



Surveillance écologique et halieutique du site Électronucléaire de Penly.

ANNEE 2023



Convention de marché EDF n° : C3499C0490
Commande d'exécution : 5100-4210281480

FICHE DOCUMENTAIRE

Type de rapport : RST (Rapports de résultats de recherches Scientifiques et/ou Techniques)	
Numéro d'identification du rapport : RST/RBE/HMMN/LRHPEB/24-01	Date de publication : mai 24
Diffusion : Restreinte (accès à la demande)	Nombre de pages : 164
Validé par : [REDACTED]	Bibliographie : Oui
Adresse électronique : [REDACTED]	Illustration(s) : Oui
	Langue du rapport : Français
TITRE : SURVEILLANCE ÉCOLOGIQUE ET HALIEUTIQUE DU SITE ÉLECTRONUCLÉAIRE DE PENLY : Année 2023	
Auteur(s) principal(aux) : nom, prénom [REDACTED]	Organisme/Direction/ Service, laboratoire Ifremer / RBE / HMMN /LRHPB Ifremer / ODE / UL / LER-N Ifremer / ODE / LITTORAL-LERAR Ifremer / ODE / UL / LER-N Ifremer / ODE / UL / LER-N Ifremer / RBE / HMMN / LRHB Ifremer / ODE / UL / LER-N Ifremer / ODE / UL / LER-N Ifremer / ODE / UL / LER-N Ifremer / ODE / UL / LER-N
Collaborateur(s) : nom, prénom [REDACTED]	Organisme / Direction / Service, laboratoire IFREMER / RBE / PHYTNESSE IFREMER / ODE / LER / LERN IFREMER / ODE / DYNECO / PELAGOS IFREMER / ODE / DYNECO / PELAGOS IFREMER / ODE / DYNECO / PELAGOS IFREMER / RBE / HMMN / LRHB IFREMER / ODE / LER / LERN IFREMER / RBE / HMMN / LRHPEB IFREMER / RBE / HMMN / LRHPEB IFREMER / RBE / HMMN / LRHB
Organisme commanditaire : nom développé, sigle, adresse Électricité de France (EDF) – 22-30 Av de Wagram – 75 008 PARIS	
Organisme(s) réalisateur(s) : nom(s) développé(s), sigle(s), adresse(s) Ifremer Station de Port-en-Bessin, Av. du Général de Gaulle, 14 520 Port-en-Bessin Ifremer HMNN-RH-Port-en-Bessin, Station de Port-en-Bessin, Av. du Général de Gaulle, 14 520 Port-en-Bessin Ifremer LER-Normandie, Station de Port-en-Bessin, Av. du Général de Gaulle, 14 520 Port-en-Bessin Ifremer LER-Boulogne, 150, quai Gambetta, BP 699, 62321 Boulogne-sur-Mer, France LABEO, 1 route de Rosel- Saint Contest - 14 053 Caen Cedex 4 SGS France Techn. du Madrillet - 65 rue Ettore BUGATI - 76 801 Saint Etienne du Rouvray Cedex GEMEL, 15 Quai Jeanne d'Arc, 80230 Saint Valéry sur Somme (Mise à disposition gracieuse du laboratoire)	
Responsable scientifique : 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
Projet : I.G.A. H2024
Impact des Grands Aménagements

Convention de marché EDF n° : C3499C0490
Commande d'exécution : 5100-4210281480

Résumé :

Ce rapport annuel de la surveillance écologique et halieutique (n°37) du Centre Nucléaire de Production d'Électricité de Penly (département de Seine Maritime) concerne l'année 2023. Cette surveillance, qui a débuté en 1987, porte sur les compartiments pélagique (physico-chimie, microbiologie, phytoplancton, zooplancton) et halieutique. Elle vise à étudier l'évolution temporelle à moyen et long terme des différents domaines marins (pelagos, halieutique) et de leurs paramètres associés à une échelle spatiale locale (proche de la centrale et de sa zone d'influence). L'année 2023 est la 34^e année de fonctionnement du CNPE de Penly (mise en fonctionnement du CNPE 1989).

Abstract:

This annual report on ecological and fishery monitoring (n°37) of the Nuclear Power Plant (NPP) of Penly (Seine-Maritime department) concerns the year 2023. This monitoring, which started in 1987, relates to the pelagic and fishery compartments. It aims to study the medium and long-term temporal evolution of the different marine domains (pelagos and fishery) and their parameters associated with a local spatial scale (near the NPP and its area of influence). The year 2023 is the 34rd year of operation of the NPP in Penly (entry into operation of the NPP 1989).

Mots-clés :

Centrale nucléaire Penly, Surveillance ; Halieutique, Pelagos

Keywords:

Penly, Monitoring, Nuclear power plant, Fisheries, Water quality

Commentaire :

Ce document doit être cité de la manière suivante :

Référence générale

§ [REDACTED].
(2024). Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de PENLY : Année 2023. RST/RBE/HMMN/LRHPEB/24-01. Conv. EDF C3499C0490. 164 p.

PRÉAMBULE

Cinq Centres Nucléaire de Production d'Électricité (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 PENLY, situé sur le littoral du département de Seine-Maritime à une dizaine de kilomètres au nord-est de la ville de Dieppe, en fait partie.

De nombreuses études ont été réalisées pour appréhender l'influence du CNPE de Penly sur le milieu marin environnant. Elles ont été initiées entre 1975 et 1977 ("étude d'avant-projet"). De 1978 à 1980, une "étude de projet" est confiée par EDF au CNEXO pour la partie écologique (entreprise en 1978) et à l'ISTPM pour la partie halieutique (entreprise en 1977). Cette étude de projet avait pour but d'établir un état de référence avant l'implantation du CNPE. Par la suite (1980 à 1984) une étude complémentaire ciblée sur les "nourriceries de poissons plats" a été menée. En 1987, 3 ans avant le raccordement effectif du CNPE au réseau (mai 1990), le premier protocole de "surveillance écologique" est mis en place. En 1989, les modalités de surveillance sont adaptées à la stratégie qui est toujours mise en œuvre aujourd'hui. L'étude du domaine pélagique repose sur un suivi saisonnier (printemps, été, automne) réalisé en quatre points. Le domaine halieutique est, quant à lui, suivi à travers l'ichtyoplancton (œufs et larves) et la macrofaune (poissons et crustacés commerciaux).

Les modalités de surveillance du CNPE de Penly ont initialement été fixées en regard de l'Arrêté ministériel du 21/03/1990 relatif à "*l'autorisation de rejets d'effluents pour le CNPE de PENLY*" (NOR: INDD9000199A). En 2008, cet arrêté sera remplacé par la décision n° 2008-DC-0089¹ de l'Autorité de Sûreté Nucléaire fixant les "*prescriptions relatives aux modalités de prélèvement et de consommation d'eau et de rejets dans l'environnement des effluents liquides et gazeux*" du CNPE de PENLY.

La mise en œuvre opérationnelle de la surveillance repose sur un partenariat étroit entre les équipes et organismes suivants :

- **climatologie** effectuée à la station IFREMER de Port-en-Bessin sur la base de l'expertise de METEO-FRANCE ;
- **hydrologie** effectuée à la station IFREMER de Port-en-Bessin par le Laboratoire Environnement Ressources de Normandie sous la responsabilité de Lotfi M'ZARI;
- **phytoplancton** effectuée à la station IFREMER de Port-en-Bessin par le Laboratoire Environnement Ressources de Normandie sous la responsabilité de Tania HERNÁNDEZ-FARIÑAS;
- **zooplancton** réalisée au Centre IFREMER de Boulogne-sur-Mer sous la responsabilité de Elvire ANTAJAN;
- **microbiologie** effectuée à la station IFREMER de Port-en-Bessin sous la responsabilité de Michel ROPERT;
- **l'ichtyoplancton** réalisée au Centre IFREMER de Boulogne-sur-Mer sous la responsabilité de Christophe LOOTS;
- **macrofaune halieutique** réalisée à la station IFREMER de Port-en-Bessin sous la responsabilité de Ivan SCHLAICH.

En outre, deux prestataires extérieurs participent à cette surveillance :

- LABEO Franck DUNCOMBE : analyses microbiologiques.
- Laboratoire SGS –Rouen : analyses chimiques.

¹ <https://www.asn.fr/content/download/52753/364468/version/2/file/2008-DC-0089.pdf>

SYNTHESE

La "surveillance écologique et halieutique des CNPE de bord de mer", vise à étudier l'évolution temporelle à moyen et long terme des différents domaines marins (pélagos, benthos et halieutique) et de leurs paramètres associés à une échelle spatiale locale (proche des centrales et de leur zone d'influence).

Le CNPE de Penly, situé à 10 km au nord-est de Dieppe (76), puise dans le milieu marin les eaux de refroidissement de ses 2 réacteurs à eau sous pression. Pour satisfaire aux exigences de la Décision n° 2008-DC-0089 du 10 janvier 2008 fixant "*les prescriptions relatives aux modalités de prélèvement et de consommation d'eau, de rejets d'effluents et de surveillance de l'environnement des installations nucléaires [...] de Penly*"², une surveillance écologique du milieu récepteur du CNPE de PENLY est mise en œuvre par l'exploitant. Cette surveillance initiée en 1975 est stabilisée sous sa forme actuelle depuis 1987.

La stratégie mise en œuvre repose sur un suivi saisonnier (printemps, été, automne) des différents compartiments du milieu marin. Cette surveillance porte sur le domaine pélagique (paramètres physico-chimiques et chimiques, phytoplanctoniques, microbiologiques (vibrions), zooplanctoniques), et le domaine halieutique (analyse des activités de pêche, suivis de larves de crustacés et pêches expérimentales). Le domaine Benthique fait également l'objet d'une surveillance à travers une campagne morphosédimentaire des petits fonds au large du CNPE réalisée une fois tous les 6 ans. Les résultats de ces campagnes font l'objet d'une restitution spécifique. Quel que soit le domaine étudié, la surveillance vise à réaliser les observations consécutivement en plusieurs points (Figure 0-1), soit représentatifs de l'eau de mer pompée par le CNPE (Point *Canal*), soit représentatifs des eaux de refroidissement rejetées dans le milieu marin (point *Rejet*), soit au large du rejet potentiellement influencé par celui-ci (point *Contrôle*), soit en dehors de toute influence du CNPE (point *Référence*).

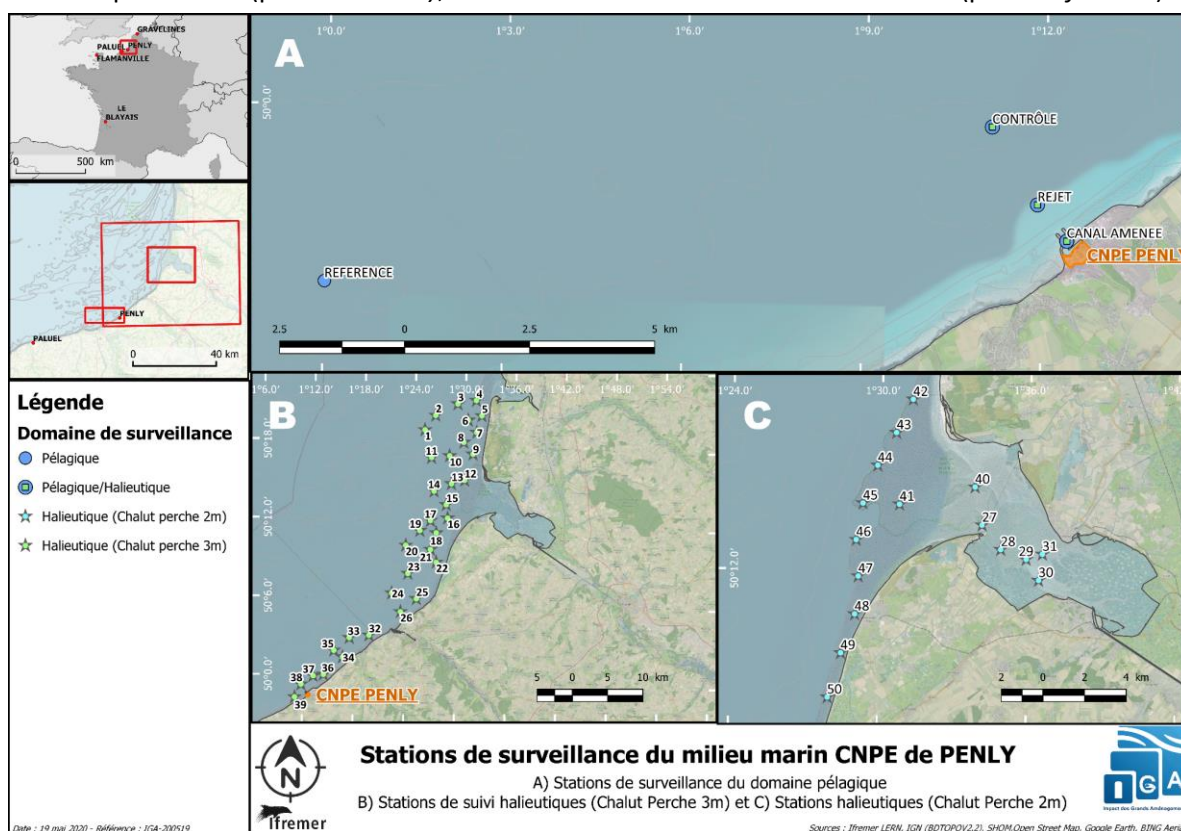


Figure 0-1 : Points de prélèvements échantillonnés par Ifremer

² <https://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Installations-nucleaires/Decisions-individuelles/Decision-n-2008-DC-0089-du-10-janvier-2008-de-l-ASN>

La liste synthétique de tous les paramètres surveillés (échantillons, stations, fréquences) est détaillée ci-dessous.

Domaine	Programme de surveillance écologique et halieutique				
	En application de la décisions ASN n° 2008-DC-0089) du 10/01/2008				
	Paramètre	Nb Ech	Stations	Fréquence Dates camp.	
Pélagique	Hydrologie	Température	1 subsurface	4 stations (4 points) Canal d'amenée (en surface), Rejet, (en surface) Contrôle, (en surface) Référence Surf (en surface)	3 camp. /an : Printemps, 04/04/2023 Été, 20/06/2023 Automne 26/09/2023
		Salinité	1 subsurface		
	Physico-chimie	Ammonium	1 subsurface		
		Nitrates	1 subsurface		
		Nitrites	1 subsurface		
		Phosphates	1 subsurface		
		Silicates	1 subsurface		
		Turbidité néphélogométrique ³	1 subsurface		
		Matières en suspension	1 subsurface		
	Chimie	Oxygène dissous	1 subsurface		
		Bromoforme	1 subsurface		
		Chloroforme	1 subsurface		
		Dibromochlorométhane	1 subsurface		
		Dichloromonobromométhane	1 subsurface		
		Hydrazine	1 subsurface		
	Phytoplancton	Ethanolamine (amine de conditionnement du circuit secondaire)	1 subsurface		
		Flore Totale (identification et abondance)	1 subsurface		
		Chlorophylle a	1 subsurface		
		Phéopigments	1 subsurface		
	Zooplancton	Production primaire	1 subsurface		
suivi Taxons indicateurs (identification et abondance)		1 WP2 (formolé)			
Micro-organismes	Biomasse (Carbone et Azote organique)	1 sub-surface			
	Germes Totaux	1 sub-surface			
	Germes revivifiables vibrions halophiles	2x1L subsurface			
Halieutique	Analyses Ichtyoplancton	Densité méroplanctonique (œufs et larves) : sole, plie, limande, sprat, sardine	1 Bongo (Formolé)	3 stations : Canal d'amenée (station A), Rejet (station B), Contrôle (station C)	4 camp./an : 14/04 ; 27/04 ; 11/05 ; 25/05/2023
	Analyses Halieutique	Densité et distribution des strates et pourcentage par rapport à l'abondance totale des espèces (sole, plie, limande, sprat et sardine) Densité de crustacés, distribution par strates et pourcentage par rapport à l'abondance totale des espèces (crevette grise, étrille)	34 traits de chalut de 15 min entre la baie d'Authie et Dieppe 16 traits de chalut à l'intérieur de la baie de Somme	5 zones recouvrant un secteur de Dieppe à la baie d'Authie	1 campagne de chalutage par an (entre fin d'été et début d'automne) Du 22 au 24 août 2023

(*) historiquement, le planning de la surveillance est synchronisé sur la saisonnalité des processus biologiques qui ne correspond pas exactement à la saisonnalité calendaire.

Sur le plan **climatologique**, cette année 2023 est la plus chaude à l'échelle nationale depuis 1951, elle se classe donc au premier rang des années les plus chaudes avec une température moyenne annuelle de 12,5 °C et un écart à la normale 1981-2010 de +1,6 degrés, très peu devant 2022 avec 12,4 °C. Du point de vue **pluviométrique**, avec 954 mm cumulés en 2023, la pluviométrie annuelle est excédentaire de 20 % par rapport à la valeur de référence 1981-2010 (798,2 mm). Concernant les débits de la Seine, cette année se caractérise par deux écarts nettement supérieurs à la moyenne (novembre et décembre) ainsi que deux débits mensuels nettement inférieur à la moyenne historique avec notamment une valeur remarquable en février (319 m3/s).

³ Hors stratégie réglementaire

En 2023, les paramètres **hydrologiques et physico-chimiques** surveillés à PENLY ne montrent rien d'inhabituel. Les températures de l'eau de mer sont légèrement au-dessus de la normale, à mettre en perspective avec l'inertie thermique des masses d'eau marines en cette année, enregistrée à Dieppe. La variabilité saisonnière de la **salinité** est normale, avec une influence plus marquée de l'eau douce près de la côte. Les mesures **d'oxygène dissous** sont conformes aux attentes, sans signes d'hypoxie ou d'anoxie. Les **concentrations de nutriments** suivent un cycle saisonnier normal lié au phytoplancton. Les autres paramètres suivis présentent des valeurs et des variations expliquées par la saisonnalité, l'environnement climatique et géomorphologique.

Ainsi, les rejets du CNPE n'affectent la distribution et les variations saisonnières des paramètres étudiés. Les caractéristiques hydrologiques intrinsèques du milieu n'apparaissent pas modifiées par les activités du CNPE.

Dans le compartiment du **phytoplancton** en 2023, une faible biomasse et production primaire potentielle caractérisent l'état du phytoplancton, particulièrement en été et automne, avec des valeurs physiologiques globalement médiocres. Les concentrations de phytoplancton sont également faibles, surtout en été, aux points Canal et Référence. Le printemps connaît un manque d'ensoleillement, expliquant le faible développement habituellement observé à cette saison. Les concentrations élevées de certains nutriments suggèrent une faible consommation par le phytoplancton. Les diatomées dominent comme les années précédentes près du CNPE de Penly, sans que l'activité du CNPE ne soit mise en cause dans la structure ou le cycle saisonnier du phytoplancton en 2023. La variabilité spatio-temporelle observée est principalement due aux conditions environnementales le long du gradient côte large, cohérentes avec les connaissances actuelles en Manche.

Les données historiques de **zooplancton**, depuis 1987, montrent que la biomasse sestonique n'affiche pas de différence significative entre les points de prélèvement, quelle que soit la saison, contrairement aux abondances. Cela indique que la biomasse sestonique n'est pas une bonne mesure de la biomasse ou de l'abondance zooplanctonique, mais plutôt de la charge particulaire sur le site lors des prélèvements. En 2023, la distribution spatiale et les abondances étaient conformes aux valeurs historiques moyennes, avec des abondances significativement plus faibles au point Canal, en raison de sa faible profondeur, de son enclavement et de sa charge particulaire élevée. La composition et la succession des espèces sont classiques : le méroplancton est plus abondant au printemps, et l'holoplancton domine en été et en automne, principalement composé de copépodes. La diversité spécifique des copépodes reste faible, généralement composée de moins de dix espèces, dont une seule peut représenter plus des trois quarts du peuplement. Les espèces zooplanctoniques observées en 2023 respectent leur répartition saisonnière habituelle, caractéristique des milieux tempérés de la Manche et de la baie sud de la Mer du Nord. Ainsi, aucune évolution anormale du milieu due au CNPE de Penly n'a été mise en évidence.

Dans le domaine de la **microbiologie**, les résultats de l'année 2023 s'inscrivent en conformité avec les observations historiques. C'est particulièrement le cas pour les Germes Totaux caractérisés par une grande homogénéité spatiale comme temporelle autour de la médiane historique. Il en est de même pour les germes aérobies revivifiables avec toutefois un signal un peu élevé (4 400 n/mL) sur le point *Rejet* en été. Les vibrions halophiles, indétectables en début d'année, se sont progressivement développés sur les 4 points de suivi à l'automne. À noter que le maximum historique pour PENLY a été observé au point *Canal* lors de la campagne d'été (8 000 UFC/L).

La surveillance du compartiment pélagique n'a pas mis en évidence, au cours de l'année 2023, de modifications significatives du milieu pouvant être mises en relation avec l'activité du CNPE de Penly.

Pour le domaine **Halieutique** en 2023, si la sole et le sprat restent les espèces d'ichtyoplancton dominantes à Penly, leur effectif se révèle le plus bas des cinq années précédentes. La comparaison interannuelle des abondances est difficile en raison des variations interannuelles des périodes de ponte. La limande et la sardine étaient peu abondantes en œufs et larves. Malgré une possible abondance exceptionnelle d'œufs de limande, leur identification visuelle reste toutefois incertaine. Les faibles abondances de larves de sardine s'expliquent par une reproduction plus tardive. Des œufs et larves d'autres espèces étaient présents dans les échantillons, tandis que ceux de plie étaient absents.

Les conditions météorologiques favorables, pendant la campagne de prospection en 2023, ont permis de maintenir la stratégie d'échantillonnage de la **macrofaune halieutique** et de réaliser intégralement le plan prévu cette année. L'indice d'abondance des poissons plats a diminué par rapport à l'année précédente et reste souvent en dessous de la moyenne historique, atteignant parfois des niveaux historiquement bas. Pour la sole, aucune tendance particulière n'a été observée sur l'ensemble de la série historique, sauf pour l'année exceptionnelle de 2020. En revanche, les deux autres espèces de poissons plats montrent une différence d'abondance avant et après le début des années 2000, surtout la limande, dont la densité a sensiblement diminué entre 1987 et 2001. Les poissons étudiés appartiennent à la guildes écologique des migrants marins, dont les stocks dépassent largement la zone prospectée, ce qui entraîne des variations annuelles importantes de l'abondance des juvéniles dans la zone étudiée. Concernant la crevette grise, bien que les abondances soient faibles, elles sont, en 2023, supérieures à celles observées dans d'autres nourriceries, comme la baie de Seine.

En conclusion, le suivi halieutique réalisé près du CNPE de PENLY en 2023 n'a pas révélé d'influence particulière du fonctionnement du CNPE sur le domaine halieutique.

En conclusion, la variabilité spatiale et temporelle des paramètres pélagiques et halieutiques suivis dans le cadre de la surveillance réglementaire du CNPE de Penly en 2023 ne montrent pas d'évolution ou de comportement atypique pouvant être mis en relation directe avec le fonctionnement du CNPE.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	1
Stratégie de surveillance de PENLY.....	1
Historique	1
Lieux de surveillance.....	3
Paramètres mesurés et dates des campagnes	4
Intervenants / opérateurs	5
A CONTEXTE GENERAL ET ENVIRONNEMENTAL.....	9
A.1 Présentation du CNPE	11
A.2 Contexte environnemental et climatologique	11
A.2.1 Géographie.....	11
A.2.2 Géologie	12
A.2.3 Hydrographie continentale	13
A.2.4 Hydrographie marine	14
A.2.5 Apports telluriques	15
A.2.6 Climatologie générale	15
A.3 Caractéristiques de l'année en cours	16
A.3.1 Fonctionnement du CNPE	16
A.3.2 Particularités hydroclimatiques de l'année en cours	18
A.3.3 Débits de la Seine et de la BETHUNE	27
B LE DOMAINE PELAGIQUE.....	29
Préambule	29
B.1 Hydrologie, physico-chimie, chimie	33
B.1.1 Stratégie de surveillance.....	33
B.1.2 Matériels et méthodes.....	34
B.1.3 Température.....	39
B.1.4 Salinité.....	42
B.1.5 Oxygène dissous.....	44
B.1.6 Ammonium (NH ₄ ⁺)	45
B.1.7 Nitrite et Nitrate (NO ₂ ⁻ et NO ₃ ⁻).....	46
B.1.8 Phosphate (PO ₄ ³⁻) et Silicate (Si(OH) ₄).....	48
B.1.9 Turbidité - Matière En Suspension	51
B.1.10 Hydrazine et Ethanolamine	53
B.1.11 Trihalomethanes ou haloformes	53
B.1.12 Mise en perspective des résultats avec la DCE	56
B.1.13 Conclusions	58
B.2 Phytoplancton	63
B.2.1 Stratégie de surveillance.....	63
B.2.2 Matériels et Méthodes	64
B.2.3 Biomasse chlorophyllienne et phaeopigments.....	70

B.2.4	Production primaire	72
B.2.5	Populations phytoplanctoniques.....	75
B.2.6	Bilan des résultats obtenus aux points <i>Canal d'aménée et Rejet</i>	82
B.2.7	Conclusions	83
B.3	Zooplancton.....	87
B.3.1	Stratégie de surveillance	87
B.3.2	Paramètres / méthodes.....	87
B.3.3	Biomasse sestonique.....	89
B.3.4	Abondance et composition zooplanctoniques.....	91
B.3.5	Conclusions	97
C	LE DOMAINE HALIEUTIQUE.....	101
C.1	Ichtyoplancton.....	101
C.1.1	Stratégie de surveillance	101
C.1.2	Paramètres/méthodes	101
C.1.3	Résultats	103
C.1.4	Conclusion	111
C.2	Macrofaune	112
C.2.1	Stratégie de surveillance	112
C.2.2	Paramètres / méthodes.....	112
C.2.3	Pêches expérimentales.....	114
C.2.4	Résultats.....	114
C.2.5	Conclusions	120
D	CONCLUSION GENERALE	123
D.1	Les particularités environnementales	123
D.2	Compartiment pélagique.....	123
D.2.1	Hydrologie, physico-chimie, chimie.....	123
D.2.2	Phytoplancton	123
D.2.3	Zooplancton.....	124
D.2.4	Microbiologie	124
D.3	Le compartiment halieutique	125
D.3.1	Ichtyoplancton.....	125
D.3.2	Macrofaune	125
D.4	Conclusion générale	126
BIBLIOGRAPHIE		127
Références bibliographiques		127
Références historiques de la surveillance :		128
GLOSSAIRE.....		133
ABREVIATIONS.....		135
ANNEXES		137

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, ichtyoplancton, macrofaune, microbiologie...) à une **échelle spatiale locale** (proche des centrales et de leurs zones 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 PENLY a été initiée en 1987. Le présent rapport s'inscrit donc dans la **37^e 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° C3499C0499, Commandes d'exécution n° 5100-4210281480). Un cahier des charges (Réf D455617260492 indice A) 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 Sûreté Nucléaire⁴ (ASN).

