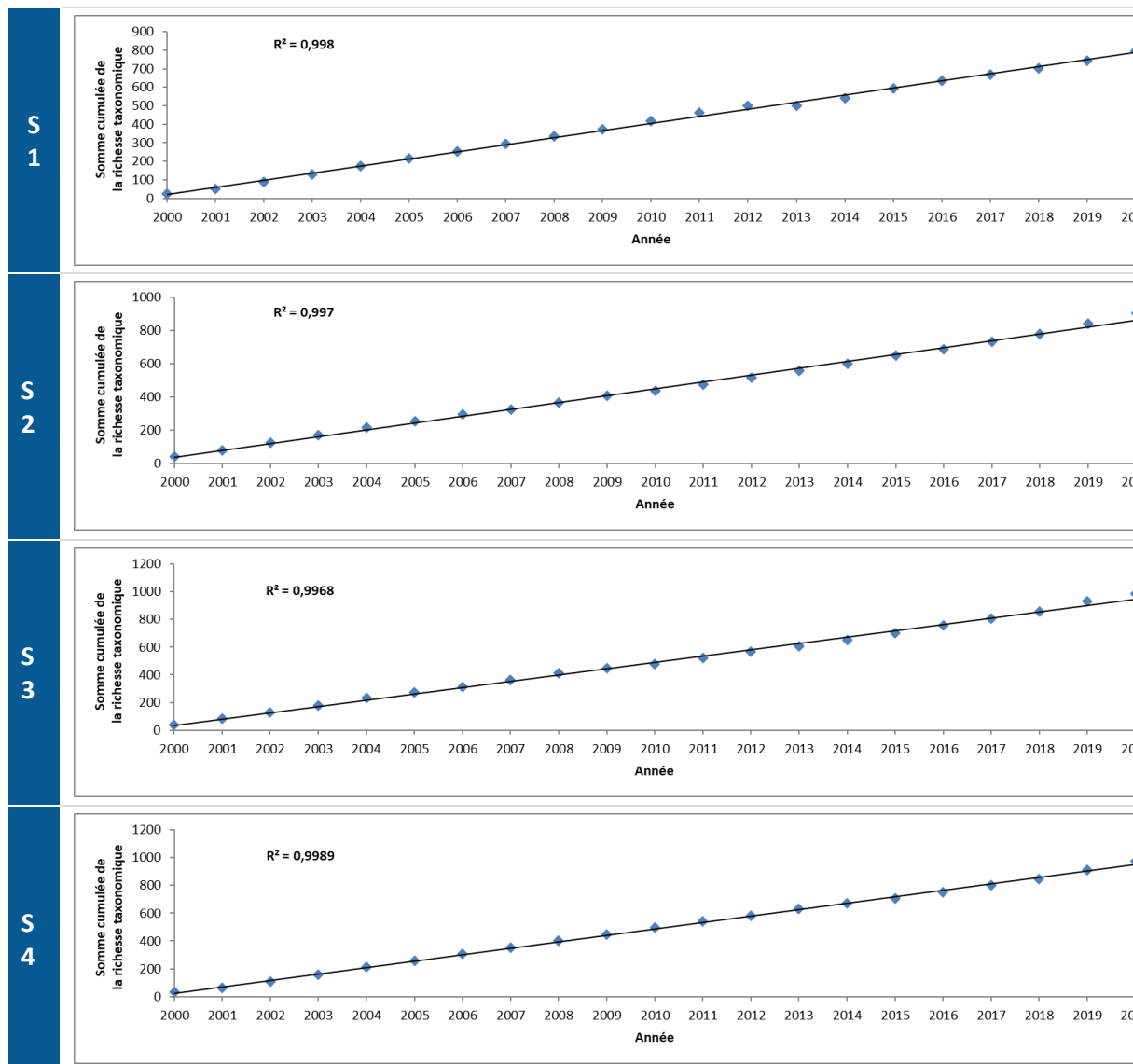
ANNEXE C-2 : Biomasses (g PLSC.m<sup>-2</sup>) au point B