Un important travail de reprise de bancarisation sous Quadrigé² a été mené en 2018-2019. Il a permis de réunir, reconstituer et compléter de manière significative l'ensemble des séries historiques existantes. Les résultats présentés aujourd'hui dans le rapport annuel intègrent donc des séries de données qui peuvent présenter des différences avec celles présentées dans les rapports édités les années précédentes. D'une manière générale, ces différences correspondent à des compléments qui ont permis de consolider les jeux de données.

Stratégie de surveillance de PENLY

HISTORIQUE

Les premiers travaux mis en œuvre sur le site de PENLY ont débuté avec les "études d'avant-projet" (1975-1977). Elles ont donné lieu aux premières observations de terrain menées entre mars et août 1977. Ils avaient pour objectif d'identifier les contraintes d'ordre "écologique" des sites pressentis pour accueillir un CNPE.

Des "études de projets" (1^{er} et 2nd cycle) ont ensuite été réalisées entre février 1978 et janvier 1980. Cette série d'études a été complétée, entre 1981 et 1984, par une série de travaux relatifs à l'étude des "nourriceries de poissons plats". Il s'agissait de réaliser un état de référence avant l'implantation de la centrale. Cet état de référence devait également permettre l'évaluation des fluctuations naturelles des principaux paramètres environnementaux.

À compter de 1987, trois ans avant le raccordement effectif de la première tranche du CNPE au réseau (mai 1990), un protocole de "surveillance écologique" a été proposé. En 1989, les modalités de surveillance sont adaptées à la stratégie qui est toujours mise en œuvre aujourd'hui. L'étude du domaine pélagique repose sur un suivi saisonnier (printemps, été, automne) réalisé en quatre points. Le domaine halieutique est, quant à lui, suivi à travers l'ichtyoplancton (larves) et la macrofaune. Le 10

⁴ Autorité administrative indépendante depuis 2006, l'ASN est en charge, entre autres, 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.

janvier 2008, la décision "Modalité" n° 2008-DC-0089 de l'ASN consolide les modalités de la surveillance écologique et halieutique du CNPE de PENLY.

Depuis 1987, les stratégies de surveillance n'ont que très peu évolué. Au fil des années, les modifications se sont limitées à des ajustements (passage de 6 à 4 campagnes halieutiques annuelles en 1996 ; abandon du paramètre chlore en 2009). Le changement le plus significatif est intervenu en 2007. Il n'est pas de nature réglementaire, mais concerne les moyens mis en œuvre. En effet, cette année 2007 marque l'abandon du N/O THALIA et son remplacement par le N/O DELPHY pour la réalisation de la surveillance du compartiment pélagique. Embarcation légère, basée à Port en Bessin, le N/O DELPHY a non seulement permis de réduire les coûts de la surveillance, mais de par sa maniabilité et la facilité de son déploiement, il a permis d'améliorer sensiblement les conditions de mise en œuvre des opérations en mer et de ce fait la qualité des résultats.

Tableau 0-1 : Chronologie des différentes stratégies de surveillance des trois compartiments (pélagique, benthique et halieutique) autour du CNPE de Penly. Dernière colonne : évolution du nombre de stations de surveillance du domaine pélagique.

CNPE PENLY	années (Cycle Surv.)	Mois de l'année												Nb St. Pelag.		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
	1973															
	1974															
Etudes d'avant-projet (citées en p. 3 du rapport 1991)	1975															
	1976															
	1977			22	20		22	12	10							2
Etudes de Projet	1978		7-23	6	4-18-28	20-31	13	11-27	10-29	13	10-24	8-21	6-20			4
	1979	23	6	6-20	3-19	3-15	7-20	4-20	2-14-30	12-25	17-30	17-30				4
	1980	29														4
Etudes Complémentaires "Nourissierie"	1981															
	1982															
	1983															
	1984															
	1985															
	1986															
Surveillance (I) (Rouge : mise en service 1ère tranche)	1987															4
	1988															4
	1989															4
	1990															4
	1991															4
	1992															4
	1993															4
	1994															4
	1995															4
	1996															4
Surveillance (II)	1997															4
	1998															4
	1999															4
	2000															4
	2001															4
	2002															4
	2003															4
	2004															4
	2005															4
	2006															4
2007															4	
2008															4	
2009															4	
2010															4	
2011															4	
2012															4	
2013															4	
2014															4	
2015															4	
2016															4	
2017															4	
2018															4	
2019															4	
2020															4	
2021															4	
2022															4	
2023															0	
2024															0	

(*) : Campagnes complémentaire "Hors saison"

Date (jour) Campagnes "Domaine Pélagique" (hydro, chimie, phyto, microbio, zooplct)
Date (jour) campagnes "Domaine halieutique (ichtyoplancton)
Campagne d'étude morphosédimentaire des petits fonds au large du CNPE de PENLY

LIEUX DE SURVEILLANCE

Les points de surveillance des différents compartiments (pélagique et halieutique) sont détaillés dans le Tableau 0-2 et localisés sur la (p. 6)

Tableau 0-2 : localisation et description des lieux de surveillance

LIBELLE	Coordonnées GPS (WGS84, Degrés décimaux)		Commentaire	
	Latitude	Longitude		
Pélagique et Halieutique	CANAL AMENEE (A)	1,195000	49,180000	Point représentatif de l'eau de mer pompée par le CNPE
	REJET (B)	1,191660	49,190000	Point représentatif des eaux rejetées dans le milieu marin par le CNPE
	CONTRÔLE (C)	1,184167	50,105000	Point situé au large du rejet en limite de l'influence de la tache thermique
	RÉFÉRENCE	1,100000	49,168330	Point de référence au large, hors influence de la tâche thermique du Rejet (pas d'échantillonnage halieutique)
Macrofaune Halieutique (Chalut à Perche 3)	1	1,121833	50,119133	Points "large" répartis depuis le sud de la baie d'Authie jusqu'au droit du CNPE de PENLY échantillonnés au moyen d'un chalut à perche de 3 m.
	2	1,142150	50,138150	
	3	1,185433	50,153667	
	4	1,121983	50,158833	
	5	1,134017	50,139667	
	6	1,107167	50,133333	
	7	1,124967	50,118300	
	8	1,100000	50,105033	
	9	1,119083	50,190417	
	10	1,172667	50,187167	
	11	1,136917	50,184217	
	12	1,104167	50,156833	
	13	1,178333	50,151833	
	14	1,144333	50,141667	
	15	1,169617	50,124833	
	16	1,173167	50,107833	
	17	1,139333	50,104000	
	18	1,151667	50,188500	
	19	1,119067	50,190783	
	20	1,192167	50,171333	
21	1,141333	50,167167		
22	1,153667	50,151083		
23	1,198333	50,135667		
24	1,167817	50,109933		
25	1,117083	50,103850		
26	1,186483	50,186450		
32	1,125933	50,155217		
33	1,187267	50,151100		
34	1,175400	50,126100		
35	1,157600	50,134267		
36	1,138750	50,103000		
37	1,118700	50,100883		
38	1,195333	49,189583		
39	1,183667	49,172917		
Halieutique (CP2)	27	1,168400	50,120717	Points "côte" centrés sur la Baie de Somme (depuis l'ouverture jusqu'à l'intérieur) échantillonnés au moyen d'un chalut à perche de 2 m.
	28	1,181233	50,110333	
	29	1,198467	50,106267	
	30	1,107050	50,197300	
	31	1,109350	50,108633	
	40	1,163250	50,137117	
	41	1,112583	50,129117	
	42	1,120533	50,174483	
	43	1,109700	50,160000	
	44	1,197450	50,145750	
	45	1,187967	50,129333	
	46	1,183833	50,113517	
47	1,185667	50,197767		
48	1,183717	50,181383		
49	1,174767	50,164517		
50	1,166300	50,145300		

Paramètres mesurés et dates des campagnes

En application de la décision ASN dite "Modalités" n° 2008-DC-0089⁵ "fixant les prescriptions relatives aux modalités de prélèvement et de consommation d'eau et de rejets dans l'environnement des effluents liquides et gazeux des installations nucléaires" de PENLY, la liste synthétique des paramètres surveillés (échantillons, stations, fréquences) est détaillée dans le Tableau 0-3. 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 0-3 : liste détaillée des paramètres pris en compte dans la surveillance écologique du CNPE de Penly

Domaine		Programme de surveillance écologique et halieutique			
		En application de l'arrêté du 11 mai 2000, Article 29 (+ avenant) Et de la décision modalités n° 2018-DC-0640 du 19 juillet 2018.			
		Paramètre	Nb Ech	Stations	Fréquence Dates camp.
Pélagique	Hydrologie	Température	1 subsurface	4 stations (4 points) Canal d'amenée (en surface), Rejet , (en surface) Contrôle , (en surface) Référence Surf (en surface)	3 camp. /an : Printemps, 04/04/2023 Été, 20/06/2023 Automne 26/09/2023
		Salinité	1 subsurface		
	Physico-chimie	Ammonium	1 subsurface		
		Nitrates	1 subsurface		
		Nitrites	1 subsurface		
		Phosphates	1 subsurface		
		Silicates	1 subsurface		
		Turbidité néphélogométrique ⁶	1 subsurface		
	Chimie	Matières en suspension	1 subsurface		
		Oxygène dissous	1 subsurface		
		Bromoforme	1 subsurface		
		Chloroforme	1 subsurface		
		Dibromochlorométhane	1 subsurface		
		Dichloromonobromométhane	1 subsurface		
	Phytoplancton	Hydrazine	1 subsurface		
		Ethanolamine (amine de conditionnement du circuit secondaire)	1 subsurface		
		Flore Totale (identification et abondance)	1 subsurface		
		Chlorophylle a	1 subsurface		
Zooplancton	Phéopigments	1 subsurface			
	Production primaire	1 subsurface			
	suivi Taxons indicateurs (identification et abondance)	1 WP2 (formolé)			
Biomasse (Carbone et Azote organique)					
Micro-organismes	Germes Totaux	1 sub-surface			
	Germes revivifiables	1 sub-surface			
	vibrions halophiles	2x1L subsurface			
Halieutique	Analyses Icthyoplancton	Densité méroplanctonique (œufs et larves) : sole, plie, limande, sprat, sardine	1 Bongo (Formolé)	3 stations : Canal d'amenée (station A), Rejet (station B), Contrôle (station C)	4 camp./an : 14/04 ; 27/04 ; 11/05 ; 25/05/2023
	Analyses Halieutique	Densité et distribution des strates et pourcentage par rapport à l'abondance totale des espèces (sole, plie, limande, sprat et sardine) Densité de crustacés, distribution par strates et pourcentage par rapport à l'abondance totale des espèces (crevette grise, étrille)	34 traits de chalut de 15 min entre la baie d'Authie et Dieppe 16 traits de chalut à l'intérieur de la baie de Somme	5 zones recouvrant un secteur de Dieppe à la baie d'Authie	1 campagne de chalutage par an (entre fin d'été et début d'automne) Du 22 au 24 août 2023

Pour l'année 2023 à Penly, l'ensemble du programme de surveillance a pu être mis en œuvre dans des conditions satisfaisantes et sans écart au cahier des charges prévu.

⁵ <https://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Installations-nucleaires/Decisions-individuelles/Decision-n-2008-DC-0089-du-10-janvier-2008-de-l-ASN>

⁶ Hors stratégie réglementaire

Intervenants / opérateurs

L'Ifremer fait appel à des prestataires extérieurs pour réaliser une part des activités que l'institut n'est pas en mesure de réaliser. Pour la surveillance du CNPE de Penly ces activités sous-traitées concernent les domaines de la microbiologie et des analyses chimiques (trihalométhanes, hydrazine, éthanolamine). Le tableau 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 0-4 : Répartition des responsabilités entre les différents opérateurs en charge des cinq grands domaines d'activité liés à la surveillance écologique du CNPE de PENLY.

PENLY											
Domaine	Compartment	Programme de surveillance écologique et halieutique					OPERATEURS				
		En application de la décision 2008-DC-0089, Article 23					Privt	Ana-lyses	Banca-risation	Traite-ment	Rap-port
		Paramètre	Echantillonnage à chaque station	Stations	Fréque-nc	nce					
Pélagique	Hydrologie	Température	1 sub-surf.	CANAL REJET REFERENCE CONTRÔLE	3/an	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	
		Salinité				Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	
	Physico-chimie / Chimie	Ammonium				Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	
		Nitrates				Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	
		Nitrites				Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	
		Phosphates				Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	
		Silicates				Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	
		Matières en suspension				Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	
		Turbidité néphélogométrique				Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	
		Oxygène dissous				Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	
		Trihalométhanes				Ifremer	LABEO	Ifremer	Ifremer	Ifremer	
		Hydrazine				Ifremer	SGS	Ifremer	Ifremer	Ifremer	
	Phytoplancton	Ethanolamine (ou morpholine selon le produit de conditionnement utilisé)	Ifremer			SGS	Ifremer	Ifremer	Ifremer		
		Détermination et dénombrement des espèces	Ifremer			Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer		
		Biomasse chlorophyllienne	1 sub-surface			Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer		
		Phaéopigments	Ifremer			Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer		
	Zooplancton	Production primaire	3 sub-surface			Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer		
		Abondance zooplanctonique	1 WP2 (formolé)			Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer		
		Suiv des taxons indicateurs (identification et abondance)	Ifremer			Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer		
	Micro-organismes	Carbone et azote organique	1 WP2 (congelé)			Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer		
Dénombrement des germes totaux		1 sub-surf.	Ifremer	LABEO	Ifremer	Ifremer					
Dénombrement des germes revivifiables		Ifremer	LABEO	Ifremer	Ifremer	Ifremer					
Identification et dénombrement des souches de vibrions halophiles		1 sub-surf.	Ifremer	LABEO	Ifremer	Ifremer					
Benthique	Benthos	Identification des peuplements benthiques	Prélèvements à la benne Hamon : 3 replicats / station	>= 20 stations	1 x6ans	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	
Halieutique	Analyses zooplanctoniques	Densité méroplanctonique (œufs et larves) sur les espèces suivantes : sole, plie, limande, sprat, sardine	2 Bongo (formolé) échantillon + replica	CANAL REFERENCE CONTRÔLE	4/an	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	
		Densité et distribution des strates et pourcentage par rapport à l'abondance totale des espèces (sole, plie, limande, sprat et sardine)	34 traits de chalut entre baie d'Authie et Dieppe	5 zones	1/an (sept)	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer	
	Densité de crustacés, distribution par strates et pourcentage par rapport à l'abondance totale des espèces (crevette grise, étrille)	16 traits de chalut intérieur baie de Somme	Ifremer			Ifremer	Ifremer	Ifremer	Ifremer		

LABEO : Pôle d'Analyses et de Recherche de Normandie, 1 Route de Rosel, 14280 SAINT CONTEST

SGS : SGS Multilab, 135, rue Ettore Bugatti, Technopôle du Madrillet, 76800 SAINT-ÉTIENNE-DU-ROUVRAY

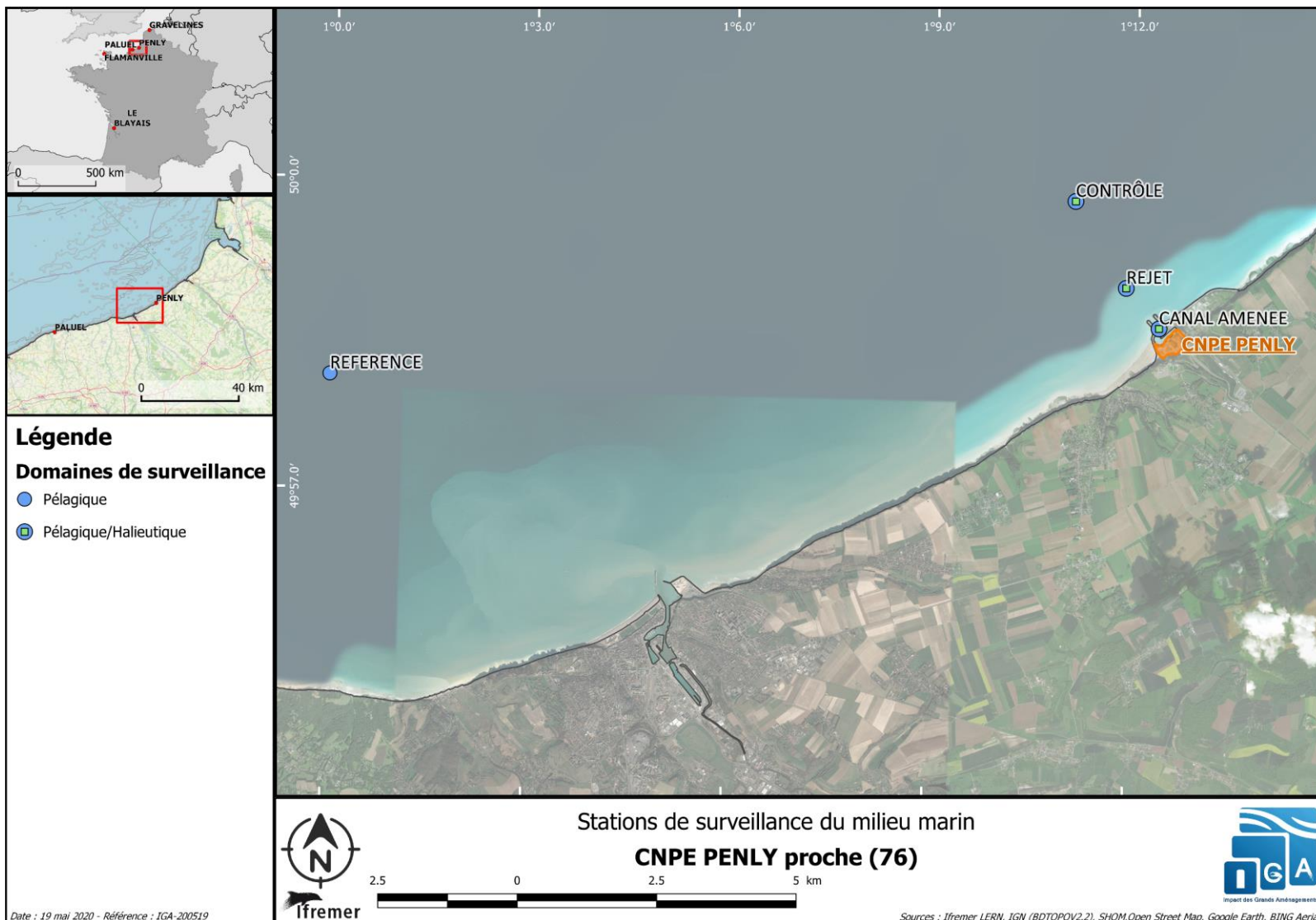


Figure 0-1 (1/2): Localisation des points de suivi de la surveillance écologique du milieu marin autour du CNPE de PENLY (Pélagique et Ichtyoplancton)

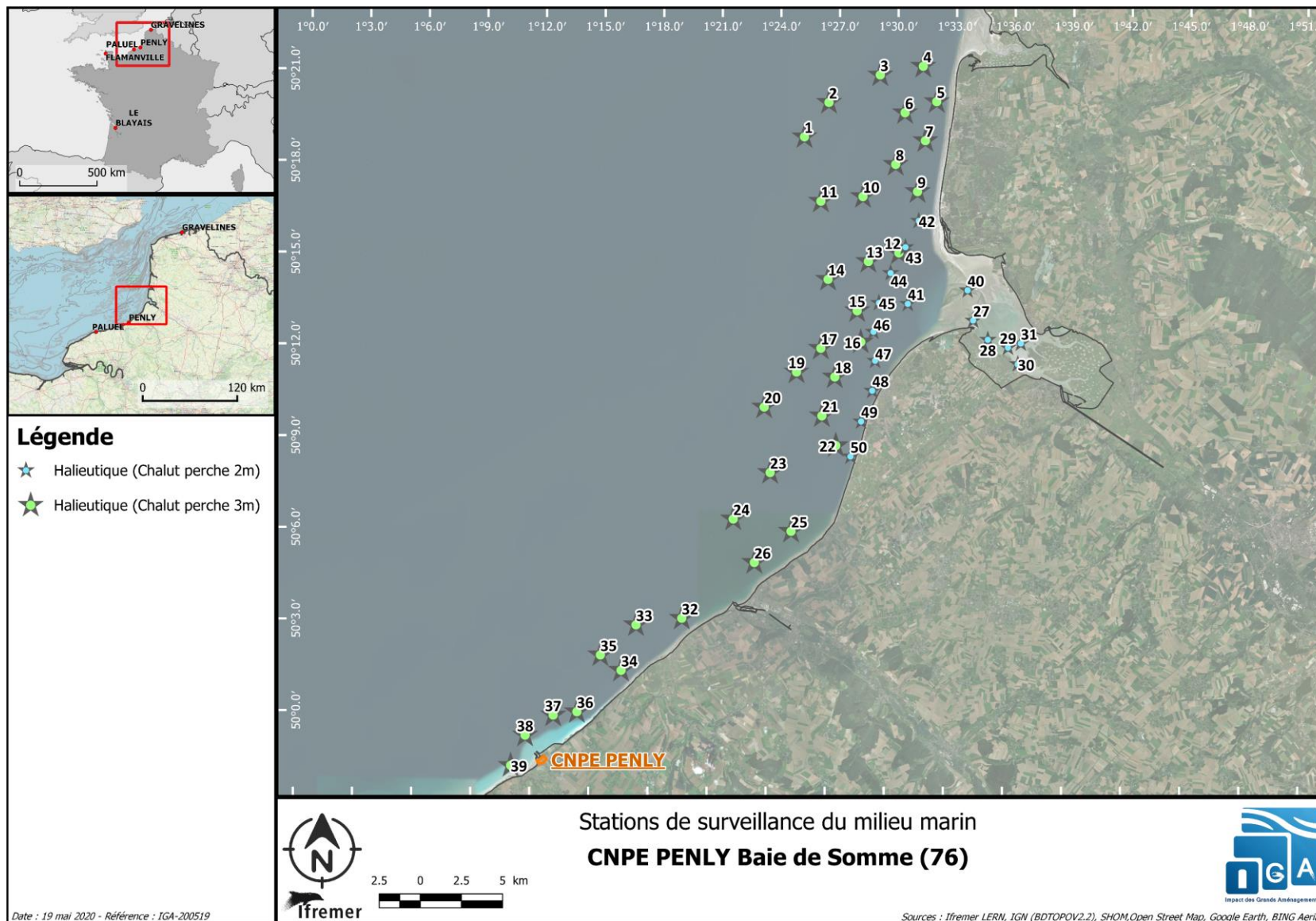


Figure 0-1 (suite): Localisation des points de suivi de la surveillance écologique du milieu marin autour du CNPE de PENLY (Halieutique)

A CONTEXTE GENERAL ET ENVIRONNEMENTAL

Rédaction mise en page

Ivan SCHLAICH (RH PEB)
Michel Ropert (LERN)

Traitement des données

Benjamin Simon (LERN)
Michel ROPERT (LERN)

Sources

- METEO-FRANCE : Synthèse climatique de l'année – CNPE de Penly.
- CNPE Penly, (puissance et température en entrée et sortie condenseur)
- https://envlit.ifremer.fr/envlit/region/basse_normandie

A.1 Présentation du CNPE

Le Centre Nucléaire de Production d'Électricité (CNPE) de Penly est situé sur le littoral du département de Seine-Maritime, à 10 km au nord-est de Dieppe. Il compte deux unités de production de 1 300 mégawatts (MW) de type REP "Réacteurs à Eau Pressurisée", mis en service en mai 1990 pour la tranche 1, et février 1992 pour la tranche 2.



Figure A-1 : CNPE de Penly (Source : www.edf.fr)

Pour le refroidissement de ses condenseurs, la centrale aspire de l'eau de mer à partir du canal d'aménée. L'eau de mer permet, par le biais d'un circuit de refroidissement indépendant, de condenser la vapeur créée par les générateurs de vapeur. Les eaux échauffées sont évacuées par un bassin de rejet communiquant avec deux galeries souterraines d'une longueur d'environ 1 200 mètres se terminant chacune par un diffuseur localisé aux alentours de l'isobathe 10 mètres.

A.2 Contexte environnemental et climatologique

A.2.1 GEOGRAPHIE

Le CNPE de Penly a été construit au niveau d'une petite valleuse, entre le Tréport et Dieppe, sur le territoire de la commune dont elle porte le nom. Le littoral, orienté SW/NE, est bordé de hautes falaises et composé de bancs calcaires alternant avec des lits de silex. Les falaises du littoral normand sont entaillées de valleuses au débouché desquelles les galets se sont accumulés et forment des cordons littoraux.

On peut distinguer trois types fondamentaux d'estrans :

- **L'estran profond** : il ne découvre pratiquement pas ; on le rencontre dans les secteurs de pointes rocheuses (Etretat, Antifer),
- **L'estran de pied de falaises** : c'est l'estran type du littoral haut normand et celui qui se trouve à Penly. Devant la falaise s'étend un platier rocheux (de 200 m à 400 m de large) sur lequel les matériaux meubles ne se rencontrent en général qu'en pied de falaise

sous la forme d'un cordon de galets plus ou moins développé, mais le plus souvent de 10 m à 20 m de large et de 1 m de haut,

- **L'estran d'accumulation** : rencontré au débouché des valleuses, son développement a souvent été favorisé par l'implantation d'ouvrages portuaires (Le Havre, Fécamp, St Valery-en-Caux, Dieppe, Le Tréport). Le cordon de galets est alors bien formé avec une largeur de 40 à 50 m. Les sables et graviers font suite aux galets.

A.2.2 GEOLOGIE

À la fin de l'Ère Primaire (- 245 Millions d'Années), la majorité du territoire français est émergée, mais au cours de l'Ère Secondaire (- 245 à - 65 MA) plusieurs cycles d'immersion / émergence se sont succédés.

Pour la Normandie, le plus important de ces épisodes réside dans la *Mer de Craie* qui recouvrit la région de - 97 à - 70 MA. Dans cette mer côtière peu profonde sédimentèrent d'innombrables micro-organismes à test calcaire. Leur accumulation sera à l'origine d'une roche calcaire tendre : la craie, parfois appelée *Marne* dans la région (Figure A-2).

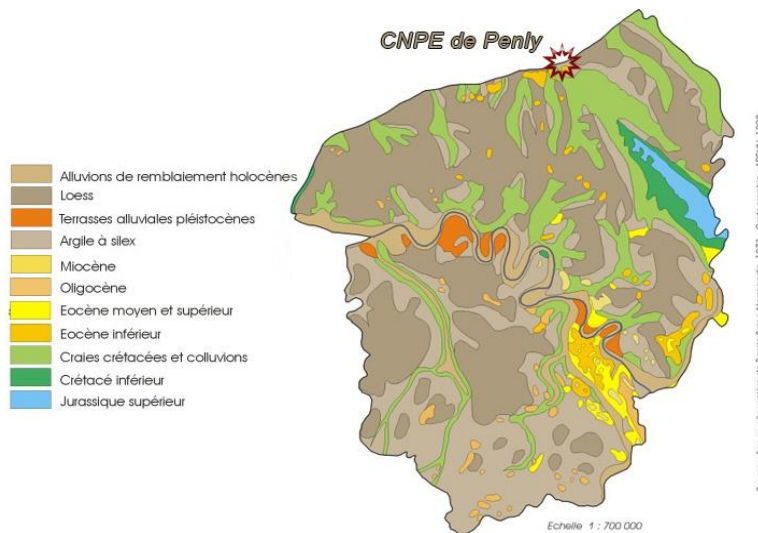


Figure A-2 : Carte géologique de Seine Maritime

Dans cette mer vivaient aussi des organismes à test siliceux qui ont été à l'origine des rognons de silex enfouis dans la craie, qui constitue aujourd'hui l'ossature géologique de toute la Normandie, à l'exception du Pays de Bray, où une importante faille a permis la remontée des sédiments plus anciens et variés.

Plus récemment, à l'Ère Tertiaire (- 65 à - 2 MA) le phénomène le plus marquant est l'altération continentale : la craie est dissoute par les eaux de pluie, mais le silex et les argiles, inaltérables, forment un manteau brun ou rouge qui peut dépasser une vingtaine de mètres d'épaisseur.

Lors des deux derniers millions d'années, la calotte glaciaire est descendue à plusieurs reprises jusqu'au niveau des Pays-Bas. Le climat de la Normandie était alors périglaciaire, avec une végétation de steppe. Les limons entraînés par les vents étaient alors à l'origine du Loess, de couleur jaune et d'une épaisseur d'une dizaine de mètres en Pays de Caux. A la fin du Tertiaire les cours d'eau s'enfonçaient dans le substrat meuble, creusant ainsi des vallées profondes, comme celle de la Seine.

Les sédiments marins aux alentours de la centrale de Penly sont essentiellement composés de sable et sable graveleux (Figure A-3). Dans cette région de la Seine Maritime, les sédiments les plus grossiers se situent entre Etretat et St Valéry-en-Caux. De chaque côté, un gradient vers des sédiments plus fins s'établit, pouvant aller jusqu'aux vases dans l'embouchure de la Seine.

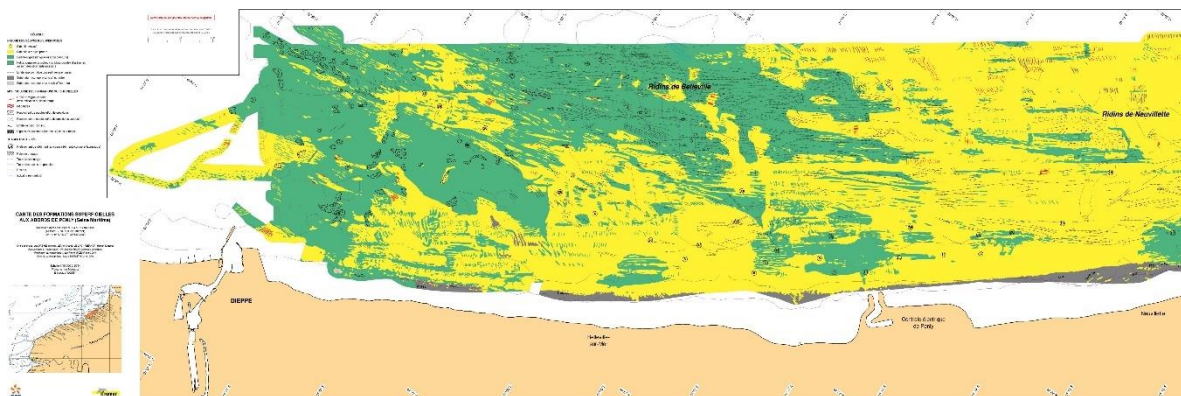


Figure A-3 : Caractéristiques des sédiments marins autour de la centrale de Penly (Drévès et al. 2008)

Tous les quatre ans depuis 1988 une étude dédiée au benthos et aux sédiments marins était réalisée sur la zone proche du CNPE de Penly. À partir de la campagne de surveillance du domaine benthique de 2008 (Bencaux), les prospections morpho-sédimentaires sont effectuées tous les six ans (décision ASN n° 2008-DC-089). L'évolution des fonds et des peuplements benthiques est alors décrite dans un rapport adressé à EDF (Abernot *et al.*, 2014) en 2017.

La dernière campagne de prospection a eu lieu en 2021 (initialement programmée en 2020, elle a dû être reportée d'une année en raison des contraintes sanitaires liées à la crise COVID-19).

A.2.3 HYDROGRAPHIE CONTINENTALE

Le faible développement du réseau hydrologique continental haut normand est dû essentiellement à la perméabilité du sol, qui permet l'écoulement souterrain des eaux au lieu du ruissellement de surface. Seul le Pays de Bray possède un important réseau de surface qui se développe sur des assises géologiques imperméables (Figure A-4).

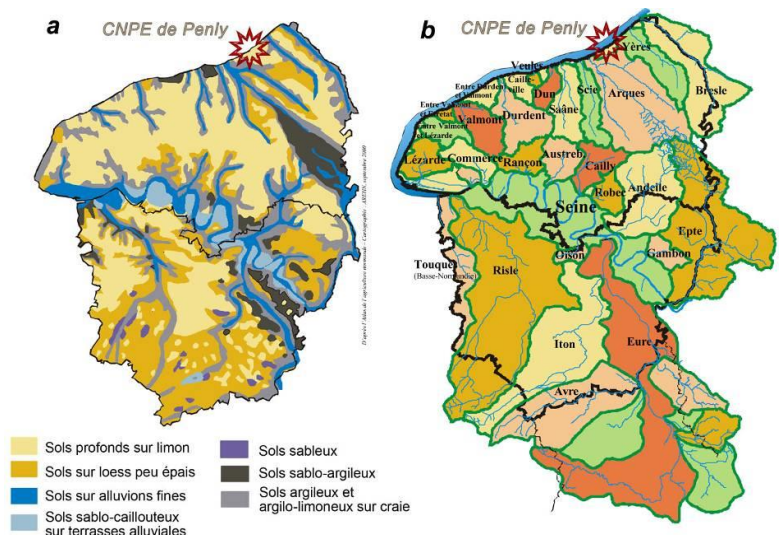


Figure A-4 : Nature du sol (a), fleuves et bassins versants (b)

Le réseau hydrologique de Seine-Maritime est composé de petits affluents de la Seine et de fleuves côtiers de quelques dizaines de kilomètres se jetant dans la Manche. Ces rivières peuvent avoir un parcours de surface si les couches géologiques imperméables le permettent, ou en partie souterraines, si la craie affleure. Ce phénomène donne naissance aux vallées sèches.

A.2.4 HYDROGRAPHIE MARINE

A.2.4.1 Marées

La marée est de type semi-diurne. À Dieppe, ses caractéristiques sont les suivantes :

Type de marée	Coefficient	Hauteur d'eau (m)
Vive-eau moyenne	95	8,50
Marée moyenne	70	4,94
Morte-eau moyenne	45	4,90

Tableau A-1 : Caractéristiques de marées à Dieppe (SHOM)

A.2.4.2 Courants

On distingue les courants périodiques et les courants apériodiques. Les courants périodiques sont essentiellement les courants de marée alternatifs et parallèles à la côte. Le flot, d'une durée moyenne de 5 heures, porte vers le N-NE à une vitesse de 0,5 à 1 m/s (soit 1 à 2 nœuds).

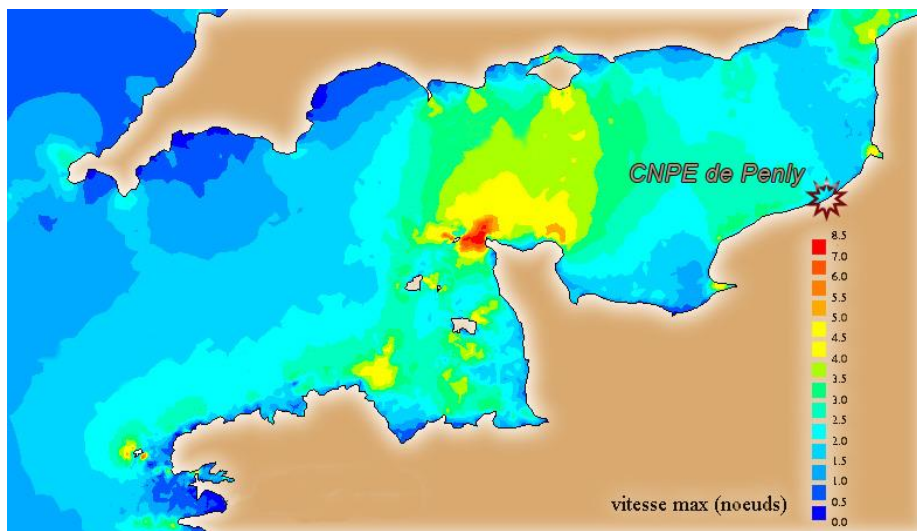


Figure A-5 : Vitesse de courants de marée maximale en Manche (Source SHOM)

Le jusant, d'une durée approximative de 7 heures, porte vers le W-SW avec une vitesse inférieure, de 0,4 à 0,6 m/s. La renverse a lieu environ entre 4h30 et 1h30 avant la pleine mer de Dieppe. De ce fait, le flux net au cours d'un cycle de marée est celui d'un déplacement des masses d'eau vers le N-NE dans le sens du flot. Ce déplacement est dû au courant de marée provenant de l'Atlantique et qui prend une vitesse importante au-delà de Cherbourg. Vers Dieppe, la vitesse du courant en vives-eaux peut atteindre 1,9 nœud (0,98 m/s) pendant le flot et 1,6 nœud (0,12 m/s) pendant le jusant (Figure A-5).

Les courants apériodiques sont essentiellement dus à l'action prolongée d'un régime de vents stables entraînant les masses d'eau. Ainsi une période de vent d'ouest durable peut créer un courant portant à l'est tandis qu'une période de vent de nord-est peut créer un courant portant au sud-ouest. Ces courants de dérive dus au vent peuvent atteindre 2 à 5 % de la vitesse du vent.

Une des principales caractéristiques dégagées des études précédant l'installation de la centrale était d'avoir mis en évidence l'influence des eaux provenant de la baie de Seine. Si cette influence est certaine par l'action du fleuve côtier, elle peut cependant être irrégulière (Brylinski *et al.*, 1991).

A.2.5 APPORTS TELLURIQUES

La Figure A-4 présente le réseau hydrologique de la Seine-Maritime. Les cours d'eau les plus significatifs, à l'ouest de Penly, sont l'Arques et la Saône, qui sont des fleuves côtiers moyens de fort débit irrégulier. Les apports telluriques à l'est du site du CNPE sont constitués par l'Yères et la Bresle. Les apports d'eau douce au niveau de Dieppe peuvent être importants et peuvent potentiellement engendrer des pollutions anthropiques provenant soit du port soit de la station d'épuration de la ville de Dieppe.

A.2.6 CLIMATOLOGIE GENERALE

A.2.6.1 Le climat régional

Trois influences principales peuvent se manifester dans cette partie de la région Normandie (Figure A-6) :

- L'influence maritime : plus marquée dans le Pays de Caux et le nord-ouest de l'Eure, avec un climat doux et humide, des hivers modérément froids et des étés tempérés,
- L'influence continentale : essentiellement au nord-est de la Seine et de manière moins classique, sur une frange littorale qui va du Tréport à Fécamp. C'est dans cette zone que se trouve la centrale de Penly. L'amplitude thermique est plus importante qu'ailleurs : hivers plus froids et étés plus chauds,
- L'influence méridionale : remontant du sud-est de l'Eure jusqu'à Rouen.

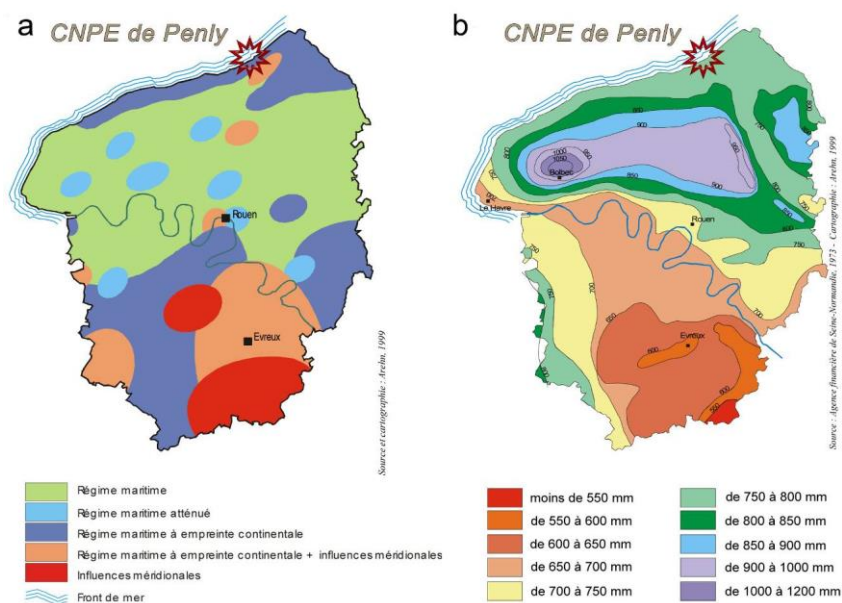


Figure A-6 : Situation climatologique (a) et pluviométrie moyenne annuelle (b) sur 30 ans

Cette partie de la région Normandie est caractérisée par de larges écarts de précipitations. Le secteur de Bolbec (Seine Maritime) est caractérisé en moyenne par 1100 mm de précipitations par an, tandis qu'au sud-est de l'Eure, seulement 500 mm par an sont enregistrés (Figure A-6). Cette dernière valeur est l'une des plus faibles de France, à égalité avec la Côte d'Azur. Les secteurs les plus fréquemment touchés par des forts évènements pluvieux sont le Bec-de-Caux et le Lieuvin.

A.3 Caractéristiques de l'année en cours

Les éléments de climatologie présentés dans ce chapitre sont issus de la "Synthèse climatique 2023 : PALUEL/PENLY" produite par METEO-FRANCE pour l'Ifremer dans le cadre du marché de la surveillance écologique du milieu du site de Penly. Les données sources ont été choisies comme les plus représentatives des conditions météorologiques du CNPE de PENLY et disposants d'une profondeur temporelle (historique) la plus compatible avec celle de la surveillance (Cf. Tableau A-2).

Tableau A-2 : Stations METEO-FRANCE retenues comme source des données utilisées pour l'analyse climatologique associée à la surveillance écologique et halieutique du CNPE de PENLY.

Paramètre	Station	Distance	Altitude	Début des données (METEO-FRANCE)	Classe de qualité ⁷
Précipitations	Dieppe (76)	10 km à l'ouest de Penly	38 m	1986	2 (Eglise au sud et pylône à l'ouest de largeur < 10°)
Températures	Dieppe (76)	id.	38 m	1986	3 (Ombres portées par l'église au sud et sémaphore au nord-ouest non pris en compte. Parking et mur à 6m)
Vent	Dieppe (76)	id.	38 m	1986	3 (Maisons au sud-est, église au sud-ouest et sémaphore à l'ouest. Falaise H=20 m à 60 m)
Rayonnement	Gonneville (50)	196 km au sud-ouest Penly	134 m	2011 (pas de rayonnement auparavant)	1 (ombres portées de sites < 5°)

Les observations de précipitations, températures de Dieppe sont considérées comme représentatives des conditions météorologiques du CNPE de Penly. Le vent de Dieppe est gardé pour effectuer le bilan annuel du site ; toutefois vu l'altitude de la station de Dieppe, il est probable que les forces y soient un peu supérieures à celles effectivement observées sur le CNPE (niveau de la mer). Pour ces trois paramètres, les valeurs du bilan annuel peuvent être comparées aux normales de référence 1981-2010⁸ (cf ANNEXE A-2, p. 140).

La série de rayonnement global mesuré à Gonneville, dans la Manche, démarrée en 2011, est considérée comme représentative des conditions générales d'ensoleillement du site. Les valeurs du bilan annuel sont donc comparées aux normales de références déterminées sur la période 2011-2018. Cependant, il peut y avoir ponctuellement quelques différences du fait de la présence de brouillards qui sont par essence généralement des phénomènes locaux ; cela n'altère en rien le bilan général de l'année.

Les éléments relatifs au fonctionnement du CNPE de Penly ont été transmis directement par le CNPE. Leur exploitation dans ce rapport annuel se limite aux informations qu'ils peuvent apporter dans la compréhension des résultats de la surveillance et des processus observés dans le milieu naturel.

A.3.1 FONCTIONNEMENT DU CNPE

Pendant les cinq premiers mois de l'année 2023, les tranches numéro 1 et numéro 2 n'étaient pas opérationnelles. Ce n'est qu'en juin que la production du CNPE a commencé, atteignant sa pleine capacité au cours des quatre derniers mois de l'année.

⁷ La description des classes de qualité de site pour chaque paramètre est détaillée en Annexes .

⁸ Les "normales de référence" sont établies sur une période de 30 ans fixe dans le temps. Pour le cycle de surveillance 2019-2024, cette période a été fixée à 1981-2010.

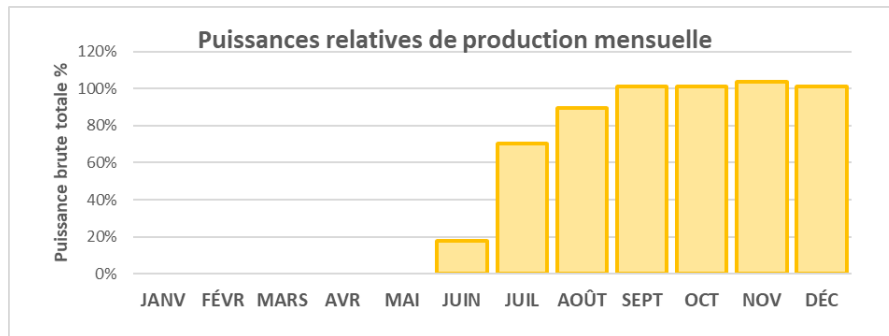


Figure A-7 : Taux de fonctionnement du CNPE de PENLY au cours de l'année. (Source EDF)

Le passage de l'eau du canal d'amenée dans le circuit des condenseurs génère une augmentation de la température de cette eau, qui est ensuite évacuée dans la canalisation de rejet. L'augmentation de la température à la sortie de chaque condenseur est présentée dans la figure 5. La température de sortie de la tranche 1 est identique à la température de la source. La mise à l'arrêt des deux tranches se traduit par l'absence d'échauffement au niveau des rejets entre le 01 janvier et le 15 juin. La température de sortie la plus élevée (33.77°C) a été relevée le 09 septembre sur la tranche 1.

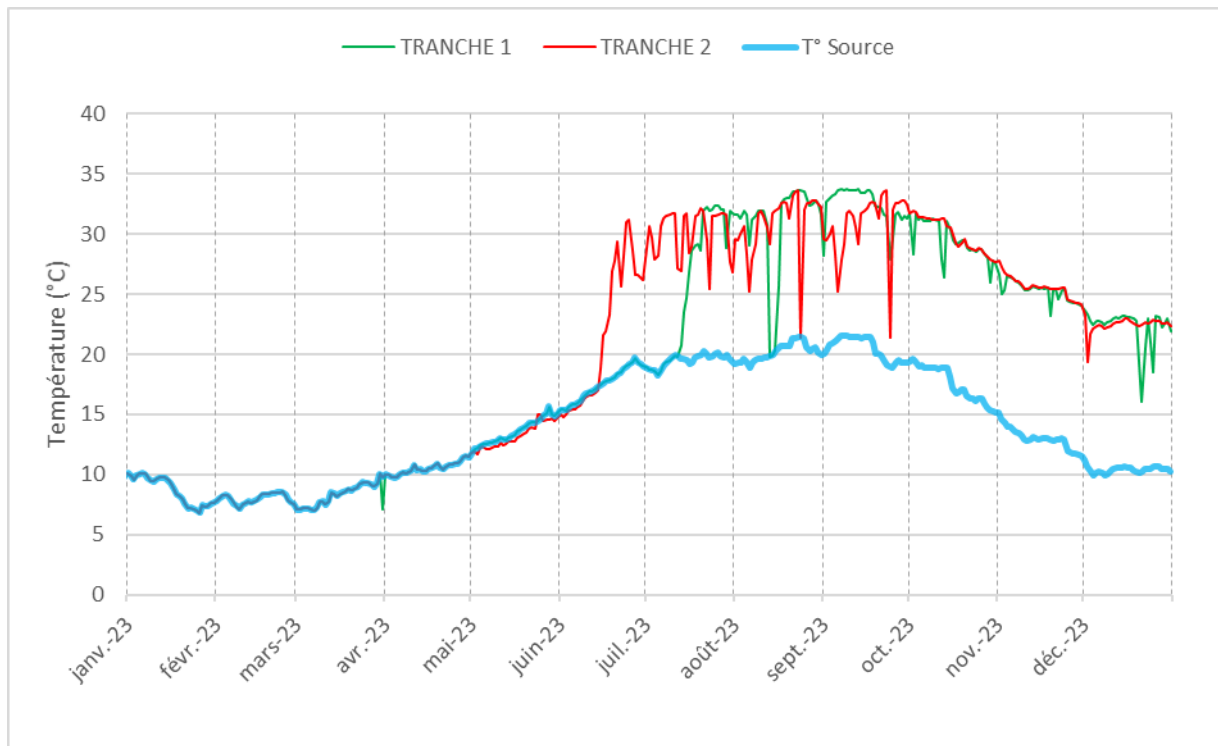


Figure A-8 : Températures journalières de l'eau de mer à l'entrée (Canal) et à la sortie des condenseurs pour chacune des deux Tranches T1 et T2 du CNPE de Penly. (Source EDF)

Aucun écart de température n'est perceptible avant le 14 juin entre le point Canal et Rejet. L'écart de température journalier maximum entre la sortie des condenseurs et l'eau du canal d'amenée est présenté sur la Figure A-9. Les variations de cet écart thermique atteignent un maximum de 18.36 °C le 12 novembre.

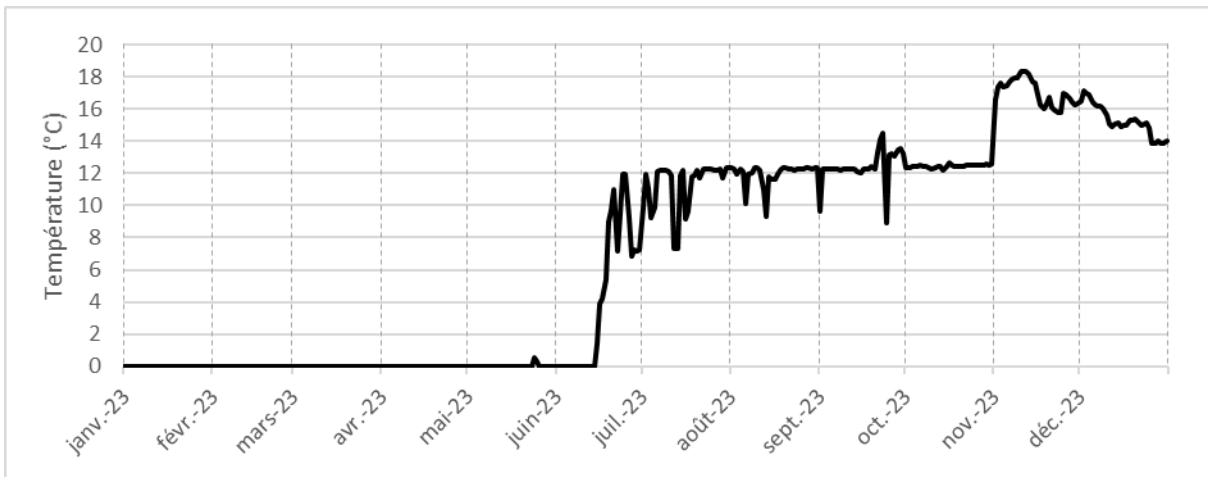


Figure A-9 : Ecart thermique journalier maximum entre le canal (source) et les sorties de condenseurs (source EDF)

A.3.2 PARTICULARITES HYDROCLIMATIQUES DE L'ANNEE EN COURS

Sur le territoire métropolitain, et dans la continuité de 2022, année la plus chaude que la France ait connue depuis le début du XXe siècle, l'année 2023 se classe au deuxième rang des années les plus chaudes sur notre territoire national. (Cf. ANNEXE A-2, p. 140).

Par contre pour Dieppe, cette année 2023 est la plus chaude depuis 1951, elle se classe donc au **premier rang des années les plus chaudes** avec une température moyenne annuelle de 12,5 °C et un **écart à la normale 1981-2010 de +1,6 degrés**, très peu devant 2022 avec 12,4 °C.