Biomasse (g PLSC.m <sup>-2</sup> )	S1	S2	S3	S4
<i>Abludomelita obtusata</i>	0,0001	0,0002	0,0208	0,0073
<i>Abra alba</i>	1,4000	13,2386	1,5019	29,1198
<i>Acrocrida brachiata</i>				0,2915
<i>Ampharete acutifrons</i>	0,0092	0,2082		0,0232
<i>Anapagurus hyndmanni</i>	0,0655			
<i>Aonides oxycephala</i>	0,0011	0,0017	0,0001	0,0020
<i>Apseudopsis latreilli</i>			0,0000	0,0000
<i>Bodotria scorpioides</i>			0,0017	0,0002
<i>Capitella sp.</i>	0,0130	0,2253	0,0234	0,2562
<i>Caulierella alata</i>	0,0094	0,0082	0,0024	0,0117
<i>Chaetozone gibber</i>	0,0182	0,0205	0,0005	0,0144
<i>Cirratulus cirratus</i>				0,1690
<i>Copepoda</i>		0,0088	0,0001	
<i>Crangon crangon</i>		0,0549	0,4798	0,2524
<i>Cumopsis goodsir</i>	0,0003			
<i>Decapoda</i>		0,2083	0,0132	0,1035
<i>Diastylis bradyi</i>	0,0002	0,0031	0,0010	0,0001
<i>Diogenes pugilator</i>			0,8610	
<i>Donax vittatus</i>			0,0002	
<i>Echinodermata (larvae)</i>		0,0168		
<i>Endeis laevis</i>				0,0006
<i>Ensis leei</i>	6,6100	22,3100	21,2200	54,3500
<i>Eteone longa</i>	0,0110	0,0087	0,0014	0,0074
<i>Eteone picta</i>		0,0011		0,0146
<i>Eulalia bilineata</i>	0,0005			0,0000
<i>Eumida sanguinea</i>	0,1402	0,0529	0,0852	0,1538
<i>Eunereis longissima</i>		0,0331	0,1419	2,0987
<i>Euspira nitida</i>		0,0822		0,0049
<i>Fabulina fabula</i>	0,1524	6,2440	2,5551	7,2280
<i>Gammarus salinus</i>		0,0011		
<i>Gastrosaccus sanctus</i>	0,0037			
<i>Glycera tridactyla</i>	0,3741	0,5832	0,1590	0,4147
<i>Harmothoe sp.</i>	0,0172	0,0202	0,0066	0,1158
<i>Iphinoe trispinosa</i>			0,0001	
<i>Ischyrocerus anguipes</i>		0,0015		
<i>Kurtiella bidentata</i>	0,0315	0,3128	0,0605	0,3467
<i>Lagis koreni</i>	0,0865	0,0005	0,0751	0,2383
<i>Lanice conchilega</i>	0,1704	1,7067	3,2967	14,6112
<i>Leucothoe incisa</i>	0,0022	0,0038	0,0030	0,0040



Biomasse (g PLSC.m <sup>-2</sup> )	S1	S2	S3	S4
<i>Limecola balthica</i>	0,4912	2,8876	0,7992	9,6467
<i>Liocarcinus vernalis</i>	1,2224	0,0501	3,2206	1,0929
<i>Lumbrineris tetraura</i>	0,0003			
<i>Lutraria lutraria</i>	0,0345			0,0060
<i>Macropodia rostrata</i>				0,0600
<i>Magelona johnstoni</i>	0,00327	0,01606	0,04629	0,00355
<i>Mesopodopsis slabberi</i>	0,00053	0,00161	0,00051	
<i>Monacorchium sextonae</i>	2E-05	0,00039		0,00023
<i>Mytilus edulis</i>			0,00682	6E-05
<i>Nemertea</i>	0,02755	0,50252	0,16723	0,37587
<i>Nephtys assimilis</i>	0,06688	0,18668	1,53862	
<i>Nephtys cirrosa</i>	0,0162	0,01128	0,00846	
<i>Nephtys hombergii</i>	0,18984	0,73401	0,21171	0,69344
<i>Notomastus latericeus</i>	0,05202	2,33274	0,4633	2,92226
<i>Nototropis falcatus</i>		0,00021		
<i>Nototropis swammerdamei</i>	0,00038	0,00327	0,00473	
<i>Nudibranche</i>		0,05568		
<i>Oligochaeta</i>	0,02316	0,06525	0,04222	0,0254
<i>Ophiura albida</i>	1,94	1,66964	1,70856	3,29805
<i>Ophiura sp.</i>	0,42827		0,00167	0,15318
<i>Owenia fusiformis</i>	0,94294	3,09715	1,10477	7,14401
<i>Palaemon sp.</i>				0,00401
<i>Pariambus typicus</i>	0,0106	0,00574	0,00328	0,00035
<i>Pholoe baltica</i>	0,00708	0,02759	0,00133	0,04924
<i>Photis longicaudata</i>	5E-05	0,00075	0,00229	0,00016
<i>Phtisica marina</i>		0,00016		
<i>Phyllodoce groenlandica</i>		0,00531	0,06606	0,00742
<i>Phyllodoce mucosa</i>	0,02578	0,00476	0,00784	0,24797
<i>Pinnotheres pisum</i>	0,00034	0,00069		0,00857
<i>Poisson (larvae)</i>		0,00869		
<i>Pontocrates arenarius</i>	2E-05			
<i>Pseudocuma longicorne</i>		0,00017		
<i>Pseudopolydora pulchra</i>				0,01061
<i>Schistomysis kervillei</i>	0,00458	0,00787	0,00163	0,00049
<i>Sigalion squamosus</i>	0,02137	0,34959	0,11705	0,28126
<i>Spio martinensis</i>	0,00066	0,00822	0,00207	
<i>Spiophanes bombyx</i>	0,07482	0,14703	0,08567	0,13033
<i>Spirobranchus lamarcki</i>				6E-05
<i>Spisula subtruncata</i>	3,55	4,53321	3,0654	5,89656
<i>Stenothoe marina</i>		2E-05	0,00018	
<i>Sthenelais boa</i>	0,05234	0,10195		0,16593
<i>Syllidae sp.</i>	5E-05	0,0003	8E-05	0,0005
<i>Tritia reticulata</i>	5,98	2,96082	2,25333	8,33536
<i>Tryphosa nana</i>			7E-05	9E-05
<i>Venerupis corrugata</i>	0,07067	0,17025	0,0002	1,25877
<i>Urothoe brevicornis</i>			5E-05	
<i>Urothoe poseidonis</i>		0,01247	0,01214	0,01091
<b>Total</b>	<b>24,35</b>	<b>65,32</b>	<b>45,45</b>	<b>151,67</b>