Il s'agit de la dixième année consécutive où la température moyenne dépasse la valeur de référence 1981-2010. Les années les plus chaudes sont majoritairement des années très récentes : 9 des 10 années les plus chaudes depuis 1950 sont postérieures à 2010.

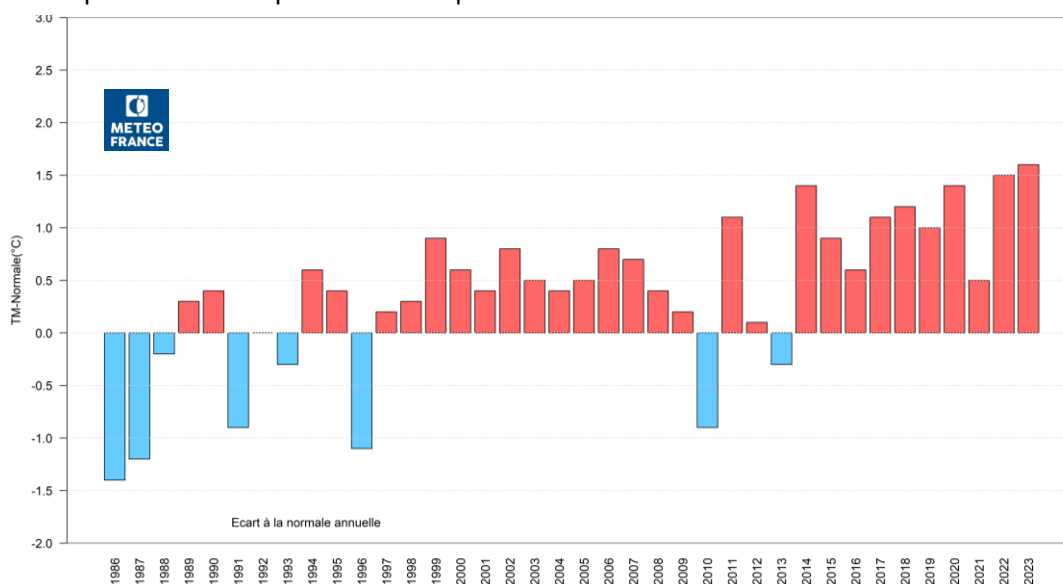


Figure A-10 : Ecart à la moyenne annuelle de référence 1981-2010 de la température moyenne à Dieppe

Sur le territoire métropolitain, et après une année 2022 extrêmement sèche, la pluviométrie en moyenne sur l'année 2023 est proche de la normale, avec néanmoins de forts contrastes nord- sud. Cette année est aussi marquée, au niveau de la métropole, par une alternance de périodes d'assèchement et de ré-humidification des sols de façon opposée entre le nord et le sud de la France. Plusieurs territoires ont subi d'importantes inondations notamment cet automne.

Sur Dieppe, avec 954 mm cumulés, la pluviométrie annuelle est excédentaire de 20 % par rapport à la valeur de référence 1981-2010 (798,2 mm) (Cf ANNEXE A-2, p. 140).

Malgré un mois de février très sec et à la faveur d'un mois de novembre particulièrement pluvieux, le cumul de précipitations de l'année 2023 occupe le 6e rang des années les plus pluvieuses sur une série de 38 années (de 1986 à 2023) après 2000, 1994, 2012, 1999 et 2001. (Figure A-11).

Pour comparer avec le territoire métropolitain, si l'on se place depuis 1959, le cumul de précipitations de l'année 2023 à Dieppe est au 8^e rang des années les plus pluvieuses.

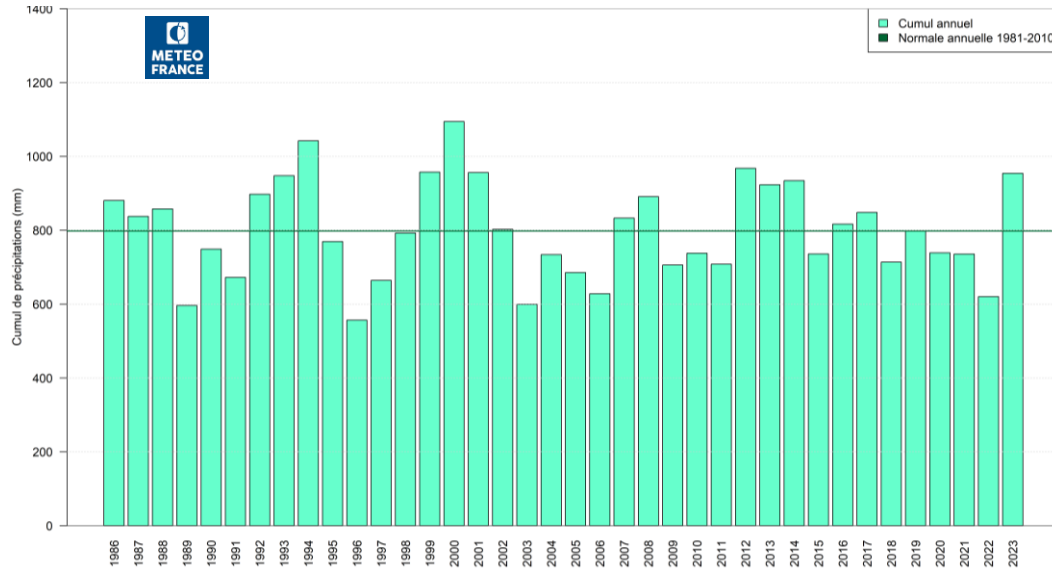


Figure A-11 : Cumuls annuels des précipitations à Dieppe depuis 1986.

Pour la station de Gonnevillle (50) définie comme station de référence, le rayonnement global cumulé en 2023 est inférieur à la moyenne 2011-2018, avec un déficit de l'ordre de 0,31 %. Les mois fluctuent entre déficit et excédent. Les mois de mars, juillet, novembre et décembre sont particulièrement maussades, tandis que février, mai et septembre sont très ensoleillés.

La moyenne annuelle du vent moyenné sur 10 minutes, mesuré à Dieppe, est de 16,9 km/h, moins que la moyenne de référence (18,4 km/h).

Sur toute l'année, le vent moyen est resté en dessous des valeurs habituelles, à l'exception des mois de novembre et décembre plus ventés que la normale.

A Dieppe, les vents instantanés les plus forts n'ont dépassé le seuil des 100 km/h qu'une seule journée, lors de la tempête Ciarán le 2 novembre (119,5 km/h).

A.3.2.1 Températures mensuelles et quotidiennes

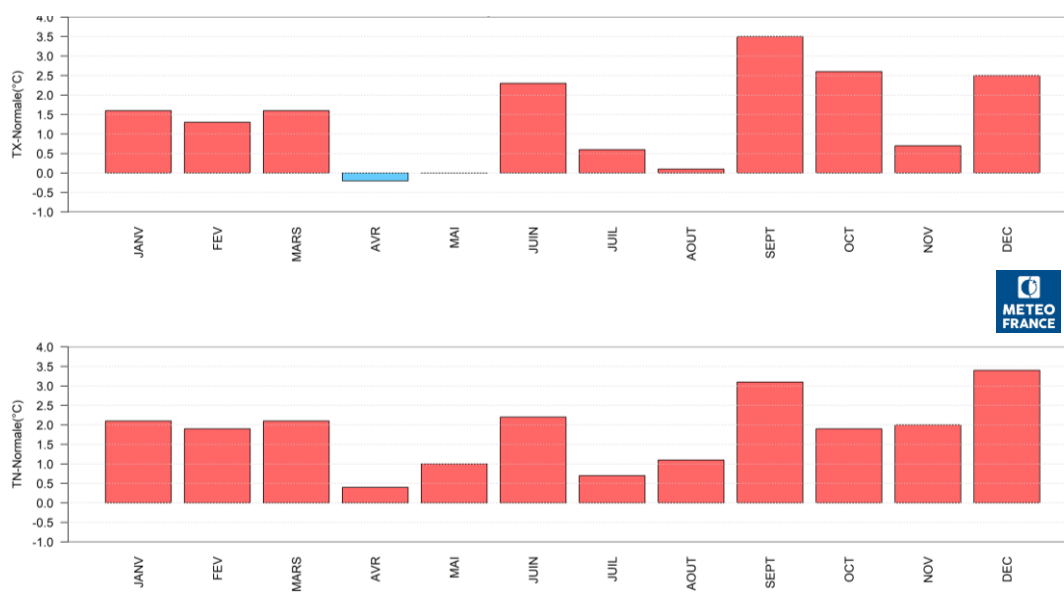


Figure A-12 : Ecart à la moyenne mensuelle de référence 1981-2010 des températures minimales (TN) et maximales (TX) à Dieppe de janvier à décembre (Source : METEO-FRANCE)

Cette année 2023 est la plus chaude depuis 1951 à Dieppe, malgré un printemps et un été contrastés. Les trois premiers mois de 2023 sont plus chauds que la normale (Figure A-12). Le mois d'avril est légèrement plus frais avec un déficit en température qui reste plutôt léger. Mai, juillet et août sont globalement conformes.

Les écarts à la normale les plus importants se situent en juin, septembre, octobre, novembre, dans une moindre mesure, et décembre, avec des températures minimales et maximales beaucoup plus chaudes que la normale.

À signaler :

- Janvier 2023 se classe au 12^e rang des mois de janvier les plus chauds depuis 1949 avec une température moyenne sur le mois de 7 °C. La moyenne des températures minimales se situent au 9^e rang avec 4,9 °C.
- Février est plus doux que la normale avec une température moyenne mensuelle de 6,9 °C et ce surtout pour les températures minimales (moyenne de 4,5 °C), sans pour autant figurer dans les années les plus chaudes du classement.
- Mars 2023 se classe au 5^e rang des mois de mars les plus chauds depuis 1949 après 1957, 2017, 1981 et 1989, avec une température moyenne sur le mois de 9,2 °C. Les minimales se situent au 3^e rang après 1981 et 2017, avec 6,6 °C.
- Avril est conforme à la normale (température moyenne mensuelle de 9,1 °C) et ce malgré une température maximale mensuelle plus fraîche de -0,2 degré par rapport à la normale.
- Mai, est plus doux que la normale, avec une température moyenne mensuelle de 12,7 °C, mais sans excès.
- Juin 2023 se classe au 2^e rang des mois de juin les plus chauds depuis 1949 (après 2017) avec une température moyenne sur le mois de 17,1 °C. La moyenne des températures maximales se situe au 3^e rang, avec 20,2 °C, après 2017 et 2003. La moyenne des températures minimales se situent au 3^e rang après 2018 et 2017, avec 14 °C.
- Septembre 2023 : **le mois se classe au 1^{er} rang des mois de septembre les plus chauds depuis 1949 avec une température moyenne sur le mois de 18,7 °C (précédent record de 18,5 °C en 2006)**. La moyenne des températures maximales de 22,4 °C se classe au 2^e rang des moyennes des températures maximales les plus chaudes depuis 1949 (après 1949 avec 22,5 °C). La moyenne des températures minimales se classe au 1^{er} rang des moyennes des températures minimales les plus chaudes depuis 1949 avec 15 °C (dernier record 14,8 °C en 2006) .

- Octobre 2023 : le mois se classe au 5^e rang des mois d'octobre les plus chauds depuis 1949 avec une température moyenne sur le mois de 14,7 °C.
- Novembre suit la tendance de la douceur avec une moyenne des températures moyennes de 9,9 °C, mais sans être remarquable. La moyenne des températures maximales est de 11,8 °C tandis que la moyenne des températures minimales est de 8 °C.
- En décembre, avec 8,6 °C de moyenne des températures moyennes, ce mois de décembre se situe au 3^e rang des mois de décembre les plus chauds depuis 1951 (après 2015, 1974). La moyenne des températures maximales est de 10,4 °C, elle se place au 5^e rang. Pour les minimales, la moyenne de 6,8 °C se classe au 4^e rang des moyennes des températures minimales les plus chaudes pour un mois de décembre depuis 1951 (après 2015, 1974 et 1988).

La Figure A-13 illustre une prédominance de températures au-dessus de la normale malgré quelques périodes plus froides, essentiellement en ce qui concerne les maximales quotidiennes.

Les pics de chaleur sont arrivés essentiellement en mai, en juin et début juillet, puis plus tardivement lors d'une vague de chaleur en septembre (la température maximale de l'année est atteinte le 12 septembre avec 32,3 °C).

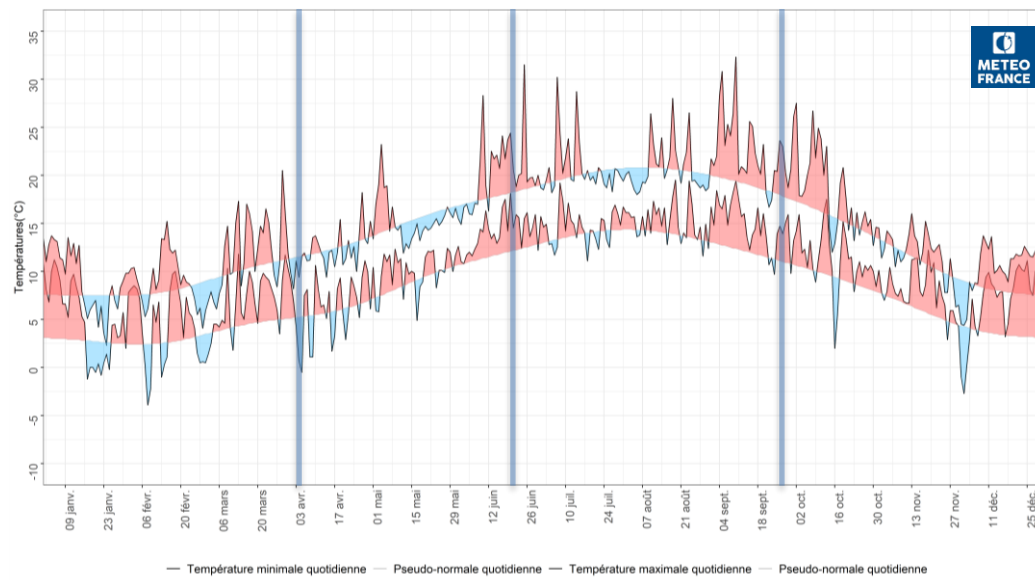


Figure A-13 : Températures minimales et maximales quotidiennes à Dieppe entre le 1^{er} janvier et le 31 décembre et écarts (positifs en rouge, négatif en bleu) à la normale quotidienne (Source : METEO-FRANCE).
Lignes bleues : Campagnes PELAGIQUE de surveillance.

Dans la continuité de février, mars est printanier : la douceur quasi continue dès le 8 mars s'accompagne de pics de chaleur précoces (17,3 °C le 10 mars, 16,3 °C le 19 mars, entre 16 et 19 °C du 21 au 23 mars). Cependant, les températures minimales restent parfois assez basses, entraînant des amplitudes de températures relativement importantes de 12 à 15 degrés. L'hiver fait son retour en fin de mois.

À signaler :

- Janvier 2023 se déroule en deux temps bien distincts : sa première moitié connaît des températures maximales très douces, largement supérieures à 10 °C, la seconde moitié du mois est marquée par un brusque retour à des températures plus froides que la normale (en 3 jours, on perd 7 degrés pour les maximales, passant de 12,7 °C le 14 à 5,1 °C le 17 (avec retour des gelées avec -1,2 °C en minimale le 17)).
- Février est doux avec quelques fluctuations : 8 et 9 février des gelées respectivement de -3,9 °C et -2,2 °C, le 15 février, on atteint 15,2 °C au meilleur de la journée.
- Mars débute avec une première décade plus froide mais sans gelée, les deux dernières décades sont plus douces avec des températures maximales qui dépassent 15 °C au cours de quelques journées. Le 29 mars, la température atteint 20,5 °C.

- Hormis le 19 avril avec une pointe à 15,4 °C, ce mois d'avril est globalement plus frais que la normale. La dernière gelée printanière se déroule le 05 avril avec -0,5 °C.
- En mai, du 04 au 10, les températures minimales et maximales sont majoritairement plus chaudes que la normale, avec une pointe à 23,2 °C, le 4. Le reste du mois se déroule sous un temps perturbé et plus frais mais sans gelée tardive.
- En juin, les températures sont au-dessus de la normale durant presque tout le mois et sont dignes d'un début d'été. La chaleur journalière reste modérée ; les nuits sont très douces, le thermomètre ne descendant pas en dessous de 10 °C, voire 15 °C ponctuellement. À signaler une journée chaude dépassant 30 °C (le 25 juin avec 31,5 °C).
- En juillet, le début de mois est doux avec une seule journée dépassant 30 °C (30,2 °C le 07 juillet). À partir du 16 juillet, les températures sont plus fraîches et atteignent péniblement 20 °C au meilleur de la journée.
- Le début du mois d'août est encore frais. À partir du 10, un temps plus estival s'installe, devenant ensoleillé et modérément chaud, sans excès. La température redevient plus fraîche le 25, en dessous des valeurs de saison.
- Le mois de septembre connaît une vague de chaleur tardive avec des températures maximales le plus souvent supérieures à 25 °C (7 jours) et 2 jours supérieurs à 30 °C. C'est à cette période que la température maximale de l'année est atteinte avec 32,3 °C le 10 septembre.
- Le mois d'octobre est exceptionnellement doux, surtout au cours de la première quinzaine où les températures minimales et maximales sont particulièrement élevées. Le 2 octobre, le record mensuel pour un mois d'octobre est battu avec 27,5 °C mesurés (dernier record 27,4 °C en 1985). À partir du 15 octobre, un rafraîchissement passager est suivi d'une douceur moins marquée liée aux passages successifs de perturbations océaniques alternant avec quelques nuits plus dégagées, propices à la baisse des températures nocturnes.
- La douceur prime toujours au cours du mois de novembre avec jusqu'à 4 degrés d'écart à la normale le 13 novembre pour une température maximale qui atteint 16 °C. À partir du 25 novembre, les températures sont plus fraîches que la normale jusqu'à la fin du mois.
- Décembre débute avec une première semaine plus fraîche que la normale, les gelées matinales sont enregistrées les 01 et 02 décembre (température minimale le 02 décembre de -2,7 °C). Le reste du mois est à nouveau très doux avec des températures minimales régulièrement au-dessus de 10 °C du 21 au 25 décembre.

Les deux graphiques suivants présentent le nombre de jours où les températures minimales sont descendues en dessous de 0 °C d'une part et celui où les températures maximales ont dépassé les 25 °C d'autre part.

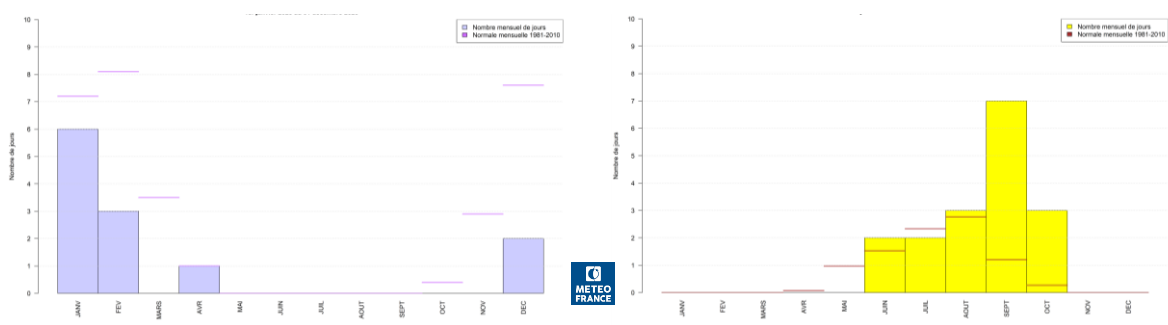


Figure A-14 : Nombres mensuels de jours de gel ($\leq 0^{\circ}\text{C}$) à gauche et de chaleur ($\geq 25^{\circ}\text{C}$) à droite à Dieppe de janvier à décembre.

[Lignes horizontales : Normales de référence (Cf. ANNEXE A-2, p. 140)]

Sur l'année, le nombre de jours de gel est bien en dessous de ce qui est observé habituellement : on ne recense que 12 jours de gel contre 20 jours habituellement pour cette même période.

En janvier, on enregistre tout de même 6 jours de gel contre 7 habituellement. En février, il ne gèle que 3 jours contre 8 jours habituellement. En mars, aucune gelée n'est recensée contre 3,5 habituellement

durant ce mois. En avril, un jour de gel est relevé, ce qui correspond à la normale. En décembre, 2 jours de gel sont enregistrés contre plus de 7 attendus.

Le nombre de jours où la température diurne a dépassé 25 °C est de 17, contre 9 jours habituellement. On dénombre 7 jours de températures maximales supérieures à 25 °C contre 1 habituellement en septembre. Octobre bat le record du nombre de jours chauds avec 3 jours comptabilisés contre 0,3 jour en moyenne sur la période de référence.

Si l'on regarde l'occurrence des journées à plus de 30 °C, elle est de 4 jours (1 jour en juin, 1 jour en juillet et 2 jours en septembre) contre 1,5 jours selon la normale pour l'année.

A.3.2.2 Température de l'eau de mer (données EDF)

Quotidiennement les services du CNPE procèdent à des mesures de la température "source" au niveau du canal d'amenée. Ces mesures sont réalisées dans un environnement qui se distingue des mesures réalisées en mer et à ce titre, elles ne peuvent être considérées comme parfaitement représentatives de la température de l'eau de mer. Cependant, la profondeur temporelle de ces mesures (les données sont disponibles depuis le début des années 1990) leur confère une valeur de référence qui permet chaque année de replacer la dynamique thermique observée dans son contexte historique (1990-2022).

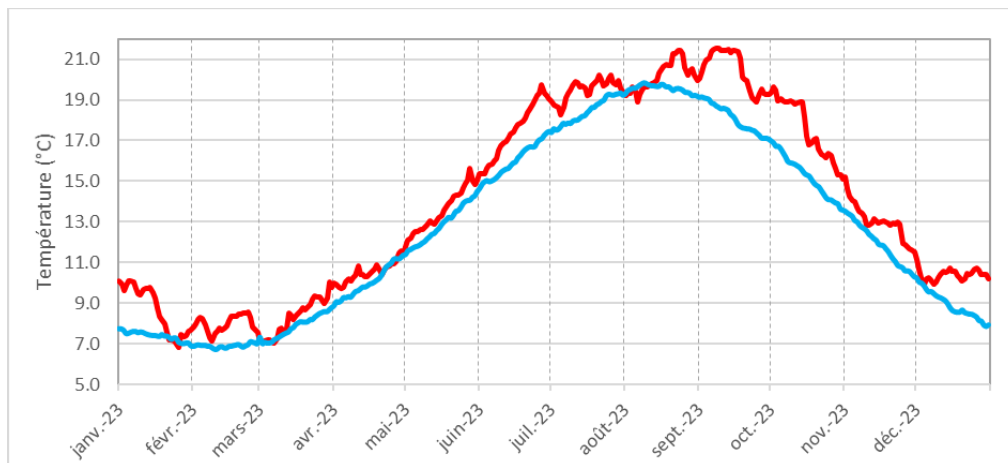


Figure A-15 : Température quotidienne mesurée par EDF dans le canal d'amenée (Rouge) comparée à ces mêmes mesures quotidiennes moyennées (bleu) sur la période 1990-2022 (source EDF)

L'année 2023 se caractérise par des températures mesurées nettement supérieures à la moyenne des 30 dernières années avec une valeur maximum de 21.5°C observée le 7 septembre.

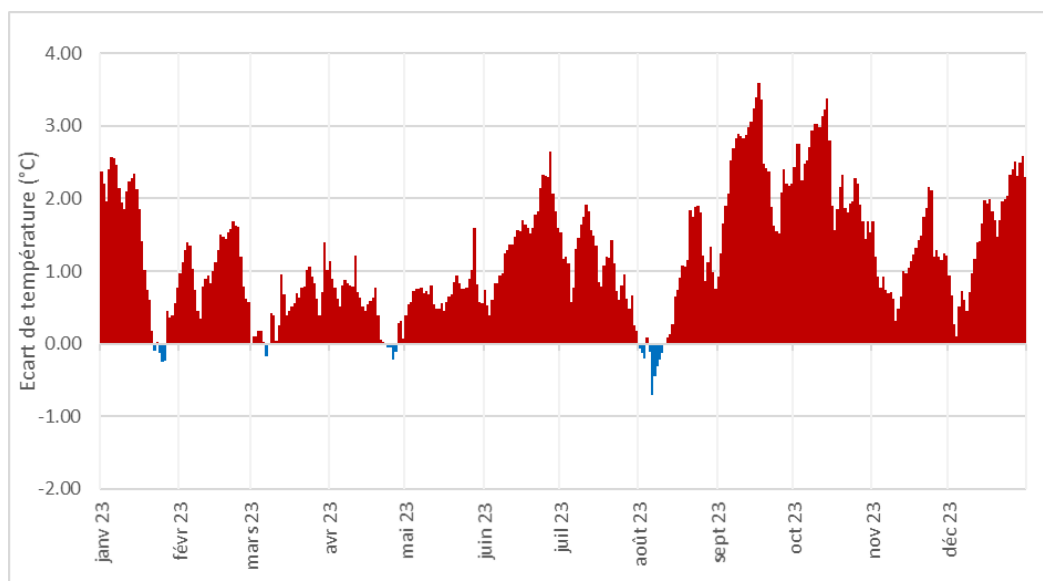


Figure A-16 : Anomalies de la température quotidienne mesurée par EDF dans le canal en référence aux moyennes calculées sur la période 1990-2022.

Les anomalies thermiques observées pendant l'année 2023 témoignent d'un échauffement continu avec un écart de température moyen de 1.23°C et un maximum de 3.59°C mesuré le 12 octobre.

A.3.2.3 Précipitations

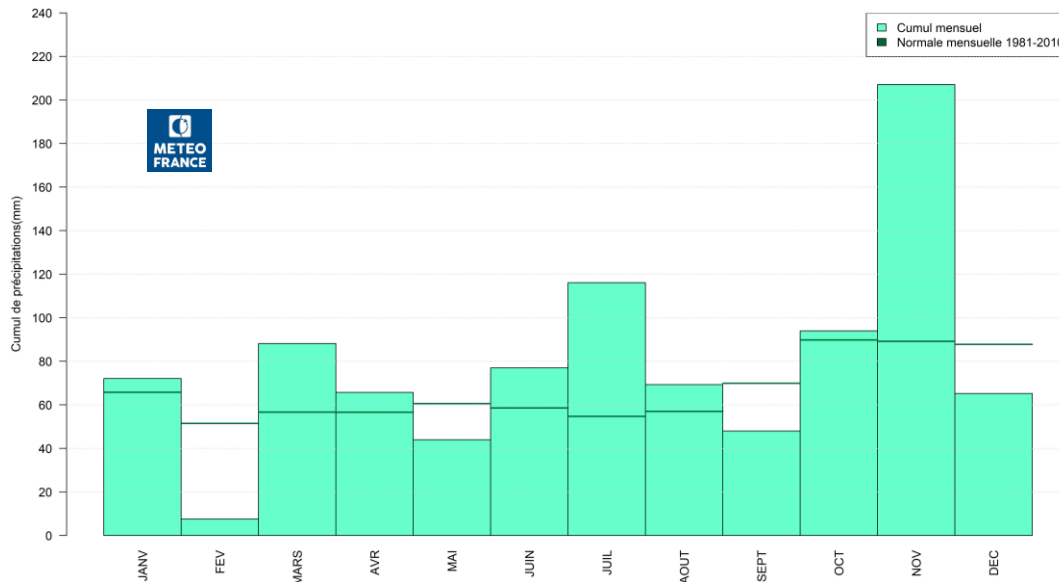


Figure A-17 : Cumul mensuel des précipitations à Dieppe en référence à la normale mensuelle sur la période 1981-2010. [Lignes horizontales : Normales de référence (Cf. ANNEXE A-2, p. 140)] (Source : METEO-FRANCE)

Sur l'ensemble de l'année 2023, le cumul des précipitations est de 954 mm, ce qui représente un excédent de 20 % par rapport au cumul attendu sur cette même période (798 mm).

Excepté, février particulièrement sec, puis mai, septembre et décembre déficitaires mais dans une moindre mesure, les autres mois (janvier, mars et avril, juin, juillet, août et octobre et surtout novembre) sont excédentaires. (Figure A-17)

Les journées avec les plus forts cumuls (Figure A-18) sont dans l'ordre décroissant : 61,5 mm le 18 juin, 40,9 mm le 2 novembre (tempête Ciarán) et 35,7 mm le 23 juillet.

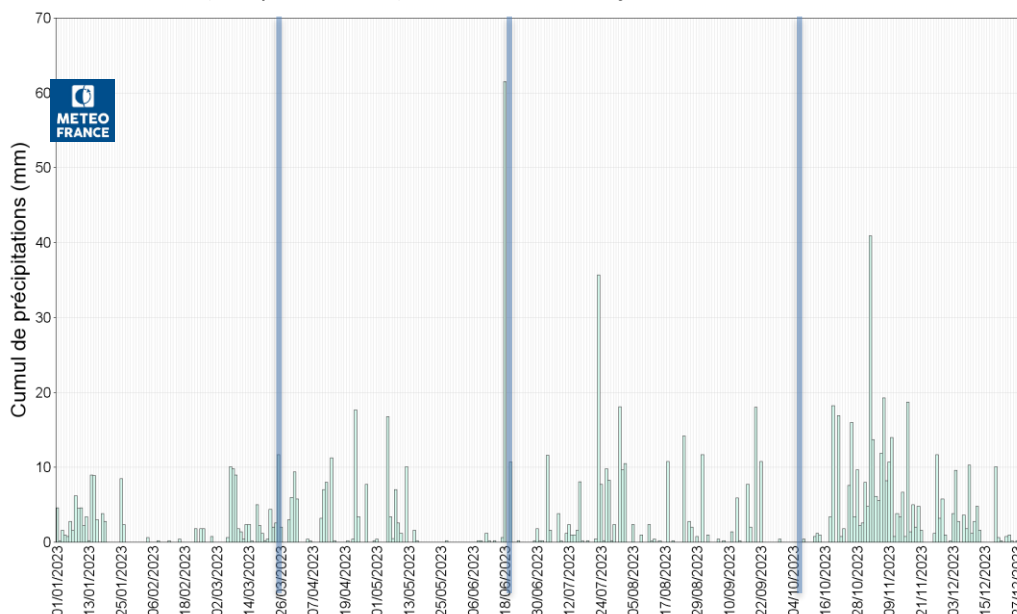


Figure A-18 : Cumul quotidien des précipitations à Dieppe du 1^{er} janvier au 31 décembre (Source : METEO-FRANCE).
Lignes bleues : Campagnes PELAGIQUE de surveillance.

A.3.2.4 Ensoleillement

Sur 2023, le cumul total du rayonnement global est conforme à la moyenne 2011-2018 de Gonneville (léger déficit de 0,31 %).

Au cours de 2023 les cumuls mensuels du rayonnement fluctuent constamment entre déficit et excédent par rapport à la moyenne 2011-2018 de Gonneville.

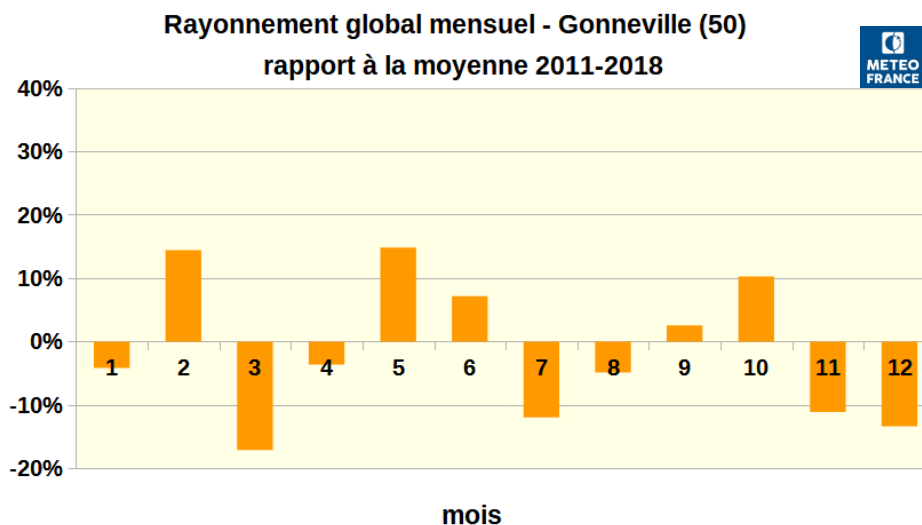


Figure A-19 : Rayonnement global mensuel à Gonneville [50] : écart à la moyenne 2011-2018 (Source : METEO-FRANCE).
(Cf. ANNEXE A-2, p. 140).

A.3.2.5 Vent

Les secteurs de vents dominants sont conformes à la normale mais des différences entre la rose de vent de 2023 (Figure A-20) et celle des normales 1981-2010 (ANNEXE A-2, p. 140) apparaissent :

- Les vents de secteur nord à nord-est sont plus fréquents qu’habituellement.
- Le secteur du sud à sud-est de vents dominants est conforme à la normale, avec une proportion importante de vents de sud-sud-est au détriment des vents de sud par rapport à la rose normale 1981-2010. Il s’agit essentiellement de vents faibles ou modérés.
- Les vents d’ouest-sud-ouest sont également bien marqués, ils sont généralement assez forts. La tendance ouest est plus marquée sur la rose normale.
- Les vents faibles sont plus fréquents que la normale au détriment des vents forts.
- Le pourcentage de vents calmes (entre 0 et 5 km/h) est moins important que la normale annuelle et la vitesse moyenne des vents est de 16,9 km/h sur la période étudiée soit 1,5 km/h en deçà de la normale 1981-2010.
- A Dieppe, en 2023, le vent a dépassé 100 km/h une seule fois, contre 4 jours habituellement.
- La rafale maximale sur cette période est de 119,5 km/h (le 2 novembre lors de la tempête Ciarán).

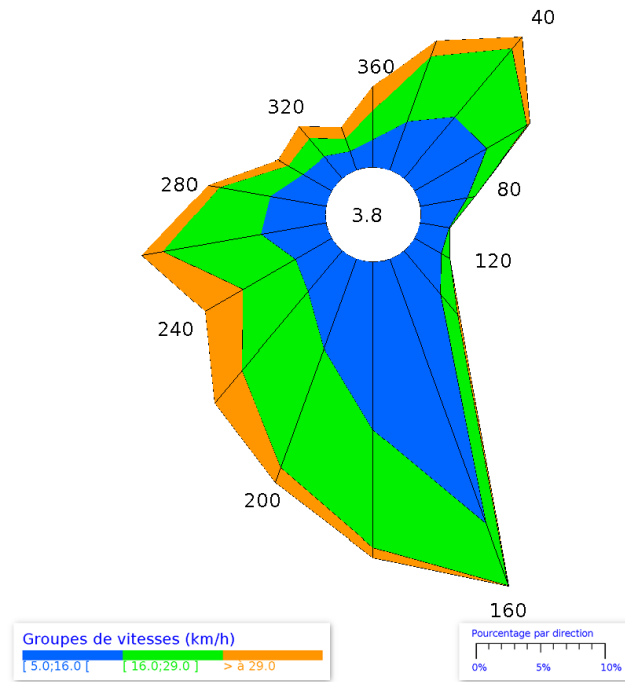


Figure A-20 : Fréquence des vents en fonction de leur provenance en %, moyenné sur 10 minutes, observée à Dieppe entre le 1^{er} janvier et le 31 décembre (Source : METEO-FRANCE).

A.3.3 DEBITS DE LA SEINE ET DE LA BETHUNE

A.3.3.1 La Bétune à Saint-Aubin-le-Cauf : données hydrologiques (1966 - 2022)

La Bétune est une rivière longue de 61 kilomètres. Dans le cadre d'un régime pluvial océanique, la Bétune possède un débit moyen annuel relativement médiocre de 2,93 m³/s mesuré à la station hydrologique de Saint-Aubin-le-Cauf. Cette faiblesse s'explique par l'aire hydrographique limitée et elle bénéficie cependant de précipitations annuelles comprises entre 750 et 850 mm. Observée depuis 1966, la rivière présente des variations assez importantes de son module, la période des hautes eaux est enregistrée durant la période hivernale avec une moyenne mensuelle comprise entre 4,21 m³/s et 4,87 m³/s atteint en février, les basses eaux interviennent pendant l'été avec des débits compris entre 1,27 m³/s et 1,6 m³/s de juillet à septembre.

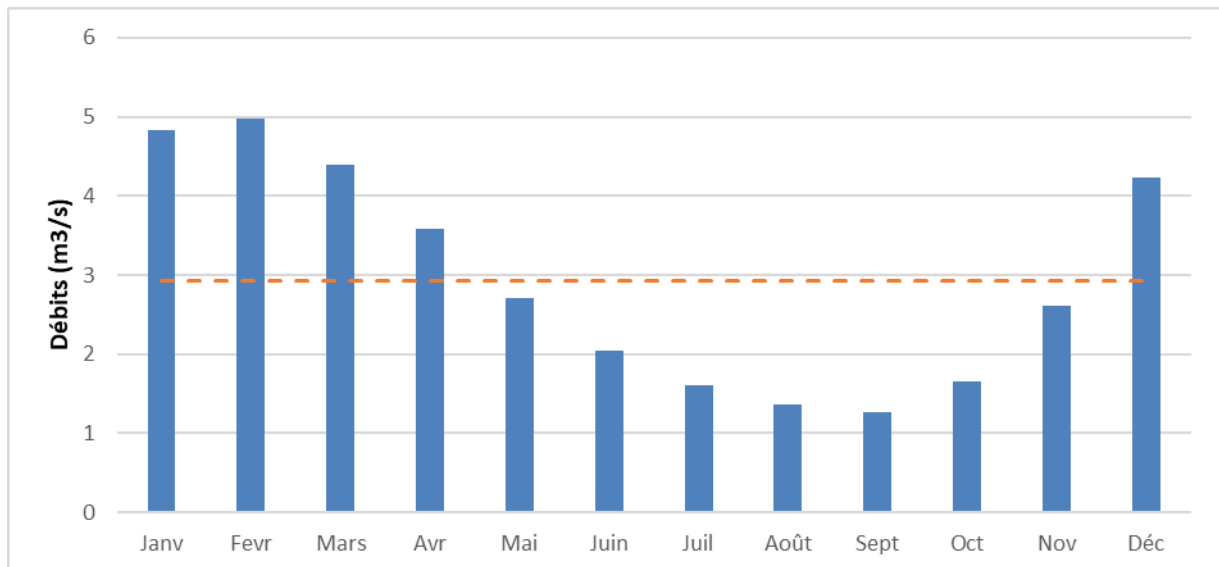


Figure 21 : Station hydrologique G206 0210 - Ecoulements mensuels (naturels) - données calculées sur 55 ans (Source: DREAL Haute-Normandie)

Cette année 2023 se caractérise par quatre écarts nettement supérieurs à la moyenne (1975-2022) observés en janvier (+1.29 m³/s), avril (+1.53 m³/s), novembre (+3.34 m³/s) et décembre (+2.17 m³/s) ainsi que deux débits mensuels nettement inférieurs à la moyenne historique en février et mars.

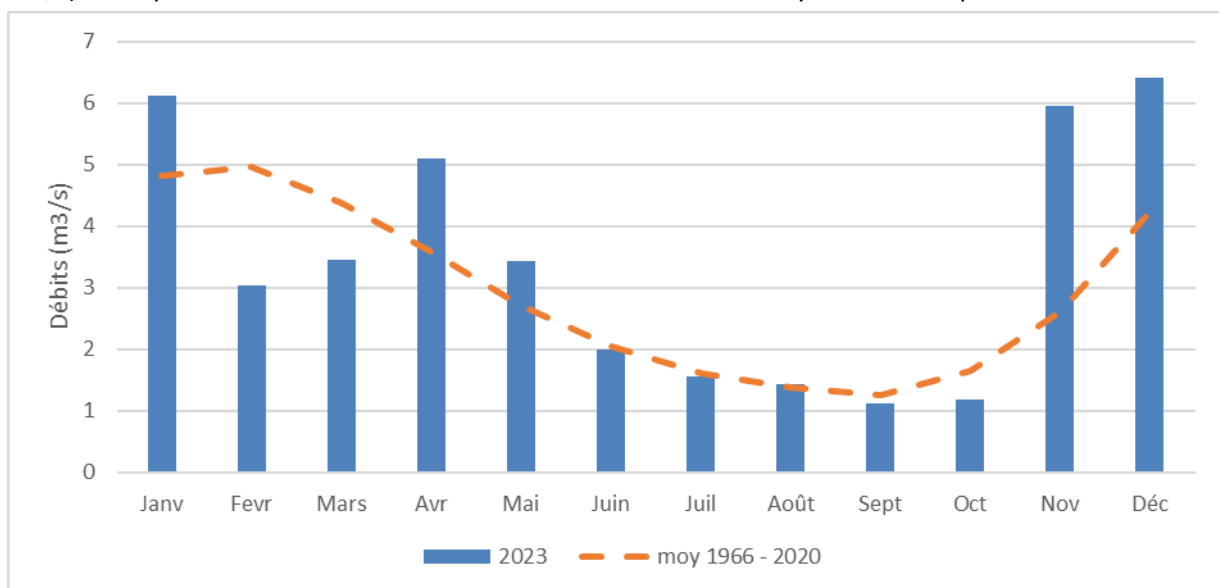


Figure 22 Station hydrologique G206 0210 – Moyenne des écoulements mensuels calculées sur 55 ans et débit mensuel de l'année 2023 (Source: DREAL Haute-Normandie)

A.3.3.2 La Seine à Vernon : données hydrologiques de 1966 – 2022

La Seine est un fleuve long de 774,16 kilomètres. Son bassin versant, d’une superficie de 79 000 km², englobe près de 30% de la population du pays.

Bien que la pluviométrie soit bien distribuée sur l'année, la Seine et ses affluents peuvent connaître des périodes d'étiage sévère à la fin de l'été ou au contraire des crues importantes en hiver. Les crues sont de deux types :

- Les crues rapides dans les parties amont du bassin à la suite de précipitations fortes
- Les crues lentes dans les vallées plus en aval qui font suite à des épisodes pluvieux prolongés.

Son débit moyen à la station hydrologique de Vernon est d'environ 485 m³/s avec un débit journalier maximal de 2120 m³/s enregistré le 31 janvier 2018.

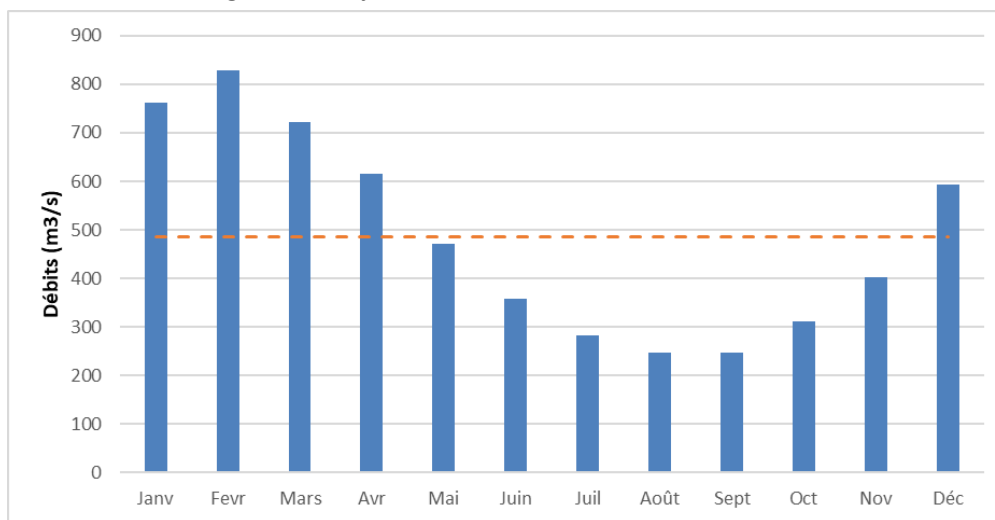


Figure A-23 : Station hydrologique H8100020 - Écoulements mensuels moyens (naturels) et moyenne calculée sur 45 ans (Source : DRIEE IDF).

Cette année 2023 se caractérise par deux écarts nettement supérieurs à la moyenne (1975-2020) observés en novembre (+313 m³/s) et en décembre (+416 m³/s) ainsi que deux débits mensuels nettement inférieurs à la moyenne historique avec notamment une valeur remarquable en février (319 m³/s).

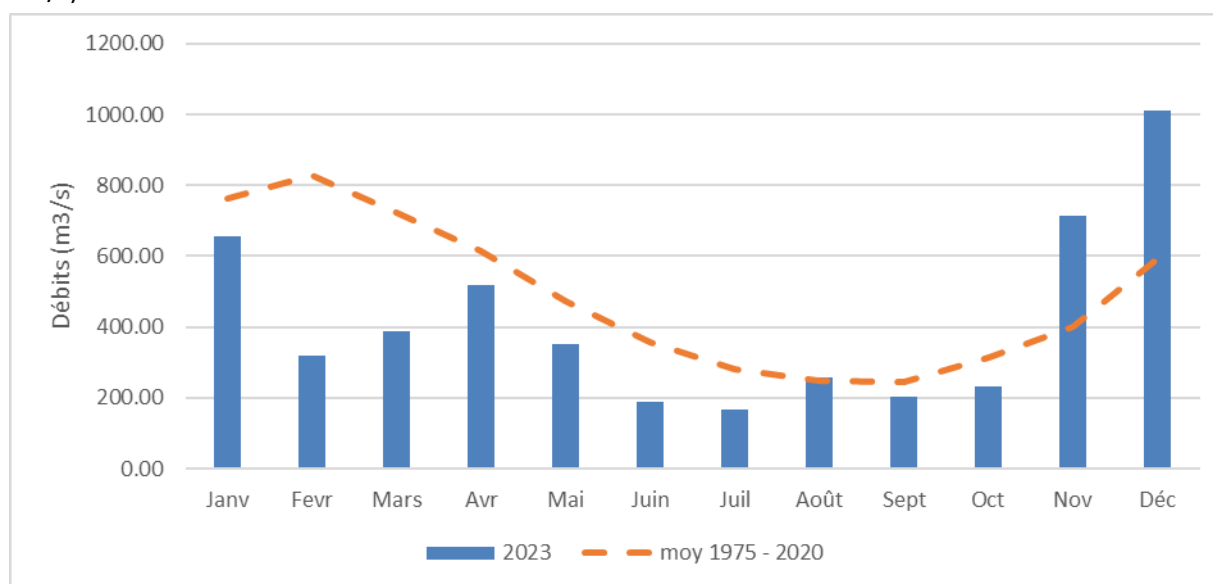


Figure A-24 : Station hydrologique H8100020 – Débits mensuels et Moyenne des écoulements mensuels calculée sur 45 ans (Source : DRIEE IDF)

B LE DOMAINE PELAGIQUE

Préambule

Le suivi écologique annuel du domaine pélagique est réalisé en trois périodes saisonnières (fin d'hiver, fin de printemps, fin d'été). Elles correspondent, pour chaque domaine concerné (réserves trophiques, phytoplancton, zooplancton) à des périodes de dominances correspondant à des phases clés du développement biologique en milieu marin. La Figure B-1 résume ces différentes interactions. De plus, des différences spatiales entre les stations peuvent être observées du fait des gradients côte-large liés en grande partie aux particularités environnementales (petits fonds, apports terrigènes, hydrodynamisme, ...)

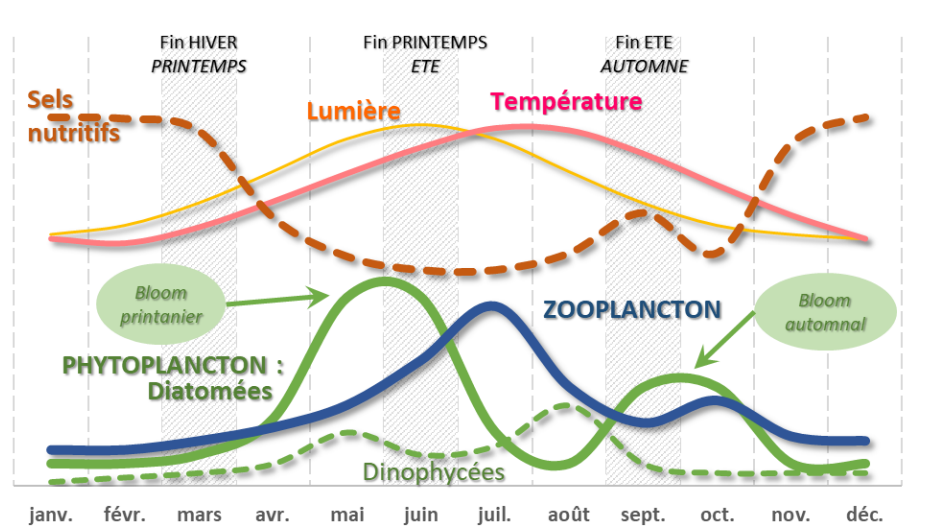


Figure B-1: Schéma synthétique de la dynamique saisonnière des différents domaines (température, sels nutritifs, phytoplancton, zooplancton) associés au compartiment pélagique du milieu marin.

Durant ces trois périodes cibles la surveillance du compartiment pélagique s'articule selon 3 axes :

- **Physico-Chimie** : Les paramètres sont appréhendés soit directement par des mesures *in-situ* (température, salinité, oxygène dissous), directement à bord du bateau (turbidité), soit après retour au laboratoire par analyses sur des échantillons d'eau prélevés lors de la campagne en mer (ammonium, nitrate, nitrite, silicate, phosphate, et MES).
- **Biologie** : les paramètres couvrent les domaines de la microbiologie (germes totaux, Germes revivifiables et vibrions halophiles), du phytoplancton (biomasse chlorophyllienne, flores totales, production primaire) et du zooplancton (dénombrement faunistique, biomasse)
- **Substances Chimiques** : elles portent sur la recherche et la quantification de différentes molécules chimiques, sous-produits de la chloration, susceptibles d'être retrouvés dans le milieu récepteur : trihalométhanes, hydrazine et éthanolamine.

PHYSICO-CHIMIE, CHIMIE

Rédaction mise en page

Lotfi M'Zari (LERN)
Michel Ropert (LERN)

Prélèvements et mesures *in situ*

Lucie Dechamps (LERN),
Sylvaine Françoise (LERN),
Charlotte Mary (LERN)
Frank Maheux (LERN),
Benjamin Simon (LERN),
Lotfi M'zari (LERN)

Analyses

Laure Lamort (LERN)
Charlotte Mary (LERN)
Sylvaine Françoise (LERN)
Lucie Dechamps (LERN)
Lotfi M'Zari (LERN)

Traitement des données

Tania Hernández Fariñas (LERN)
Alexandre Bennici (LERN)

Bancarisation (Contrôle, validation)

Lotfi M'Zari (LERN)
Laure Lamort (LERN)
Charlotte Mary (LERN)
Michel Ropert (LERN)

Prestataires extérieurs

Laboratoire LABEO Franck Duncombe de Caen
Laboratoire SGS/Rouen

Expertise thématique

Florence Menet-Nedelec (LERN, chimie)
Lotfi M'Zari (LERN, Physico-Chimie)

B.1 Hydrologie, physico-chimie, chimie

Les éléments présentés dans ce chapitre portent sur les paramètres mesurés dans le cadre des mesures in-situ (température, salinité, oxygène dissous, turbidité), des sels nutritifs (ammonium, nitrates et nitrites, phosphates, silicates), des matières en suspension (MES) et des substances chimiques (trihalométhanes, hydrazine et éthanolamine).

Le terme nutriments désigne l'ensemble des composés nécessaires à la nutrition des producteurs primaires (phytoplancton, algues...) dont les principaux sont le nitrate, le nitrite, l'ammonium, le phosphate et le silicate. Les nutriments sont naturellement présents dans le milieu, cependant des concentrations excessives apportées au milieu marin par le lessivage des sols et les cours d'eau peuvent avoir pour origine les rejets urbains (station d'épuration, assainissement non collectif), industriels (industrie agro-alimentaire, laveries...), ou agricoles (engrais).