ANNEXE C-3 : Somme cumulée de la richesse spécifique au point B lors des quatre campagnes saisonnières de 2000 à 2020



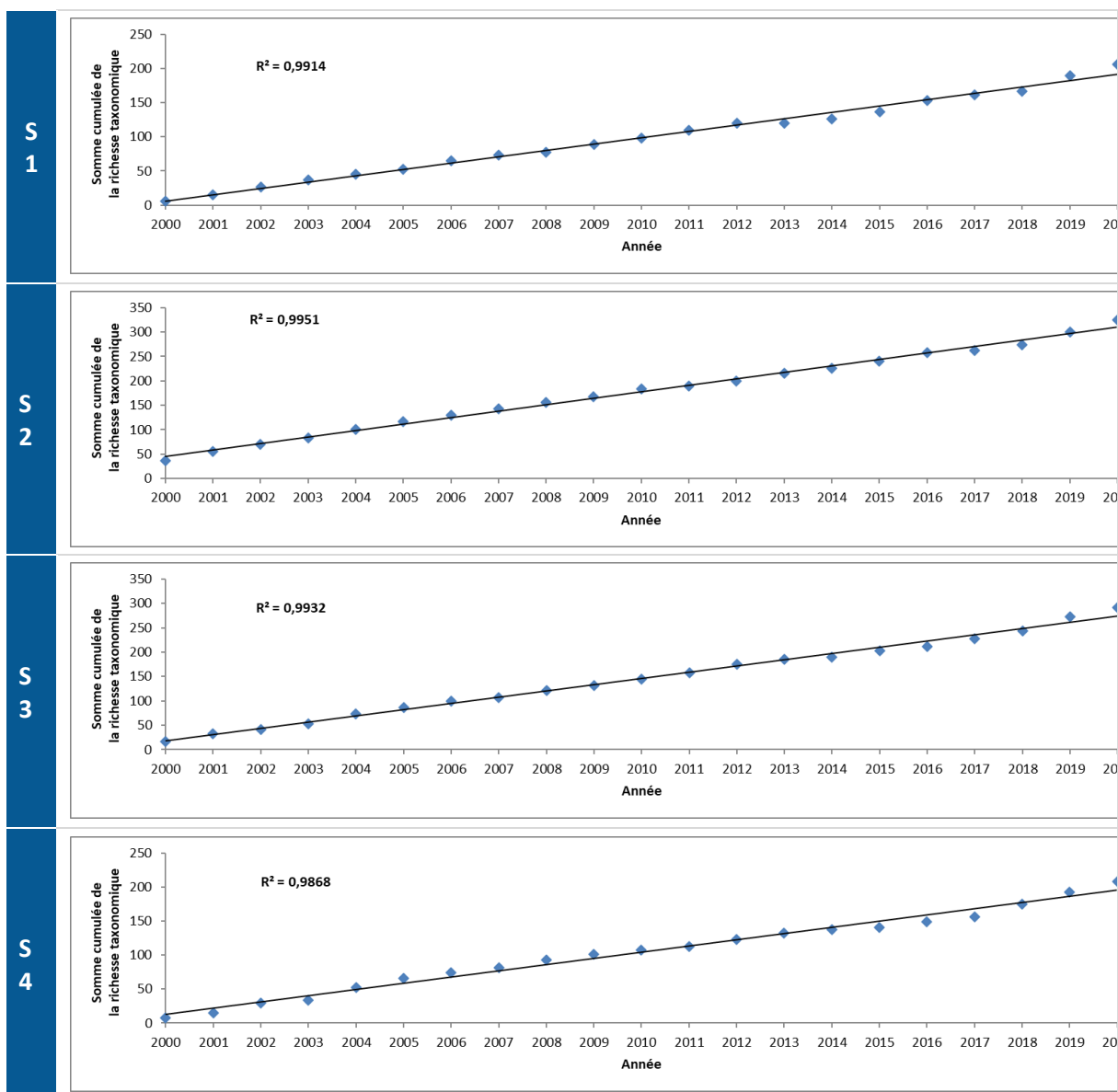
ANNEXE C-4 : Densités (ind.m<sup>-2</sup>) au point C

Densité (ind.m <sup>2</sup> )	S1	S2	S3	S4
<i>Abludomelita obtusata</i>			1	
<i>Abra alba</i>				1
<i>Apseudopsis latreilli</i>	1			
<i>Bathyporeia elegans</i>		16	11	1
<i>Bathyporeia pelagica</i>			6	
<i>Capitella sp.</i>		13	1	2
<i>Copepoda</i>		93	5	
<i>Crangon crangon</i>		3	3	
<i>Cumopsis goodsir</i>	2			
<i>Decapoda</i>		29		
<i>Diogenes pugilator</i>				2
<i>Donax vittatus</i>		2	2	
<i>Ensis leei</i>	1		1	
<i>Eteone longa</i>		1	1	
<i>Eumida sanguinea</i>			1	
<i>Fabulina fabula</i>	1			
<i>Gastrosaccus spinifer</i>		7		
<i>Jassa marmorata</i>	1	4	1	
<i>Kurtiella bidentata</i>		2		
<i>Lanice conchilega</i>	1	249	2	
<i>Limecola balthica</i>	3			
<i>Lumbrineris tetraura</i>	1	1		
<i>Magelona johnstoni</i>	1	24	24	5
<i>Mesopodopsis slabberi</i>			1	
<i>Monocorophium sextonae</i>		1		
<i>Nemertea</i>		1		2
<i>Nephtys cirrosa</i>	33	45	55	75
<i>Nephtys hombergii</i>	1			
<i>Oligochaeta</i>		1		
<i>Ophiura albida</i>	3	2		4
<i>Ophiura sp.</i>	1		1	3
<i>Pariambus typicus</i>		1		
<i>Pholoe balthica</i>				1
<i>Phyllodoce mucosa</i>				1
<i>Pontocrates altamarinus</i>	3	1		3
<i>Portunus latipes</i>	1	5	5	10
<i>Scolecopsis squamata</i>	10	7		
<i>Spio martinensis</i>		13	8	27
<i>Spiophanes bombyx</i>		58	5	1
<i>Urothoe brevicornis</i>			1	
<b>Total</b>	<b>64</b>	<b>579</b>	<b>135</b>	<b>138</b>