Une augmentation de la teneur en nutriments peut engendrer des développements massifs de certaines espèces phytoplanctoniques, de macroalgues opportunistes et/ou de chiendent maritime. Ces phénomènes dits « d'eutrophisation » provoquent une diminution de l'intensité lumineuse nécessaire à la photosynthèse ainsi qu'une augmentation des teneurs en matières organiques dont la dégradation consomme l'oxygène dissous dans la colonne d'eau. Ces proliférations peuvent également avoir des répercussions mortelles sur la flore et la faune environnante par certaines espèces phytoplanctoniques plus ou moins toxiques.

Les nutriments suivis correspondent aux formes minérales dissoutes des éléments azote (N), phosphore (P) et silicium (Si). Dans le système international et le référentiel français, les teneurs en milieu marin s'expriment en micromoles par litre ($\mu\text{mol/L}$).

B.1.1 STRATEGIE DE SURVEILLANCE

Le compartiment pélagique fait l'objet d'un suivi depuis les premières études de projet remontant à 1975. La surveillance écologique a été initiée en 1987 (3 ans avant la mise en service de la première tranche du CNPE). C'est à partir de 1989 qu'elle s'est stabilisée en termes de fréquence au cours de l'année (3 périodes) (Cf. Tableau 0-1 (p. 2) et Tableau B-1).

Tableau B-1 : Récapitulatif des paramètres suivis dans les domaines hydrologie, physico-chimie et chimie. (voir Figure 0-1 (p. 6) pour localisation des points)

PARAMETRES	Nb. Ech.	Stations (N° Quadrige = Intitulé dans le rapport)	Fréquence
Température	1 Surf.	4 stations : CANAL AMENE (station 1 ; Canal) REJET (station 2 ; Rejet) CONTRÔLE (station 3 ; Contrôle) RÉFÉRENCE (station 4 ; Référence)	3 campagnes - Printemps 04/04/2023 - Été 20/06/2023 - Automne 26/09/2023
Salinité			
Ammonium			
Nitrates			
Nitrites			
Phosphates			
Silicates			
Matières en suspension			
Turbidité			
Oxygène dissous			
Hydrazine			
Éthanolamine			
Trihalométhanes			

Jusqu'en 2006, les campagnes de suivi en mer ont été mises en œuvre depuis le N/O THALIA⁹ de l'Ifremer. À compter de l'année 2007, toutes les opérations nécessaires pour le suivi du compartiment pélagique ont été mises en œuvre depuis la station de Port en Bessin au moyen du N/O DELPHY¹⁰, embarcation plus légère et polyvalente, mieux adaptée au contexte de la surveillance écologique.

B.1.2 MATERIELS ET METHODES

B.1.2.1 Échantillonnages, mesures in situ et prélèvements

Conformément à la stratégie mise en place pour le site de Penly, les travaux de surveillance ont été réalisés autour de la pleine mer et par coefficients de mortes-eaux. Les mesures de température, salinité et oxygène dissous sont directement effectuées *in situ* au moyen de sondes multiparamètres YSI 6600EDS-M ou 600QS.

En dehors de la turbidité qui est mesurée avec un turbidimètre à bord du bateau, tous les autres paramètres (physico-chimie et chimie) sont analysés en laboratoire à partir d'échantillons d'eau brute prélevés en mer au moyen d'une bouteille à prélèvement (type Niskin). Conformément au cahier des charges, ils sont conservés au frais en glacière et à l'abri de la lumière jusqu'au transfert au laboratoire d'analyse.

B.1.2.2 Méthodes et précisions

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

Deux groupes de paramètres hydrologiques suivis se distinguent : les paramètres physico-chimiques et les paramètres chimiques. Les paramètres physico-chimiques mesurés sont la température de l'eau, la turbidité, la salinité, les matières en suspension et les sels nutritifs (nitrate, nitrite, ammonium, phosphate et silicate). Les techniques appliquées à l'échantillonnage de ces différents paramètres sont présentées dans le manuel intitulé « *Hydrologie des écosystèmes marins, paramètres et analyses* » (Aminot et Kérouel, 2004). Les paramètres chimiques de trihalométhanes ont été prélevés selon les prescriptions du LABEO-Frank Duncombe (Caen), laboratoire en charge des analyses (Tableau 0-4, p.5). La méthode d'analyse des matières en suspension (MES), traités au LER/N-Ifremer, est présentée dans l'ouvrage intitulé « *Hydrologie des écosystèmes marins, paramètres et analyses* » (Aminot et Kérouel (2004), p,164). La charge de matières en suspension est mesurée par pesée après filtration et séchage de l'échantillon d'eau de mer brut.

Les analyses des différents sels nutritifs, sont réalisées au LER/N-Ifremer à l'aide d'un autoanalyseur à flux continu. Le principe repose sur une détection colorimétrique ou fluorimétrique (NH₄), suite à l'ajout de réactifs aux échantillons entraînant une réaction colorée dont l'intensité est proportionnelle à la concentration de la molécule recherchée. Les méthodes sont décrites dans l'ouvrage « *Dosage automatique des nutriments dans les eaux marines* » (Aminot et Kérouel, 2007). Le LER/N est accrédité par le Cofrac pour les analyses de nutriments dans les eaux salines et saumâtres.

Le suivi de ces paramètres hydrologiques est complété par des mesures de concentrations en hydrazine et en éthanolamine. Ces paramètres sont analysés par le Laboratoire SGS (Saint-Etienne du Rouvray, 76) par chromatographie ionique et méthode LC/MS/MS (méthodes internes au laboratoire).

⁹ <http://www.flotteoceanographique.fr/La-flotte/Navires/Navires-cotiers/Thalia>

¹⁰ <http://www.ifremer.fr/ler/n/Nos-outils/Nos-moyens-d-interventions-nautiques>

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 ⁽¹⁾	Précision n
Température [TEMP] [SANDRE : 1301]	Mesure in situ : Sonde YSI 6600EDS-M ou 600QS Capteur de température in situ [SANDRE : 500] Aminot & Kérouel (2004), p. 59		(Non pertinent)	± 0,01 °C
Salinité [SALI] [SANDRE : 1842]	Mesure in situ : Sonde YSI 6600EDS-M Capteur de conductivité in situ [SANDRE : 511] Aminot & Kérouel (2004), p. 65		(Non pertinent)	± 0,01 (pas d'unité)
Oxygène dissous [OXY] [SANDRE : 1311]	Mesure in situ : Sonde YSI 6600EDS-M Capteur oxygène à luminescence [SANDRE : 752] Aminot & Kérouel (2004), p.12 / NF EN ISO 25814		(Non pertinent)	± 0,1 mg/l
Turbidité [FNU] [SANDRE : 1295]	Bouteille Niskin 5 L [SANDRE : 60000180] Turbidimètre embarqué : EVTECH instrument TN-100	diffusion lumière IR 850 nm [SANDRE : 1035] Aminot & Kérouel (2004), p.137 NF EN ISO 7027 / DIN 27027	(Non pertinent)	± 2 % FNU
Matières en Suspension [MES] [SANDRE 1305]	Bouteille Niskin 5 L [SANDRE : 60000180] 1 flacon 1 L Congélateur (-25°C) 2 mois maximum	Pesée après filtration GFF (0,1µm) et séchage Aminot & Kérouel (2004), p. 164 [SANDRE : 519]	LD : 0,01 mg/l	± 0,1 mg/l
Azote nitreux Nitrite seul ⁽²⁾ [NO2] [SANDRE : 1339 / 6364]	Bouteille Niskin 5 L [SANDRE : 60000180] Préfiltration 48 µm Nylon 2 flacons 65 ml Congélateur (-25°C) 6 mois maximum	Spectroph. flux Autoanalyseur Seal AA3 (Technicon) [Accrédité COFRAC] Aminot & Kérouel (2007), p. 17 [SANDRE : 754]	LQ : 0,02 µmol/L (= 1 µg/L)	6,1 % ⁽³⁾
Azote nitrique Nitrate seul ⁽²⁾ [NO3] [SANDRE : 1340 / 6364]	Bouteille Niskin 5 L [SANDRE : 60000180] Préfiltration 48 µm Nylon 2 flacons 65 ml Congélateur (-25°C) 6 mois maximum	Spectroph. flux Autoanalyseur Seal I AA3 (Technicon) [Accrédité COFRAC] Aminot & Kérouel (2007), p.16 [par différence [(NO3+NO2)-NO2] [SANDRE : 755/754]	LQ : 0,10 µmol/L (= 6 µg/L)	
Ammonium ⁽²⁾ [NH4] [SANDRE : 1335]	Bouteille Niskin 5 L [SANDRE : 60000180] Préfiltration 48 µm Nylon 2 flacons 65 ml Congélateur (-25°C) 6 mois maximum	Spectroph. flux Autoanalyseur Seal AA3 (Technicon) [Accrédité COFRAC] Aminot & Kérouel (2007), p.102 [SANDRE : 764]	LQ : 0,10 µmol/L (= 2 µg/L)	15,4 % ⁽³⁾
Phosphate ⁽²⁾ [PO4] [SANDRE : 1433]	Bouteille Niskin 5 L [SANDRE : 60000180] Préfiltration 48 µm Nylon 2 flacons 65 ml Congélateur (-25°C) 6 mois maximum	Spectroph. flux Autoanalyseur Seal AA3 (Technicon) [Accrédité COFRAC] Aminot & Kérouel (2007), p.123 [SANDRE : 762]	LQ : 0,04 µmol/L (= 4 µg/L)	6,1 % ⁽³⁾
Silicate ⁽²⁾ [SiOH] [SANDRE : 1342]	Bouteille Niskin 5 L [SANDRE : 60000180] Préfiltration 48 µm Nylon 2 flacons 125 ml Réfrigérateur (4°C) 2 mois maximum	Spectroph. flux Autoanalyseur Seal AA3 (Technicon) [Accrédité COFRAC] Aminot & Kérouel (2007), p.132 [SANDRE : 763]	LQ : 0,20 µmol/L (= 18 µg/L)	0,7 % ⁽³⁾
TRIALOMETHANES (ou HALOFORMES) [BROMOFORME] [SANDRE : 1122] [CHLOROFORME] [SANDRE : 1135] [DiBrChMETHANE] [SANDRE : 1158] [DiChBrMETHANE] [SANDRE : 1167]	Bouteille Niskin 5 L [SANDRE : 60000180] 3 flacons verre 20 ml 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 : 0,25 µg/L	N.C.

Ethanolamine⁽⁴⁾ [ETHANO] [SANDRE : 5415]	Bouteille Niskin 5 L [SANDRE : 60000180] Pas de Traitement 1 flacon de 500 ml Glacière <8°C. 72 h	Chromatographie ionique (méthode interne SGS 76) [SANDRE : 703]	LQ variable : 2 à 20 mg/L	N.C
Hydrazine⁽⁴⁾ [HYDRA] [SANDRE : 5415]	Bouteille Niskin 5 L [SANDRE : 60000180] Pas de Traitement 1 flacon de 500 ml Glacière <8°C. 72 h	LC/MS/MS (méthode interne SGS 76) [SANDRE : 454]	LQ variable : 10 à 20 µg/L	N.C

⁽¹⁾ 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
⁽²⁾ Le dosage des nutriments dans les eaux salines et saumâtres fait partie de la portée d'accréditation du Laboratoire Ifremer Environnement Ressource de Normandie depuis le 15 juin 2011 (section Essais, accréditation n° 1-2048, portée disponible sur le site www.cofrac.fr)
⁽³⁾ 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
⁽⁴⁾ Les dosages de l'éthanolamine et de l'hydrazine sont réalisés par le laboratoire SGS de Rouen (76), accrédité Cofrac (Numéro d'accréditation Cofrac n°1-0281. Portée disponible sur www.cofrac.fr)

B.1.2.3 Traitements et exploitations des données

Les traitements et exploitations des données acquises s'articulent autour de 3 principes :

- Une meilleure représentativité des résultats : depuis le milieu des années 1980, les 3 campagnes annuelles sont identifiées par leur caractère saisonnier (printemps, été, automne). Dans la réalité, les dates des campagnes présentent une grande variabilité interannuelle, en particulier dans les années les plus anciennes (cf. § "Historique", p. 1). La distribution des dates de campagnes sur les 3 CNPE normands depuis 1987 a permis de définir pour chaque saison les plages de dates les plus représentatives (regroupant 90 à 95 % des résultats). Cette plage dite "normale" couvre approximativement un mois calendaire pour chaque saison. Les campagnes dont les dates s'écartent de cette plage saisonnière sont qualifiées de "précoces" ou "tardives" selon qu'elles précèdent ou suivent la plage "normale". Enfin, quelques campagnes ont été planifiées en dehors des plages saisonnières (compensation d'écart, complément d'échantillonnage...). Elles sont qualifiées de "Hors saison" et représentent moins de 5 % de la totalité des campagnes réalisées depuis le début de la surveillance.

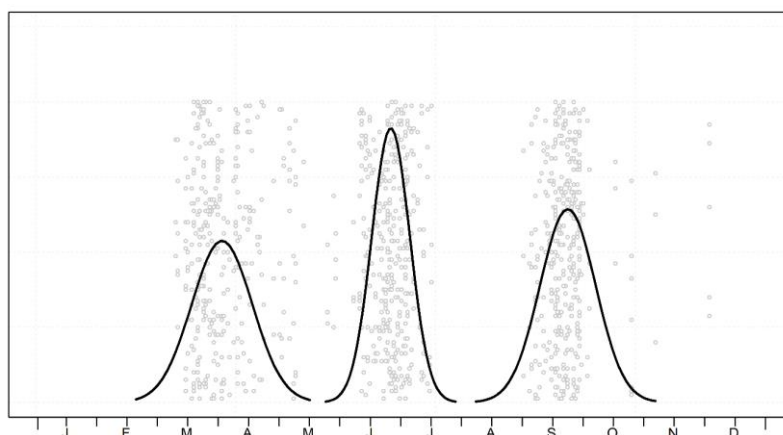


Figure B-2 : Diagramme de dispersion temporelle des dates des 3 campagnes saisonnières (printemps, été, automne) issues des jeux de données historiques des 3 CNPE Normands (pour éviter la superposition de tous les points sur la seule dimension de l'axe des abscisses, les points ont été répartis sur l'axe vertical)

Depuis 2019, une attention particulière est portée dès la planification de chacune des trois campagnes. Des plages de dates ont été fixées de telle sorte que les campagnes soient les plus représentatives et les plus cohérentes sur le plan de la continuité historique. Dans l'éventualité où une campagne se trouverait décalée dans le temps (conditions météo, problème matériel...) le caractère "précoce", "tardif" ou "hors saison" est automatiquement inscrit dans les métadonnées associées pour pouvoir être pris en compte dans le cadre des traitements statistiques des résultats.

Tableau B-3 : Plages temporelles permettant de qualifier les campagnes saisonnières en regard de leur date de réalisation au cours d'une année. La plage dite "normale" intègre 90% de toutes les campagnes historiques réalisées depuis le début de la surveillance.

3 CNPE Normds	HORS-SAISON	PRECOCE (5%)	normal (90%)	TARDIF (5%)	HORS-SAISON
PRINTEMPS		du 1er mars au 14 mars	15 mars 15 Avril (méd. : 31-mars)	16 avril 30 avril	du 01 mai au 15 mai
ÉTÉ	du 15 mai au 01 juin	du 01 juin au 09 juin	10 juin 09 juillet (méd. : 28-juin)	10 juil 17 juil	Du 18 juil. au 06 aout
AUTOMNE	du 06 aout au 25 août.	du 25 aout au 08 sept	09 sept 04 oct (méd. : 22 sept)	05 oct 20 oct	du 20 oct au 31 déc

- **Une représentation graphique :** Elle s'appuie sur la mise en perspective de la variabilité spatiale (entre les points) et saisonnière (entre les campagnes) des résultats enregistrés 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 au début des années 1980)¹¹. Les données qualifiées de "hors saison" sont exclues de ces traitements.

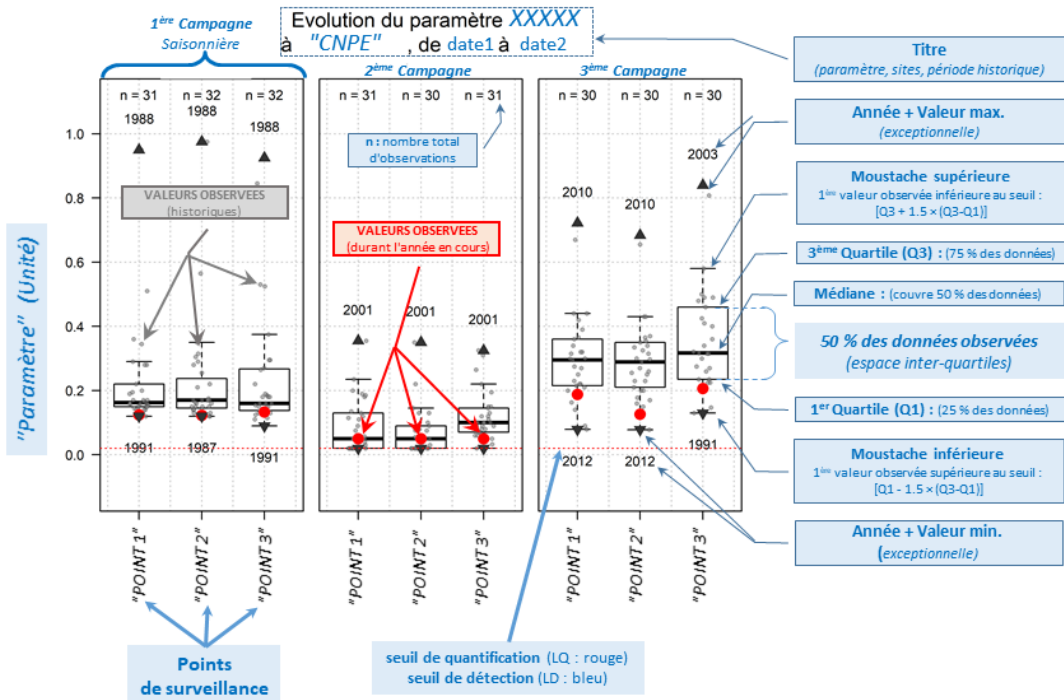


Figure B-3 : Description des graphiques de type "Boxplot" utilisés pour présenter les résultats de la surveillance annuelle en perspective de l'ensemble des observations historique de la surveillance

¹¹ 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.

Toutes ces dimensions sont combinées sous une seule et même représentation graphique, le "boxplot", dont le principe est rappelé dans la Figure B-3.

Les années pour lesquelles des valeurs records (minimum ou maximum) ont été observées sont identifiées directement sur le graphique, sauf pour les années où les valeurs minimums observées correspondent à des seuils (LD ou LQ) de nature analytique.

Une autre approche de la variabilité spatiale et temporelle est également proposée sous la forme d'une distribution d'histogrammes par année des résultats observés aux différents points de suivi depuis le début de la surveillance écologique du CNPE. Cette représentation permet d'appréhender plus aisément la variabilité interannuelle en identifiant plus précisément les années entre elles. Les données qualifiées de "hors saison" sont exclues de ce traitement.

- Une approche statistique : les résultats observés durant l'année en cours sont intégrés dans la série historique avec l'objectif d'évaluer si des différences statistiquement significatives entre les points se dégagent, en particulier entre les points d'entrée (Canal d'amenée) et de sortie (Rejet) du CNPE. Pour cela, des tests de comparaisons de moyennes pour données appariées ont été proposés au début des années 2000. Le test présente deux hypothèses, notées H0 (hypothèse nulle) et H1 (hypothèse alternative). Dans le cadre statistique de ce test, une nouvelle variable est créée, dont les valeurs (d_i) sont obtenues par la différence des paires de valeurs (valeurs observées pour une paire de stations sur une même année). Dans le cadre de l'hypothèse nulle H0, la moyenne des différences est de 0. L'hypothèse alternative (H1) stipule que cette moyenne des différences est non nulle. Ainsi, si H0 ne peut pas être rejeté (absence de différence significative), ceci se traduira, en termes écologiques, par un mélange important du milieu et l'homogénéité des masses d'eau. Si l'on rejette H0, le test révélera une hétérogénéité des masses d'eau entre les points testés. Ces analyses sont remises à jour chaque année.

Pour chaque paramètre concerné, le choix du test statistique le plus approprié est conditionné par l'analyse de la distribution de la différence entre les valeurs prises en considération pour le test (point A vs point B). L'étude de cette distribution est réalisée à l'aide du test de Shapiro-Wilks.

Lorsque la distribution est normale, le test T de Student pour données appariées est utilisé. Dans le cas contraire (distribution non normale), la comparaison des données est réalisée à l'aide du test de Wilcoxon pour données appariées.

L'interprétation de ces tests est faite au seuil de risque de 5%. Si la valeur de "*p-value*" obtenue est inférieure à 0,05, le risque de faire une erreur en concluant que la différence est "significative" est limité (< 5%). Si par contre la valeur de "*p-value*" reste supérieure à la valeur de 0,05, alors les différences observées ne sont pas considérées comme significatives.

Enfin, un important travail de reprise de bancarisation sous Quadrige² a été mené en 2018-2019. Il a permis de réunir, reconstituer et compléter de manière significative l'ensemble des séries historiques existantes. Les résultats présentés aujourd'hui dans le rapport annuel intègrent donc des séries de données qui peuvent présenter des différences avec celles des années précédentes. D'une manière générale, ces différences correspondent à des compléments qui ont permis de consolider ces jeux de données.

B.1.3 TEMPERATURE

B.1.3.1 Variations spatiales et saisonnières de la température

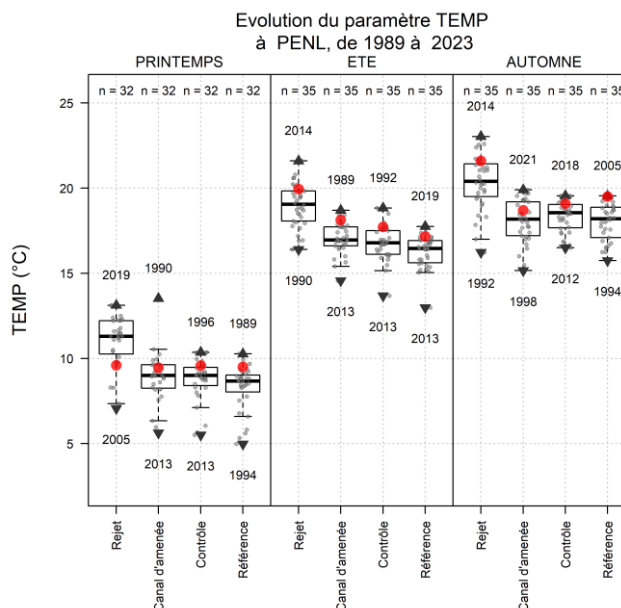


Figure B-4 : Mesures de température de l'eau réalisée aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'aménée au cours de l'année, mises en perspective de toutes les mesures réalisées depuis le début de la surveillance écologique du CNPE (voir Figure B-3 pour détail des boxplots). L'intégralité des données acquises est présentée dans l'ANNEXE B-1 (p.142).

Lors des différentes campagnes, la dispersion de la température de l'eau de surface a varié entre 9,46°C sur le point *Canal*, au printemps et 21,6°C sur le point *Rejet*, en automne. Du point de vue spatial, les températures enregistrées au cours de l'année et sur tous les points ne présentent pas de caractère d'exception. Sur le plan saisonnier, les températures relevées lors trois campagnes se situent dans la gamme haute de la série historique, pour tous les points (hors *Rejet*, au printemps). Au printemps, la température au point *Rejet* se situe dans la gamme basse des données historiques et se rapproche des valeurs mesurées sur les autres points. Cette homogénéité s'explique en partie par l'arrêt du fonctionnement du CNPE au moment de l'échantillonnage au printemps.

La Figure B-5 montre que le CNPE est situé dans un secteur où le brassage naturel des eaux (paramètre de stratification < 3) limite les phénomènes de stratification de la colonne d'eau et de réchauffements de surface. Cette particularité explique la faible variabilité interannuelle de la température de l'eau sur ce site.

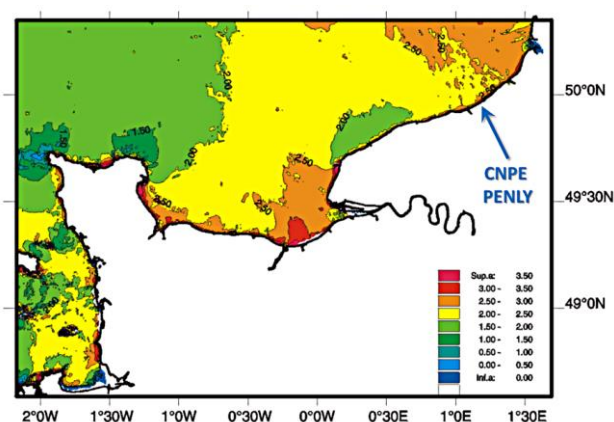


Figure B-5 : Évolution spatiale du paramètre de stratification "H/u3" (Simpson et Hunter, 1974), en Manche réalisée à l'aide d'un modèle hydrodynamique 2D (IFREMER DEL/AO-LERN).

Les faibles valeurs ($< 2,0$) traduisent un brassage important de la colonne d'eau limitant les possibilités de stratification. Au contraire, les valeurs fortes ($> 3,0$) traduisent des zones propices, en été, à voir apparaître une stratification de la colonne d'eau.

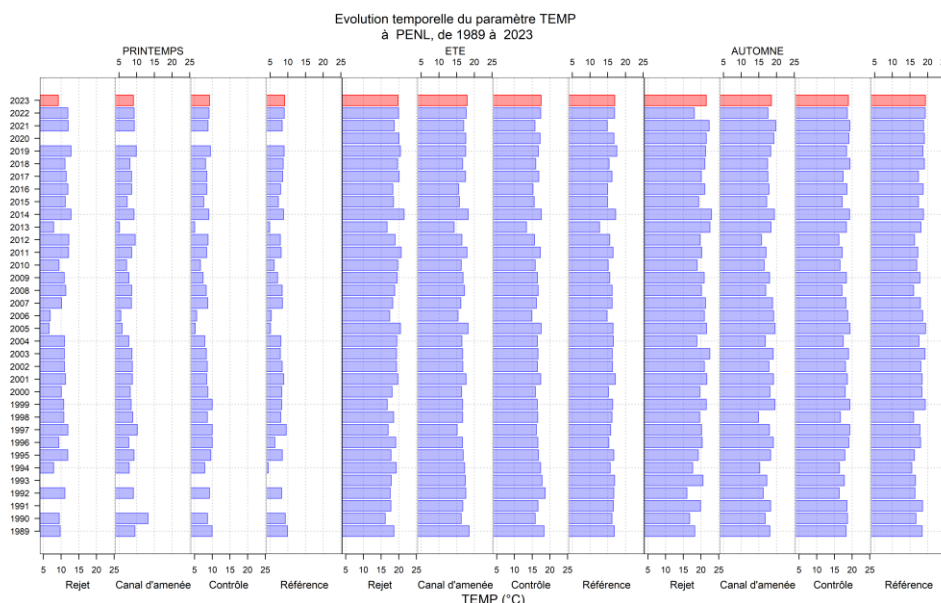


Figure B-6 : Distribution par année des mesures de température de l'eau réalisées aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'aménée depuis le début de la surveillance écologique du CNPE.