ANNEXE C-5 : Biomasses (g PLSC.m<sup>-2</sup>) au point C

Biomasse (g PLSC.m <sup>-2</sup> )	S1	S2	S3	S4
<i>Abludomelita obtusata</i>			0,0000	
<i>Abra alba</i>				0,0090
<i>Apseudopsis latreilli</i>	0,0000			
<i>Bathyporeia elegans</i>		0,0038	0,0020	0,0003
<i>Bathyporeia pelagica</i>			0,0012	
<i>Capitella sp.</i>		0,0005	0,0001	0,0002
<i>Copepoda</i>		0,0019	0,0000	
<i>Crangon crangon</i>		0,1249	0,0229	
<i>Cumopsis goodsir</i>	0,0004			
<i>Decapoda</i>				0,1329
<i>Diogenes pugilator</i>		0,0531	0,0001	
<i>Donax vittatus</i>	0,1549		0,0025	
<i>Ensis leei</i>		0,0000	0,0001	
<i>Eteone longa</i>			0,0000	
<i>Eumida sanguinea</i>	0,0296			
<i>Fabulina fabula</i>		0,0194		
<i>Gastrosaccus spinifer</i>	0,0001	0,0002	0,0000	
<i>Jassa marmorata</i>		0,0002		
<i>Kurtiella bidentata</i>	0,0021	0,0500	0,0075	
<i>Lanice conchilega</i>		0,0031		
<i>Limecola balthica</i>	0,2340			
<i>Lumbrineris tetraura</i>	0,0482	0,1672		
<i>Magelona johnstoni</i>	0,0071	0,0052	0,0173	0,0008
<i>Mesopodopsis slabberi</i>			0,0000	
<i>Monocorophium sextonae</i>		0,0001		
<i>Nemertea</i>		0,0036		0,0148
<i>Nephtys cirrosa</i>	0,1639	0,2909	0,3527	0,5446
<i>Nephtys hombergii</i>	0,0879			
<i>Oligochaeta</i>		0,0002		
<i>Ophiura albida</i>	0,0431	0,0282		0,0113
<i>Ophiura sp.</i>	0,0000		0,0001	0,0006
<i>Pariambus typicus</i>		0,0001		
<i>Pholoe balthica</i>				0,0001
<i>Phyllodoce mucosa</i>				0,0012
<i>Pontocrates altamarinus</i>	0,0011	0,0001		0,0010
<i>Portunus latipes</i>	0,0469	0,1539	0,7571	0,0151
<i>Scolecopsis squamata</i>	0,0071	0,0074		
<i>Spio martinensis</i>		0,0023	0,0015	0,0028
<i>Spiophanes bombyx</i>		0,0042	0,0017	0,0002
<i>Urothoe brevicornis</i>			0,0001	
<b>Total</b>	<b>0,83</b>	<b>0,92</b>	<b>1,17</b>	<b>0,73</b>

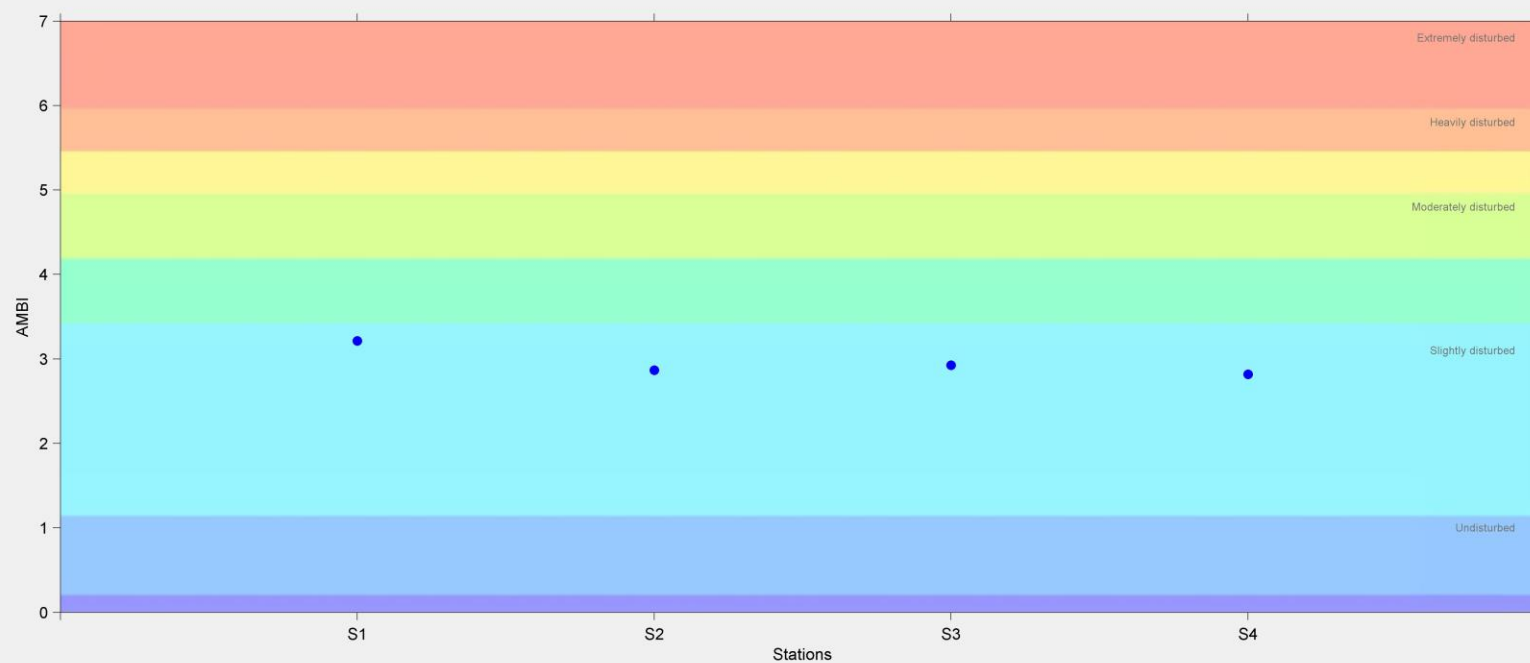
ANNEXE C-6 : Somme cumulée de la richesse spécifique au point C lors des quatre campagnes saisonnières de 2000 à 2020



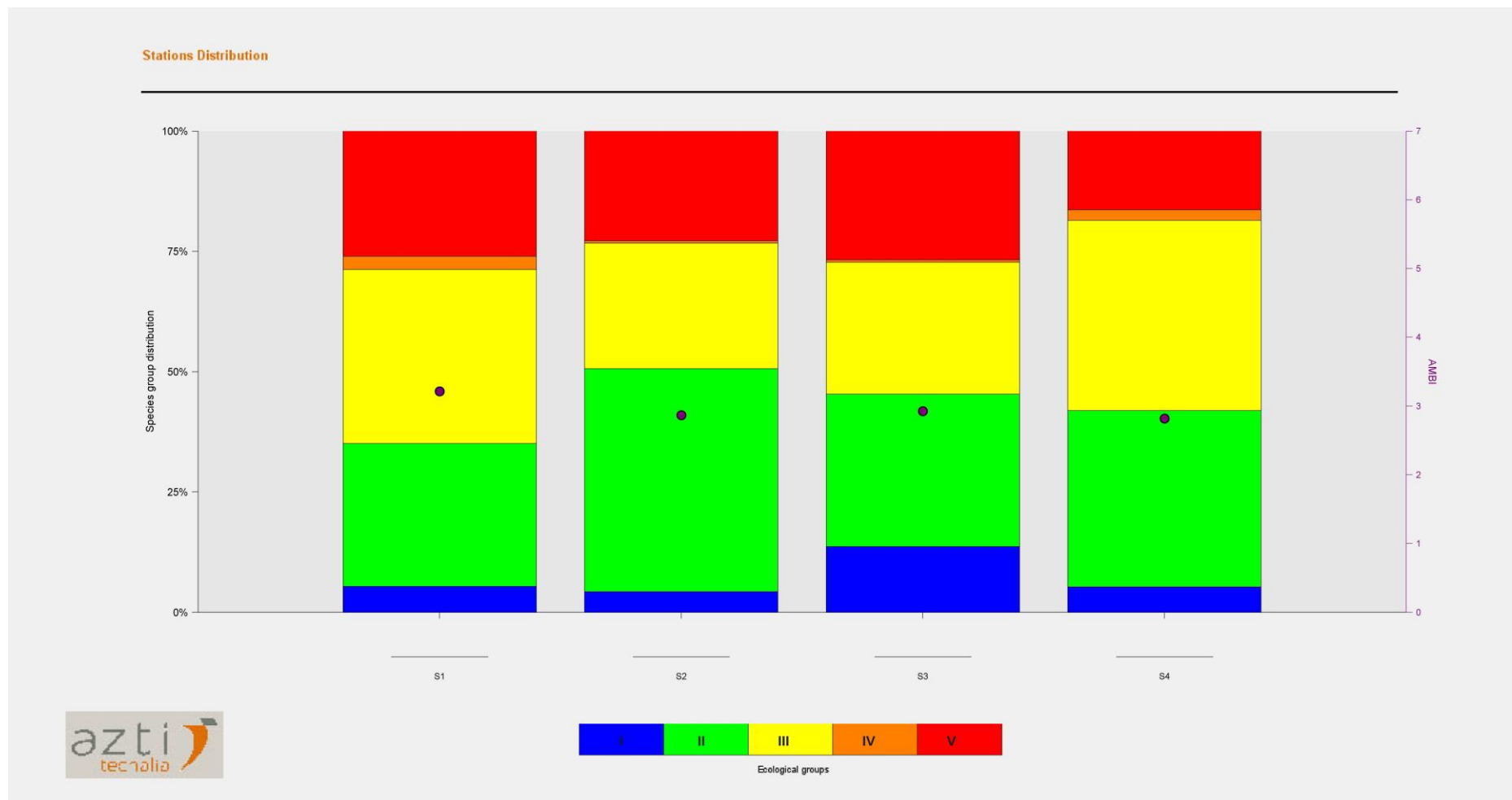
ANNEXE C-7 : AMBI et état écologique au point B pour chaque période de prélèvement en 2020 (S1 = février 2020 ; S2 = mai 2020 ; S3 = juillet 2020 ; S4 = septembre 2020)