La Figure B-6 retrace l'évolution des températures de l'eau de mer en surface depuis 1989 pour l'ensemble des points suivis chaque saison. Les profils saisonniers de température sont conformes à ce qui est habituellement observé en Manche. Les températures relevées cette année ne s'écartent pas significativement de la gamme des mesures réalisées depuis 1987 au niveau des quatre points Canal, Rejet, Contrôle et Référence.

Tableau B-4 : Probabilité "p-value" associée aux tests d'hypothèse de comparaison de moyenne pour la température sur l'ensemble de la surveillance. ("W" : test de wilcoxon ; "T" : test t de Student ; P-Value > 0,05, différence non significative).

Période prise en compte : 1989 – 2023 (N~34)	Printemps		Été		Automne	
	Test	P-Value	Test	P-Value	Test	P-Value
Canal /Contrôle	W	0,16	W	< 0,01	W	0,01
Canal /Référence	W	< 0,01	T	< 0,01	T	0,69
Canal /Rejet	T	< 0,01	W	< 0,01	T	< 0,01
Contrôle/Référence	W	< 0,01	T	< 0,01	W	0,08
Contrôle/Rejet	W	< 0,01	W	< 0,01	W	< 0,01
Référence/Rejet	T	< 0,01	W	< 0,01	W	< 0,01

La comparaison des moyennes de température par points montre assez logiquement que le point Rejet se distingue de tous les autres points, quelle que soit la saison. Seul le point Canal montre des différences non significatives avec les points Contrôle (au printemps) et Référence (en automne). Cette discrimination quasi généralisée des points entre eux témoigne d'une grande hétérogénéité du milieu.

B.1.3.2 Écarts thermiques du Rejet

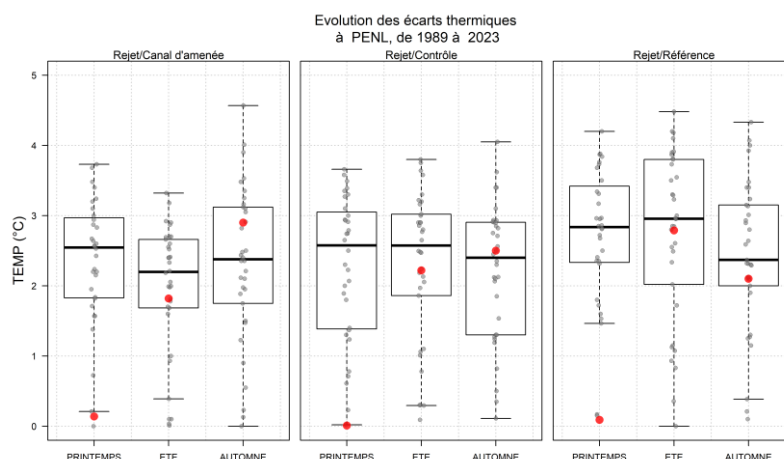


Figure B-7 : Distributions des écarts thermiques entre les stations, Rejet / Canal d'amenée, Rejet / Contrôle et Rejet / Référence en surface depuis 1987. Le point rouge représente la valeur obtenue de l'année.

L'écart de température le plus important enregistré entre le point *Rejet* et le point *Canal* a été de 2,9°C, en automne.

La température mesurée au point *Rejet* dépend en grande partie de la proportion de mélange des eaux issues du rejet avec les eaux côtières. Cette proportion peut être estimée d'après la formule suivante :

$$\pi = \frac{T^{\circ}_{Rejet_mer} - T^{\circ}_{Canal}}{T^{\circ}_{SC} - T^{\circ}_{Canal}} \quad (1)$$

π (ratio) représente la proportion d'eau échauffée potentielle (pourcentage d'eau issue du refroidissement mesurable dans le milieu). Cette proportion est directement dépendante de la capacité de mélange et de dilution du milieu, essentiellement déterminée par l'hydrodynamisme local (courants, vagues, vent...). $T^{\circ}_{Rejet_mer}$, T°_{Canal} et T°_{SC} représentent respectivement les températures au point *Rejet* (en surface, à la verticale du rejet en mer), au point *Canal* (également en surface) et à la sortie du condenseur (mesures EDF). Le dénominateur de l'équation (1) correspond à l'échauffement maximal des eaux pompées (Malherbe et Manoha, 1977)¹². Par arrêté¹³, cet échauffement ne doit pas excéder 15 °C, hors situations particulières d'exploitation pouvant conduire à un échauffement compris entre 15°C et 21°C (cf article 3 de l'annexe 2 de la décision 2008-DC-0089) . Les proportions d'eau échauffée (π) qui en découlent sont recalculées, à titre indicatif, en intégrant les températures mesurées aux points *Rejet* et *Canal* lors des campagnes de surveillance. Les résultats sont détaillés dans le Tableau B-5. Au cours des 3 campagnes, l'échauffement thermique des eaux est conforme aux exigences réglementaires.

Les proportions d'eau réchauffée calculées en 2023 lors des campagnes de juin et de septembre (0,2) traduisent un important pouvoir de dilution du milieu.

Tableau B-5 : Echauffement de l'eau de mer calculé à Penly et proportion d'eau réchauffée calculée au moment des campagnes de surveillance (en gras les valeurs utilisées pour le calcul)

Ces données sont présentées à titre indicatif sur la base de mesures ponctuelles.

2023	Canal		Sortie Condenseur EDF		Rejet		CALCUL	
	T° Ifremer	T° EDF	T° T1 (nord)	T° T2 (sud)	T° Ifremer	T° Rejet -T° Canal	T° SC -T° Canal	Ratio
04-avril	9.4	9.7	9.7	9.7	9.6	0.1	0.3	0.67
20-juin	18.1	18.1	18.1	27.8	19.9	1.8	9.7	0.19
26-sept	18.7	19.3	31,7	31.1	21.6	2.9	12.4	0.23

np : non-pertinent rejet non actif, CNPE en arrêt

¹² MALHERBE, J.F. & MANOHA, B. 1977.- « Centrale de Flamanville-Avis C ; Influence courantologique et thermique ». Electricité De France, Direction des études et recherches, HE041/77,113

¹³ Article 7 de l'arrêté du 15 février 2008 : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000018193526>

B.1.4 SALINITE

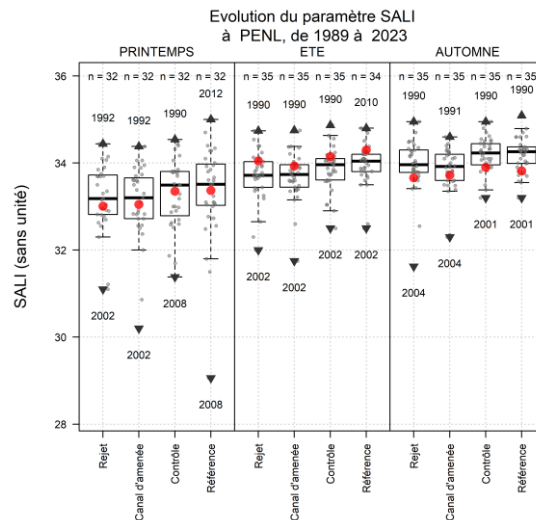


Figure B-8 : Mesures de salinité (SALI) réalisées aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'aménée au cours de l'année, mise en perspective de toutes les mesures réalisées depuis le début de la surveillance écologique du CNPE (voir Figure B-3 pour détail des boxplots). L'intégralité des données acquises est présentée dans l'ANNEXE B-1 (p.142).

La dispersion des valeurs de salinités mesurées cette année est contenue entre 33,37 et 34,3 entre le printemps et l'été sur le point Référence. Sur le plan spatial, les valeurs de salinité au printemps se distinguent de celles d'été et d'automne par une salinité plus faible. En automne, les valeurs se situent également dans la gamme basse des données historique, en corrélation avec les données Météo France sur la pluviométrie indiquant des épisodes pluvieux la semaine précédant la campagne d'automne (18mm, le 20 septembre). En été, les valeurs se situent dans la gamme haute des données historiques. Un léger gradient de la côte vers le large apparaît au printemps et en été, révélant une influence de l'eau douce plus marquée à la côte.

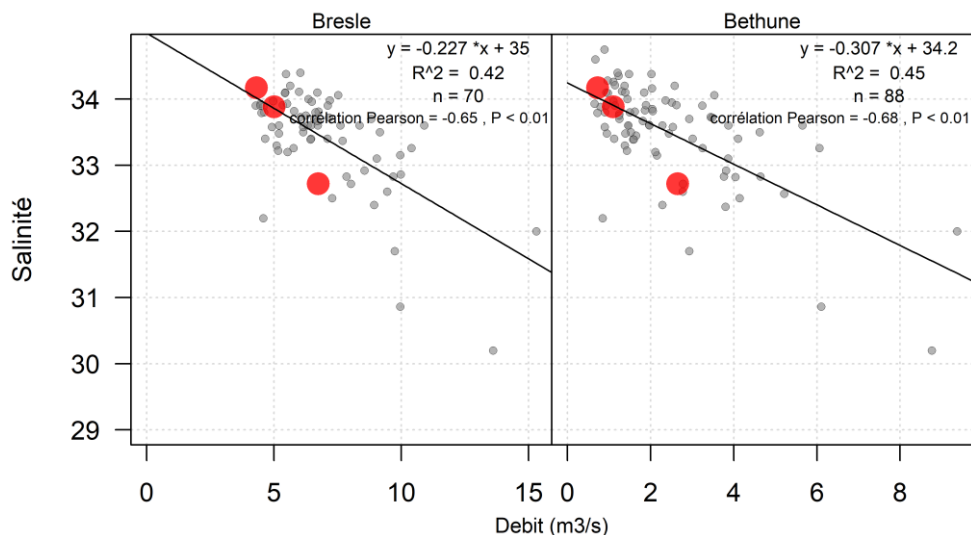


Figure B-9 : Variation de la salinité (point Canal) en fonction du débit journalier de la Bresle (2000-2022) et de la Béthune (1989-1994 / 1998-2010). En rouge les valeurs de salinités et débits de l'année en cours.

La Figure B-9 présente l'évolution de la salinité en fonction du débit de la Bresle et de la Béthune, fleuves situés proche du CNPE de Penly.

Une corrélation linéaire sensible (coefficient de corrélation autour de - 0,65) lie la salinité mesurée au niveau du CNPE et le débit des deux fleuves à proximité. Les rapports "débits/salinités" de ces deux fleuves côtiers se projettent de manière cohérente sur les courbes de tendance respectives établies sur la base de l'historique.

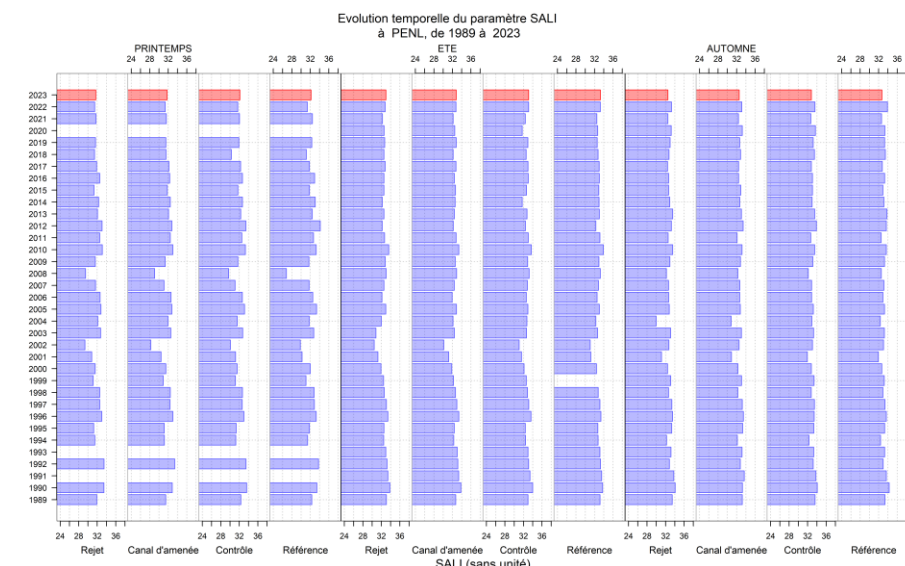


Figure B-10 : Distribution par année des mesures de salinité réalisées aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'aménée depuis le début de la surveillance écologique du CNPE.

Tableau B-6 : Probabilité "p-value" associée aux tests d'hypothèse de comparaison de moyenne pour la salinité sur l'ensemble de la surveillance. ("W" : test de wilcoxon ; "T" : test t de Student ; P-Value $\geq 0,05$, différence non significative).

Période prise en compte : 1989 – 2023 (N~34)	Printemps		Été		Automne	
	Test	P-Value	Test	P-Value	Test	P-Value
Canal /Contrôle	W	< 0,01	W	< 0,01	W	< 0,01
Canal /Référence	W	< 0,01	T	< 0,01	W	< 0,01
Canal /Rejet	W	< 0,01	W	0,01	W	0,02
Contrôle/Référence	W	0,08	W	0,07	T	0,90
Contrôle/Rejet	W	0,04	W	< 0,01	W	< 0,01
Référence/Rejet	W	0,02	W	< 0,01	W	< 0,01

L'intégration des mesures réalisées cette année ne modifie pas les résultats basés sur les données depuis 1989. Le point *Canal* se distingue de tous les autres à toutes les saisons. Le caractère confiné du canal d'aménée et les déversements terrigènes qu'il est possible d'y observer peuvent être à l'origine de ces différences. Le point *Rejet* se distingue également des autres points.

Le couple *Référence/Contrôle (large)*, quant à lui ne présente aucune différence significative, quelle que soit la saison. Cette similarité s'explique par leur situation géographique similaire.

B.1.5 OXYGENE DISSOUS

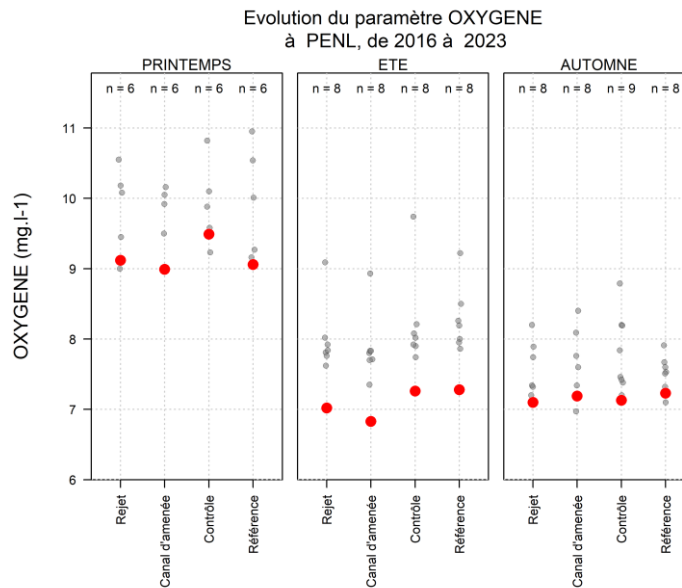


Figure B-11 : Mesures de l'oxygène dissous réalisées aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'aménée au cours de l'année, mise en perspective de toutes les mesures réalisées depuis 2016. Les données acquises sont présentées dans l'ANNEXE B-1 Annexes Domaine Pélagique **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** (p.142).

Le paramètre oxygène dissous n'est suivi que depuis 2016. De nombreux facteurs sont susceptibles d'influer la teneur en oxygène du milieu, qu'ils soient de nature physique (température, salinité, hydrodynamisme), chimique (oxydation) ou biologique (phénomènes de respiration et de photosynthèse). Ce paramètre contribue à l'évaluation de la qualité des masses d'eau littorales dans le cadre de la DCE.

Les variations spatiales de l'oxygène sont peu marquées entre les stations de surveillance (Figure B-11). Le profil saisonnier de l'année est conforme à ce qui peut être attendu (valeurs les plus élevées en début de cycle, puis diminuant avec le développement des organismes hétérotrophes consommateurs d'oxygène) et reste proche de la valeur de référence¹⁴ pour la DCE qui se situe à 8,33 mg/L en Manche Atlantique (source : site www.envlit.ifremer.fr).

Le nombre de mesures d'oxygène dissous observées depuis 2016 (n=8) n'est pas encore suffisamment important pour permettre de réaliser une analyse de comparaison de moyenne comme cela est proposé pour les autres paramètres.

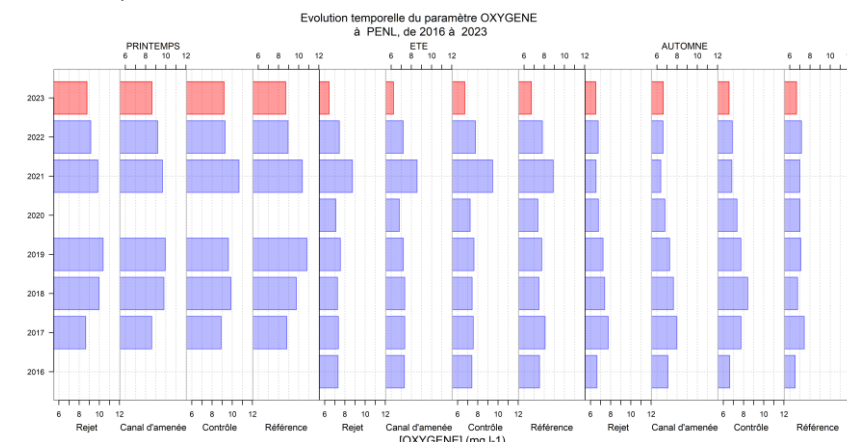


Figure B-12 : Distribution par année des mesures d'oxygène dissous réalisées aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'aménée depuis 2016.

¹⁴ https://envlit.ifremer.fr/documents/autres_documents/fiches_descriptives/element_de_qualite_oxygene_dissous

B.1.6 AMMONIUM (NH₄⁺)

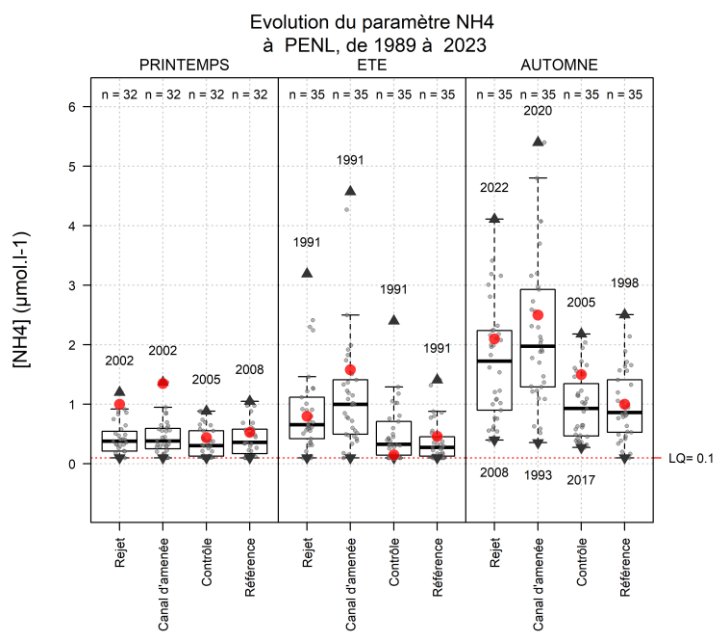


Figure B-13 : Mesures d'ammonium ([NH₄]) réalisées aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'aménée au cours de l'année, mise en perspective de toutes les mesures réalisées depuis le début de la surveillance écologique du CNPE (voir Figure B-3 pour détail des boxplots). L'intégralité des données acquises est présentée dans l' ANNEXE B-1 (p.142).

Les valeurs mesurées au cours de l'année, se situent dans la gamme haute vis-à-vis des données historiques, et ce quelle que soit la saison. Au printemps, des valeurs exceptionnelles en ammonium sont mesurées sur les points les plus côtier *Canal* et *Rejet*. Un gradient de la côte vers le large apparaît (1,35 µmol/L, au point *Canal* ; 1 µmol/L, au point *Rejet* et 0,44 µmol/L, au point *Contrôle*), révélant une influence de l'eau douce plus marquée à la côte. Ces concentrations élevées sont probablement dues à un apport ponctuel en nutriment du bassin versant suite à des épisodes pluvieux survenus quelques jours avant chaque campagne. Cet apport reste très localisé et n'apparaît pas sur le point *Contrôle* plus au large et le point *Référence*, au large et décalé de plusieurs milles marins.

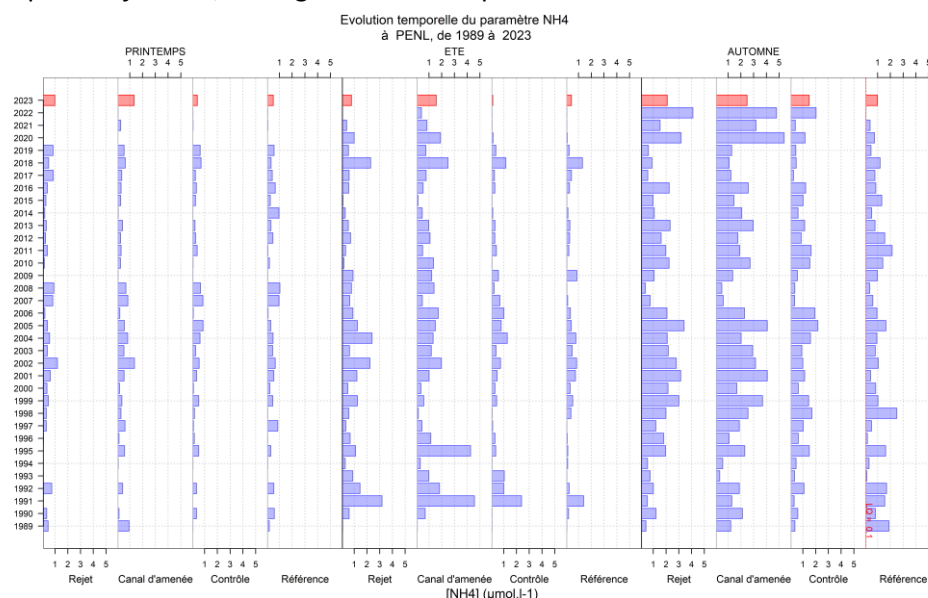


Figure B-14 : Distribution par année des mesures d'ammonium ([NH₄]) réalisées aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'aménée depuis le début de la surveillance écologique du CNPE.

Comme l'illustre la Figure B-14, les concentrations en ammonium depuis 1989 présentent une très forte variabilité interannuelle sur l'ensemble des points. Les différences de concentrations observées au cours de cette année comparées aux autres années s'inscrivent dans cette distribution très variable.

Tableau 3,1,1 : Probabilité "p-value" associée aux tests d'hypothèse de comparaison de moyenne pour l'ammonium sur l'ensemble de la surveillance. ("W" : test de wilcoxon ; "T" : test t de Student ; P-Value > 0,05, différence non significative).

Période prise en compte : 1989 – 2023 (N~34)	Printemps		Été		Automne	
	Test	P-Value	Test	P-Value	Test	P-Value
Canal /Contrôle	W	0,06	W	< 0,01	W	< 0,01
Canal /Référence	W	0,39	W	< 0,01	W	< 0,01
Canal /Rejet	T	0,69	W	< 0,01	W	< 0,01
Contrôle/Référence	T	0,43	W	0,31	T	0,85
Contrôle/Rejet	T	0,16	T	< 0,01	W	< 0,01
Référence/Rejet	T	0,47	W	< 0,01	T	< 0,01

Les différences significatives distinguent le point *Canal* avec, ponctuellement, le point *Contrôle*, *Référence* et *Rejet*, en été et automne uniquement. Ces différences mettent en perspective un gradient côte-large lorsque les stocks de nutriments ne sont pas limités (Figure B-1). Aucune différence significative entre les autres points n'apparaît pour le paramètre ammonium. Ce résultat est cohérent avec la variabilité naturelle du milieu et ne peut être imputable au fonctionnement du CNPE.

B.1.7 NITRITE ET NITRATE (NO_2^- ET NO_3^-)

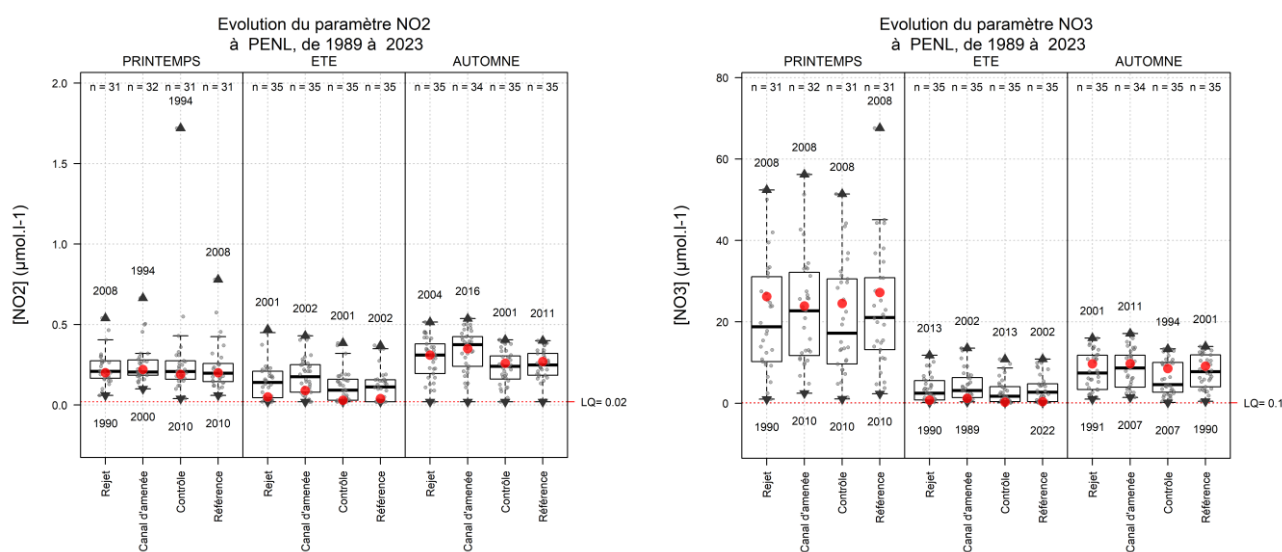


Figure B-15 : Mesures de nitrites $[\text{NO}_2]$ et nitrates $[\text{NO}_3]$ réalisées aux quatre points *Référence*, *Contrôle*, *Rejet* et *Canal d'aménée* au cours de l'année, mise en perspective de toutes les mesures réalisées depuis le début de la surveillance écologique du CNPE (voir Figure B-3 pour détail des boxplots). (LQ $\text{NO}_2=0,02 \mu\text{M}$; LQ $\text{NO}_3=0,1 \mu\text{M}$). L'intégralité des données acquises est présentée dans l'ANNEXE B-1 (p.142).