## Stations Distribution



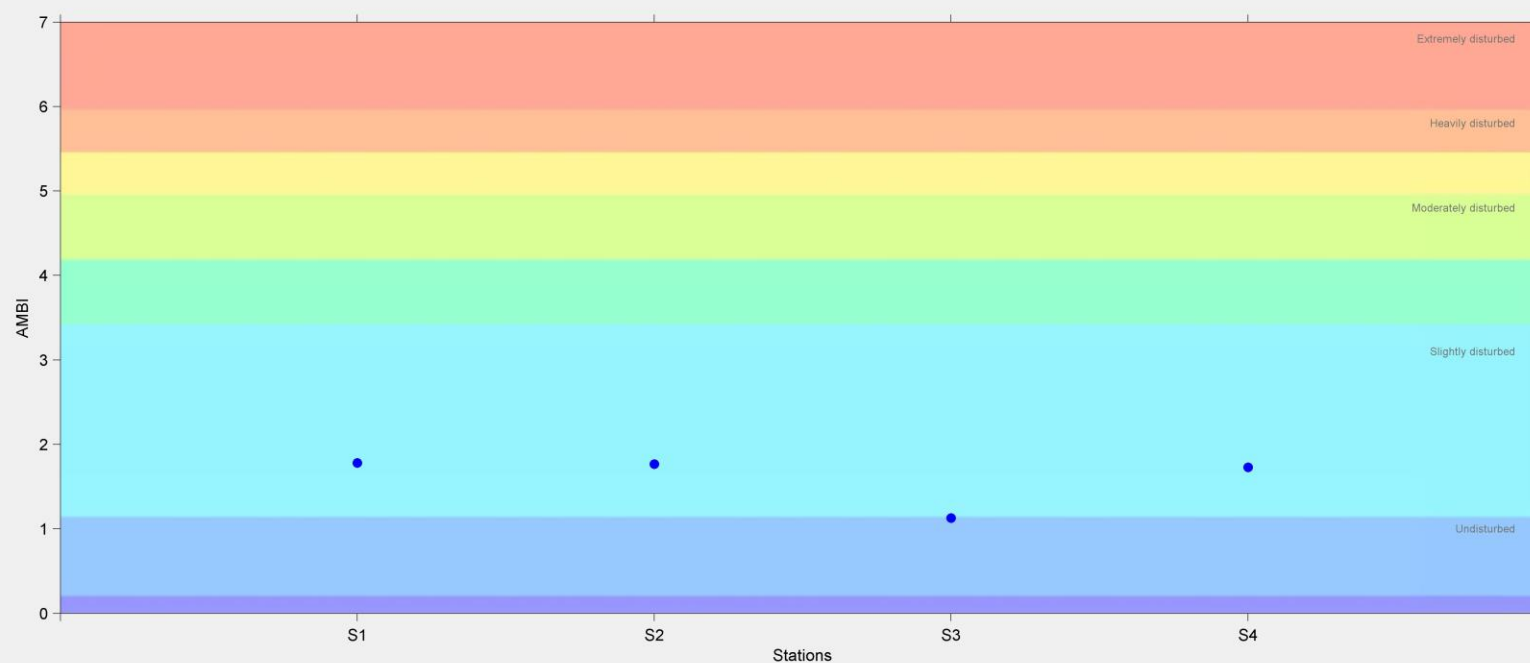
ANNEXE C-8 : Groupes écologiques (%) au point B pour chaque période de prélèvement en 2020 (S1 = février 2020 ; S2 = mai 2020 ; S3 = juillet 2020 ; S4 = septembre 2020)



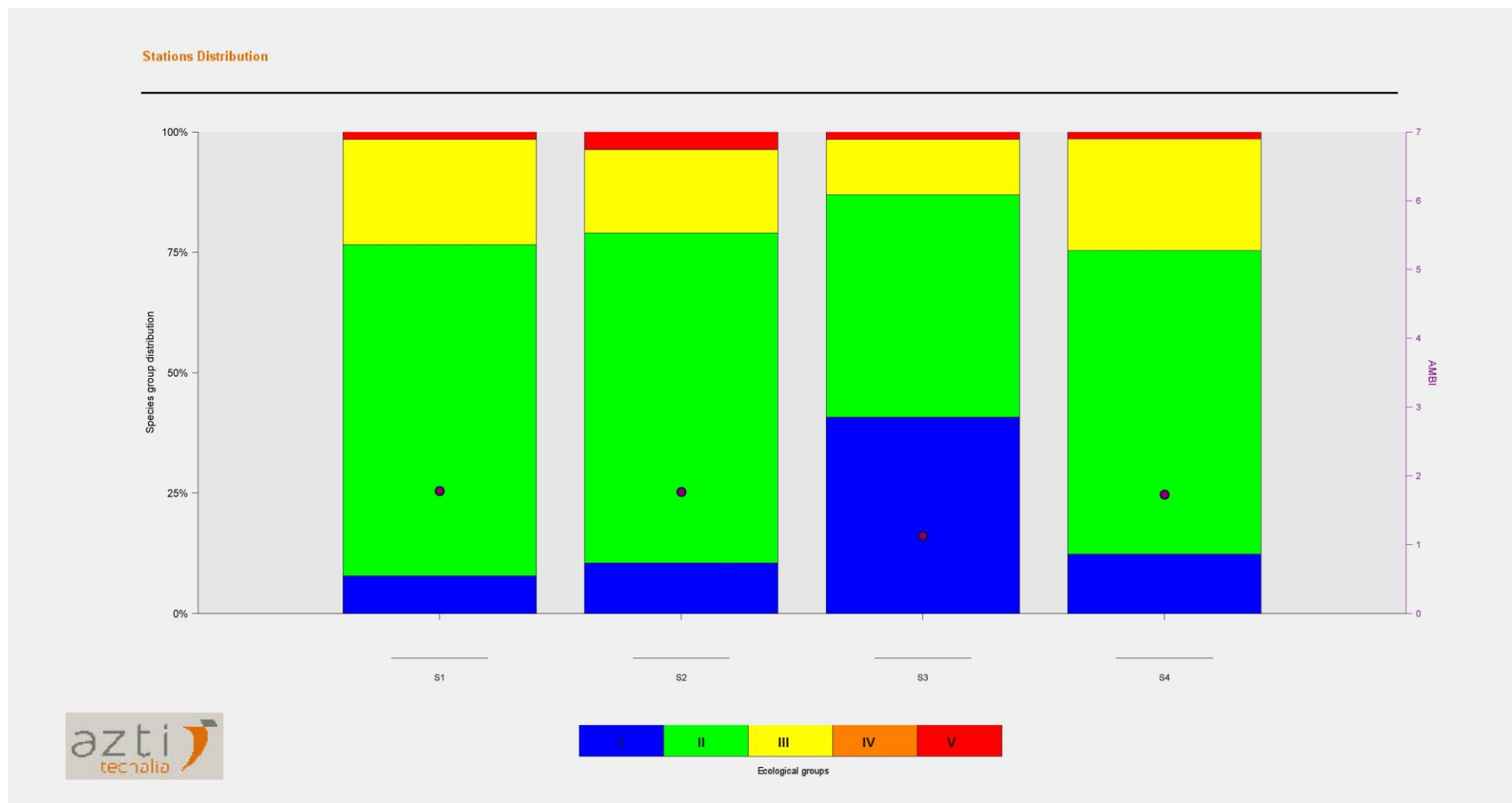


ANNEXE C-9 : AMBI et état écologique au point C pour chaque période de prélèvement en 2020 (S1 = février 2020 ; S2 = mai 2020 ; S3 = juillet 2020 ; S4 = septembre 2020)

## Stations Distribution



ANNEXE C-10 : Groupes écologiques (%) au point C pour chaque période de prélèvement en 2020 (S1 = février 2020 ; S2 = mai 2020 ; S3 = juillet 2020 ; S4 = septembre 2020)



ANNEXE C-11 : Coordonnées des 10 stations intertidales (WGS 84 et L1)

Radiale	Station	Date	Heure début	Heure fin	X (L1)	Y (L1)	Latitude (WGS84, degrés décimaux)	Longitude (WGS84, degrés décimaux)
1	E	08/06/2020	08:30	09:42	637317	7101561	N 51.00666	E 2.10887
1	F	08/06/2020	12:00	12:42	637069	7101807	N 51.00884	E 2.10530
1	G	08/06/2020	11:03	11:49	636837	7102182	N 51.01218	E 2.10194
1	H	08/06/2020	10:05	10:55	636606	7102467	N 51.01471	E 2.09861
2	I	08/06/2020	08:55	09:50	638168	7102079	N 51.01139	E 2.12088
2	J	08/06/2020	11:33	12:11	638070	7102283	N 51.01321	E 2.11946
2	K	08/06/2020	10:55	11:26	637887	7102545	N 51.01554	E 2.11681
2	L	08/06/2020	10:00	10:50	637710	7102742	N 51.01729	E 2.11427
3	M	08/06/2020	12:54	13:30	637792	7101899	N 51.00974	E 2.11557
3	N	08/06/2020	12:25	13:00	637645	7102057	N 51.01114	E 2.11345

ANNEXE C-12 : Analyses granulométriques du sédiment aux 10 stations intertidales

Maille carré (mm)	Poids sec (g) par station									
	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
6,3	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	1.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.6
4	0.2	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
3,15	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.6
2,5	0.1	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.9
2	0.2	0.1	0.3	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.1	1.3
1,6	0.2	0.2	0.6	0.1	0.0	0.1	0.0	0.3	0.1	1.6
1,25	0.2	0.4	1.0	0.1	0.1	0.3	0.1	0.6	0.1	2.6
1	0.1	0.6	0.9	0.1	0.2	0.5	0.1	0.6	0.2	2.0
0,8	0.2	0.8	0.9	0.1	0.4	0.6	0.1	0.5	0.4	1.6
0,63	0.6	1.9	1.8	0.4	1.2	1.6	0.2	1.0	1.2	2.3
0,5	1.3	3.0	2.9	0.7	1.9	2.8	0.5	1.3	2.4	2.2
0,4	2.6	5.2	5.0	1.5	3.3	4.7	1.4	1.8	4.8	2.9
0,315	5.7	9.3	8.3	3.5	5.9	7.8	3.0	2.5	8.4	4.4
0,25	18.5	25.1	22.1	14.0	17.5	20.5	9.6	6.2	26.2	13.1
0,2	46.9	91.9	54.0	59.6	56.0	51.0	32.5	21.6	88.6	43.8
0,16	89.1	159.6	113.4	149.8	109.0	111.9	94.9	152.3	136.0	126.6
0,125	16.0	20.7	16.4	19.0	15.9	17.3	11.4	29.9	18.2	22.1
0,1	12.8	2.1	0.6	2.0	2.6	1.5	0.5	4.6	3.5	3.1
0,08	10.2	0.8	0.1	0.5	1.5	0.3	0.1	0.7	2.8	0.7
0,063	17.2	0.6	0.1	0.2	1.6	0.2	0.0	0.3	4.0	0.5
<0,063	16.4	0.9	0.3	0.8	3.4	0.6	0.2	0.3	4.6	1.5
Total	238.7	323.3	230.5	252.6	220.8	221.9	154.7	225.2	301.7	236.1

ANNEXE C-13 : Densités de la faune aux 10 stations intertidales en 2020 (ind.m<sup>-2</sup>)

Taxa	Transect 1				Transect 3				Transect 2	
	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
<i>Asterina phylactica</i>								4		
<i>Bathyporeia pelagica</i>				23			27			
<i>Bathyporeia pilosa</i>	31	4062	88	12	38	27	65		31	819
<i>Bathyporeia sarsi</i>							19			
<i>Bodotria scorpioides</i>								12		
<i>Cerastoderma edule</i>		12								
<i>Corophium arenarium</i>	323	35		4	3004	62			38	435
<i>Crangon crangon</i>	38	42	8	4				92		
<i>Dolichopodidae</i>										4
<i>Eteone longa</i>		15		4						4
<i>Eurydice affinis</i>	35	15		12	35				69	142
<i>Eurydice pulchra</i>	12		4		123	15	4	4		69
<i>Gammarus salinus</i>								31		
<i>Gastrosaccus spinifer</i>								8		
<i>Haustorius arenarius</i>				8			65			
<i>Hediste diversicolor</i>		46								
<i>Jassa falcata</i>								4		
<i>Lanice conchilega</i>							169	458		
<i>Larve diptère</i>					19				4	4
<i>Limecola balthica</i>		27		4						
<i>Magelona johnstoni</i>								8		
<i>Nematoda</i>		485			4				4	23
<i>Nemertea</i>			54							
<i>Nephtys cirrosa</i>				58			8	77		
<i>Oligochaeta</i>		119		4	15			4	4	
<i>Ophelia rathkei</i>			135							
<i>Peringia ulvae</i>	573	1615		4	708	19			577	92
<i>Portunus latipes</i>								4		
<i>Pygospio elegans</i>	4	1054	8		19					85
<i>Scolecopsis (Scolecopsis) squamata</i>		69	123				4			
<i>Spio martinensis</i>				31				27		
<i>Spiophanes bombyx</i>			4	4				4		
<i>Urothoe poseidonis</i>								8		

ANNEXE C-14 : Biomasse de la faune aux 10 stations intertidales en 2020 (mg.m<sup>-2</sup>). Les nm correspondent soit à un individu mis en collection et donc non pesé, soit à une valeur trop petite pour être détectée au seuil de la balance de précision.

Taxa	Transect 1				Transect 3				Transect 2	
	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
<i>Asterina phylactica</i>								nm		
<i>Bathyporeia pelagica</i>				5			8			
<i>Bathyporeia pilosa</i>	8	1092	20	4	10	10	22		9	176
<i>Bathyporeia sarsi</i>							10			
<i>Bodotria scorpioides</i>								1		
<i>Cerastoderma edule</i>		563								
<i>Corophium arenarium</i>	134	12		3	977	29			9	229
<i>Crangon crangon</i>	7	32	8	1				335		
<i>Dolichopodidae</i>										13
<i>Eteone longa</i>		26		nm						nm
<i>Eurydice affinis</i>	10	5		3	10				13	34
<i>Eurydice pulchra</i>	7		2		57	10	1	1		23
<i>Gammarus salinus</i>								36		
<i>Gastrosaccus spinifer</i>								5		
<i>Haustorius arenarius</i>				32			66			
<i>Hediste diversicolor</i>		565								
<i>Jassa falcata</i>								nm		
<i>Lanice conchilega</i>							140	283		
<i>Larve diptère</i>					18				2	2
<i>Limecola balthica</i>		351		353						
<i>Magelona johnstoni</i>								nm		
<i>Nematoda</i>		9			nm				nm	nm
<i>Nemertea</i>			47							
<i>Nephtys cirrosa</i>				315			79	473		
<i>Oligochaeta</i>		2		nm	1			nm	nm	
<i>Ophelia rathkei</i>			20							
<i>Peringia ulvae</i>	288	581		1	633	15			494	75
<i>Portunus latipes</i>								339		
<i>Pygospio elegans</i>	nm	55	nm		nm					4
<i>Scolecopsis (Scolecopsis) squamata</i>		442	879				3			
<i>Spio martinensis</i>				3				3		
<i>Spiophanes bombyx</i>			nm	nm				nm		
<i>Urothoe poseidonis</i>								5		