Du point de vue saisonnier, les concentrations mesurées en nitrite au cours des trois campagnes, sont proches de la médiane historique au printemps, puis se situent proches de la LQ ($0,02 \mu\text{mol/L}$) en été, avant de retrouver des valeurs proches de la médiane en automne. Les plus fortes concentrations en nitrite sont observées à l'automne sur l'ensemble de la zone d'étude ($0,35 \mu\text{mol/L}$, au point *Canal*).

Les valeurs de nitrate suivent le même profil que celles des nitrites, avec de fortes concentrations au printemps, puis faibles en été, avant de retrouver des concentrations proches de la médiane historique en automne. Ainsi, ces tendances montrent un cycle saisonnier régulier pour le nitrite et le nitrate ; et sont liées principalement aux conditions climatiques et au cycle biologique du phytoplancton qui se développe au printemps consommant l'azote, qui s'épuise courant l'été et se recharge à l'automne avec l'apport de cours d'eau.

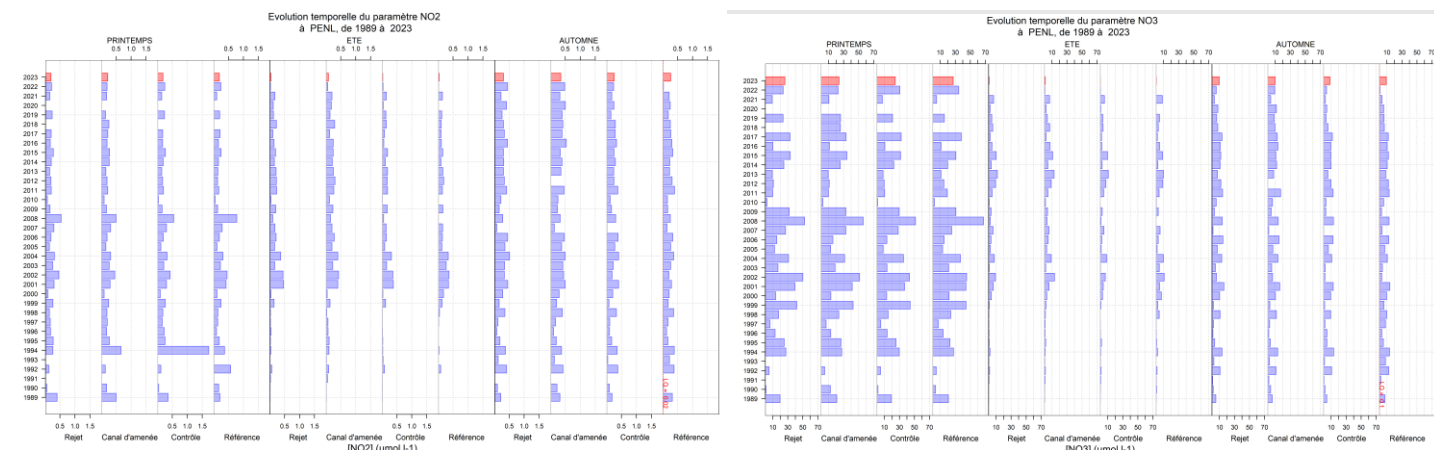


Figure B-16 : Distribution par année des mesures de concentration en nitrites ([NO₂], gauche) et nitrates ([NO₃], droite) réalisées aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'aménage depuis le début de la surveillance écologique du CNPE.

Par comparaison avec les distributions interannuelles (Figure B-16), les stocks en nutriments azotés présentent un cycle au cours de l'année, avec une reconstitution de ce stock à partir de l'automne jusqu'au printemps, où il atteint son maximum, avant d'être consommé par le phytoplancton en été.

Tableau B-7 : Probabilité "p-value" associée aux tests d'hypothèse de comparaison de moyenne pour les nitrite (NO₂) et nitrate (NO₃) sur l'ensemble de la surveillance. ("W" : test de wilcoxon ; "T" : test t de Student ; P-Value > 0,05 : différence non significative).

Période prise en compte : 1989 – 2023 (N~34)		Printemps		Été		Automne	
		Test	P-Value	Test	P-Value	Test	P-Value
Nitrite (NO ₂)	Canal /Contrôle	W	0,26	T	< 0,01	T	< 0,01
	Canal /Référence	W	0,21	T	< 0,01	T	< 0,01
	Canal /Rejet	W	0,06	T	< 0,01	T	< 0,01
	Contrôle/Référence	W	0,42	W	0,54	T	0,20
	Contrôle/Rejet	W	0,40	T	< 0,01	T	< 0,01
	Référence/Rejet	W	0,35	W	< 0,01	W	< 0,01
Nitrate (NO ₃)	Canal /Contrôle	T	0,02	W	< 0,01	T	< 0,01
	Canal /Référence	T	0,35	T	0,04	T	0,13
	Canal /Rejet	W	0,01	W	< 0,01	W	< 0,01
	Contrôle/Référence	T	0,01	W	0,03	T	< 0,01
	Contrôle/Rejet	T	0,14	T	< 0,01	T	< 0,01
	Référence/Rejet	T	0,06	W	0,35	T	0,92

Des différences significatives sont perceptibles en été et à l'automne entre le point Référence (large) et les points Rejet et Canal (côtiers) pour les nitrites. Ils traduisent un gradient saisonnier dans la distribution des nutriments azotés en période estivale et automnale. Aucune différence significative n'apparaît entre le point Contrôle et Référence et ce, quelle que soit la saison. Le caractère "non significatif" associé aux autres saisons témoigne d'un résultat cohérent avec la variabilité naturelle du milieu, qui ne peut être imputable au fonctionnement du CNPE.

Aucune différence significative n'apparaît entre le point Référence (large) et les points Rejet et Canal (côtiers) pour le paramètre nitrate, ce quelle que soit la saison. Les environnements morphodynamiques (bathymétrie, hydrodynamisme, nature des fonds...) diffèrent de manière trop importante entre ces deux points pour que ces différences soient directement imputables au fonctionnement du CNPE.

B.1.8 PHOSPHATE (PO_4^{3-}) ET SILICATE ($\text{Si}(\text{OH})_4$)

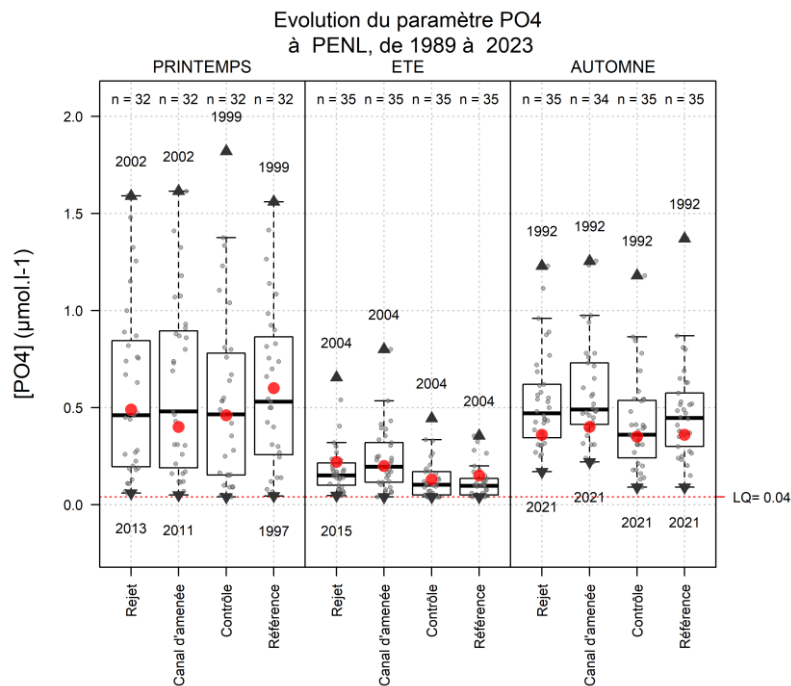


Figure B-17 : Mesures de phosphates ($[\text{PO}_4]$) réalisées aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'aménée au cours de l'année, mise en perspective de toutes les mesures réalisées depuis le début de la surveillance écologique du CNPE (voir Figure B-3 pour détail des boxplots). (LQ $\text{PO}_4=0,04 \mu\text{M}$). L'intégralité des données acquises est présentée dans l'ANNEXE B-1 (p.142).

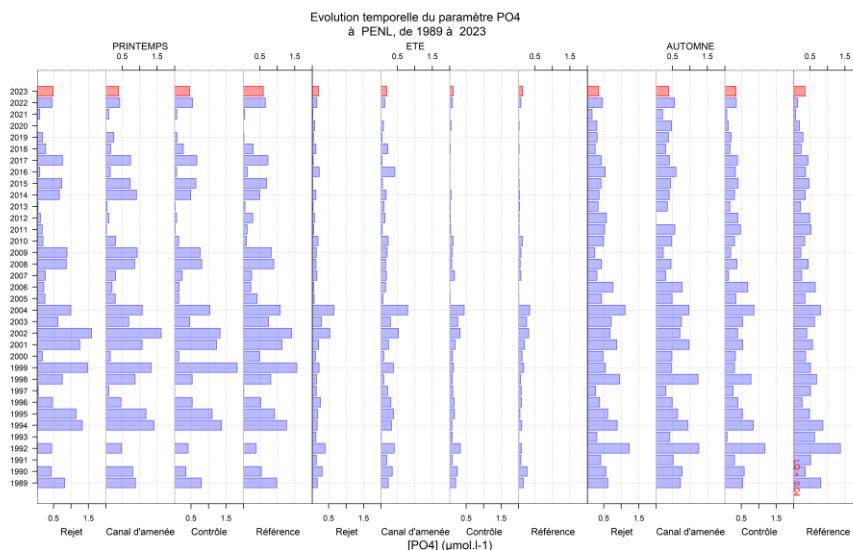


Figure B-18 : Distribution par année des mesures de concentration en phosphates ($[\text{PO}_4]$) réalisées aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'aménée depuis le début de la surveillance écologique du CNPE.

Sur le plan spatial, les mesures de phosphate sont relativement homogènes entre les points, se situant proche de la médiane et ce pour chaque saison. (Figure B-17). Au printemps, les concentrations varient entre $0,43 \mu\text{mol/L}$, au point Canal et $0,6 \mu\text{mol/L}$, au point Référence. En été, les concentrations baissent et sont proches de $0,15 \mu\text{mol/L}$; avant d'augmenter à nouveau en automne (tout en restant proche de la médiane historique).

Sur le long terme, une évolution vers la diminution des concentrations en phosphates est observée en Manche et en Atlantique (ONML 2013)¹⁵. Cette diminution du phosphore s'explique plus par l'amélioration des performances des stations d'épuration, l'augmentation du nombre d'assainissements collectifs et par une moindre utilisation des engrais phosphatés en agriculture.

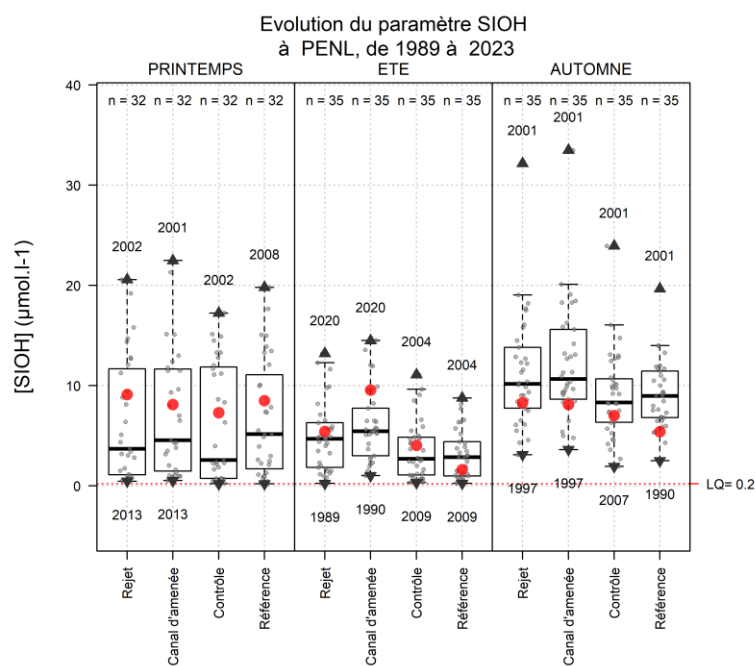


Figure B-19 : Mesures de silicates ([SIOH]) réalisées aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'amenée au cours de l'année, mise en perspective de toutes les mesures réalisées depuis le début de la surveillance écologique du CNPE (voir Figure B-3 pour détail des boxplots). L'intégralité des données acquises est présentée dans l' ANNEXE B-1 (p.142).

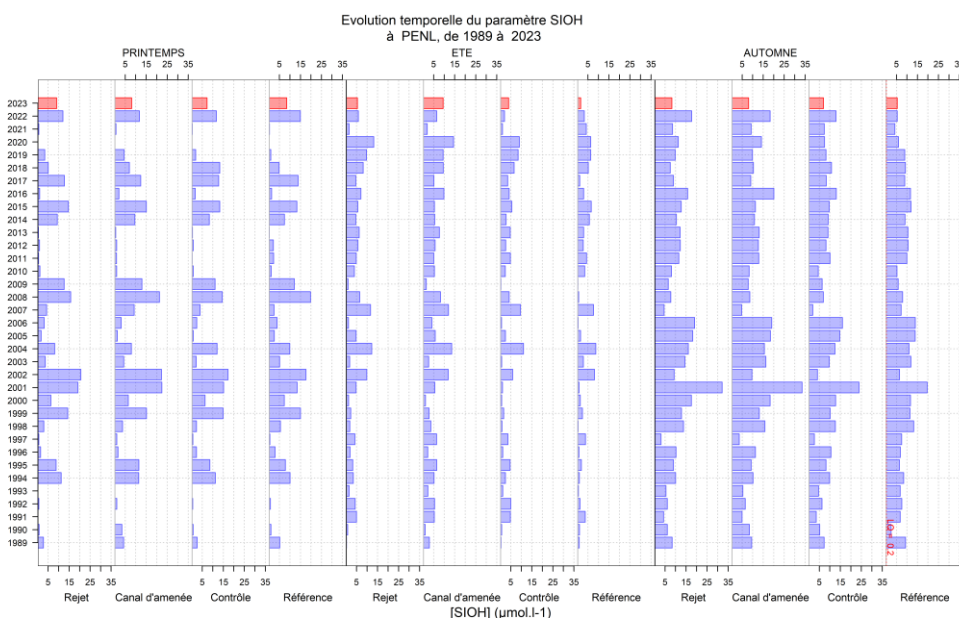


Figure B-20 : Distribution par année des mesures de concentration en silicates ([SIOH]) réalisées aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'amenée depuis le début de la surveillance écologique du CNPE.

Sur le plan spatial, les mesures de silicate sont relativement homogènes entre les points, se situant dans la gamme haute des données historiques, au printemps et en été. En automne, les concentrations sont supérieures à celles d'été et se situent dans la gamme basse des données historiques, indiquant léger retard dans la reconstitution du stock en nutriments.

¹⁵ ONML (2013). Pression des activités humaines terrestres et maritimes. Évolution des principaux Flux de Nutriments à la Mer. Rapp. tech. Observatoire National de la Mer et du Littoral, 6 pp.

Tableau B-8 : Probabilité "p-value" associée aux tests d'hypothèse de comparaison de moyenne pour les phosphate et silicate sur l'ensemble de la surveillance. ("W" : test de wilcoxon ; "T" : test t de Student ; P-Value > 0,05, différence non significative).

Période prise en compte : 1989 – 2023 (N°34)		Printemps		Été		Automne	
		Test	P-Value	Test	P-Value	Test	P-Value
Phosphate (PO4)	<i>Canal /Contrôle</i>	W	0,04	W	< 0,01	W	< 0,01
	<i>Canal /Référence</i>	T	0,93	W	< 0,01	T	< 0,01
	<i>Canal /Rejet</i>	T	0,61	W	< 0,01	W	< 0,01
	<i>Contrôle/Référence</i>	T	0,05	W	0,52	W	0,01
	<i>Contrôle/Rejet</i>	W	0,01	W	< 0,01	T	< 0,01
	<i>Référence/Rejet</i>	T	0,63	W	< 0,01	T	0,07
Silicate (SiOH)	<i>Canal /Contrôle</i>	W	< 0,01	T	< 0,01	W	< 0,01
	<i>Canal /Référence</i>	W	0,44	T	< 0,01	T	< 0,01
	<i>Canal /Rejet</i>	W	0,01	T	< 0,01	W	< 0,01
	<i>Contrôle/Référence</i>	W	0,17	T	0,09	T	0,52
	<i>Contrôle/Rejet</i>	W	0,02	T	< 0,01	T	< 0,01
	<i>Référence/Rejet</i>	T	0,82	T	< 0,01	T	< 0,01

Pour le phosphate les seules différences significatives s'observent entre le point "Contrôle" (large) et les points "Canal" et "Rejet" (côtiers). Elles traduisent un gradient côte-large perceptible à toute saison. Ceci montre une certaine hétérogénéité entre les points.

Le CNPE peut représenter une source de phosphate pour l'environnement. Les circuits de refroidissement auxiliaires sont alimentés en eau déminéralisée conditionnée au phosphate trisodique (Na₃PO₄). Les purges des circuits peuvent alors occasionner des rejets de phosphate dans l'environnement. Le traitement des eaux usées peut également constituer une source potentielle. La différence significative n'est pas systématique (à chaque saison) entre le point *Rejet* et les autres points, cela suggère que ces rejets sont très peu perceptibles.

Concernant les silicates, les couples *Canal/Contrôle* et *Contrôle/Rejet* montrent une différence significative à toute saison. Elles traduisent un gradient côte-large perceptible à toute saison.

Au cours des trois saisons, seul le couple *Référence/Contrôle* ne montre pas de différence significative. Ainsi, ces deux stations, moins influencées par les apports côtiers, ont souvent des concentrations similaires, comme le suggèrent les réponses aux tests. Ce résultat est cohérent avec la variabilité naturelle du milieu et ne peut être imputable au fonctionnement du CNPE.

B.1.9 TURBIDITE - MATIERE EN SUSPENSION

Des valeurs élevées de concentrations en MES peuvent être liées à des apports terrigènes, ou à des remises en suspensions induites par de fortes conditions hydro-climatiques.

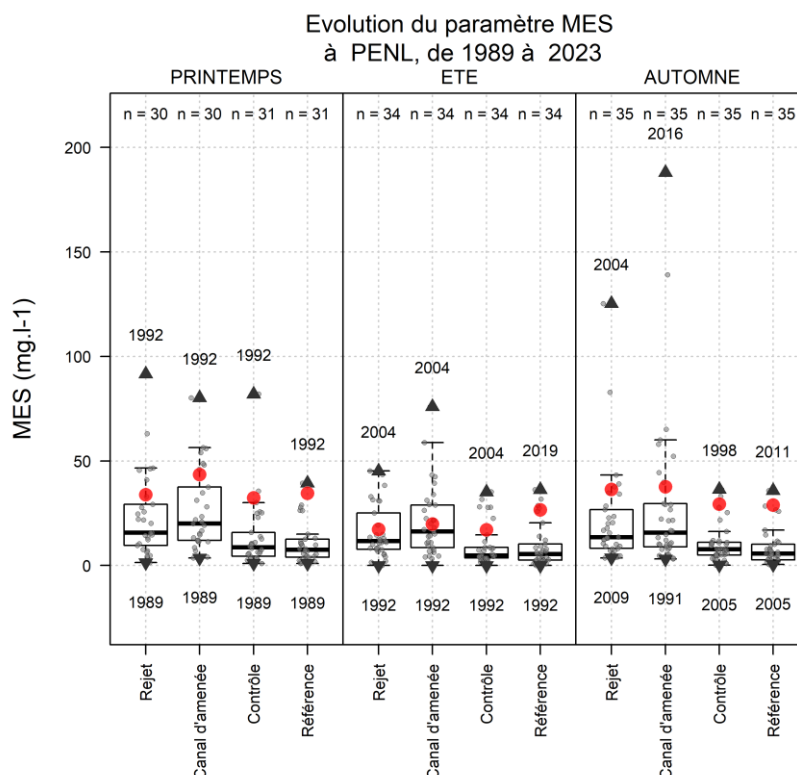


Figure B-21 : Mesures de Matières En Suspension (MES) réalisées aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'aménée au cours de l'année. (voir Figure B-3 pour détail des boxplots), (LD MES=0,01 mg/L). L'intégralité des données acquises est présentée dans l' ANNEXE B-1 (p,142).

Au printemps, les valeurs de MES se situent dans la gamme haute des données historiques et le point Référence apparaît avec une teneur exceptionnelle de 34,55 mg.L⁻¹. En été comme en automne, les teneurs en MES se situent une nouvelle fois dans la gamme haute des données historiques atteignant 26,66 mg.L⁻¹ au point Référence au cours la campagne estivale. La présence de MES à des valeurs exceptionnellement fortes en été et en automne, peut être en partie expliquée par les fortes pluies survenues la semaine précédant la campagne.

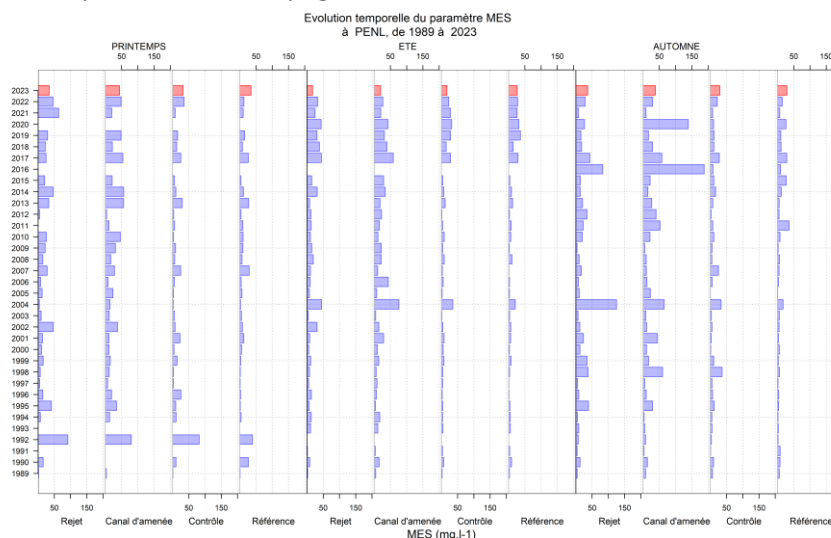


Figure B-22 : Distribution par année des mesures de Matière En Suspension (MES) réalisées aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'aménée depuis le début de la surveillance écologique du CNPE.

Depuis 2016, la turbidité est mesurée en complément des matières en suspension. Le nombre de données (N<10) est encore trop insuffisant pour permettre une représentation en boxplot. Les données sont toutefois présentées sous la forme d'un simple nuage de points permettant d'apprécier les mesures de l'année en regard des mesures déjà réalisées (Figure B-23).

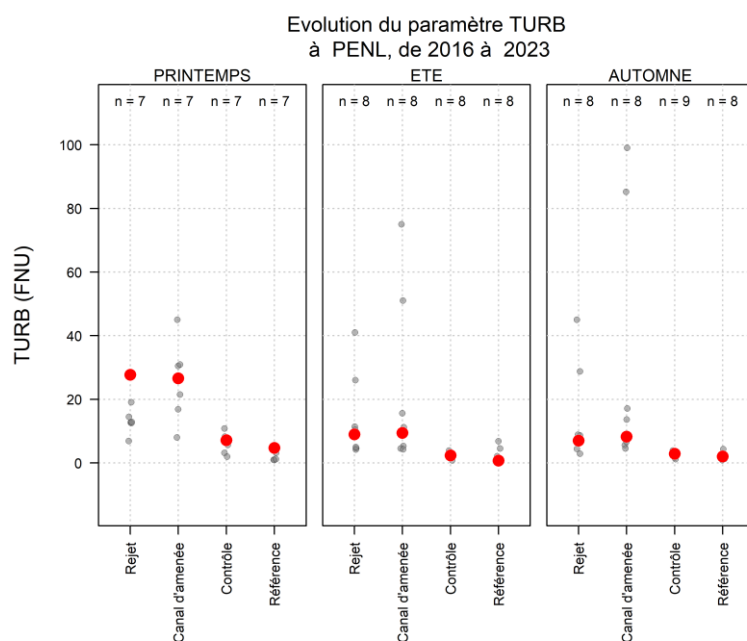


Figure B-23 : Mesures de turbidité (FNU) réalisées aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal au cours de l'année, mise en perspective des mesures réalisées entre 2016 et 2021 (avec seulement 7 ans de recul, le nombre de données historiques est insuffisant pour une représentation sous forme de Boxplot)

Les résultats de printemps sont comparables à ceux de MES ; caractérisés par d'importantes valeurs de turbidité aux points *Rejet* et *Canal*. Il en est de même pour les valeurs d'été et d'automne qui montrent un profil identique à ceux des MES pour les mêmes périodes.

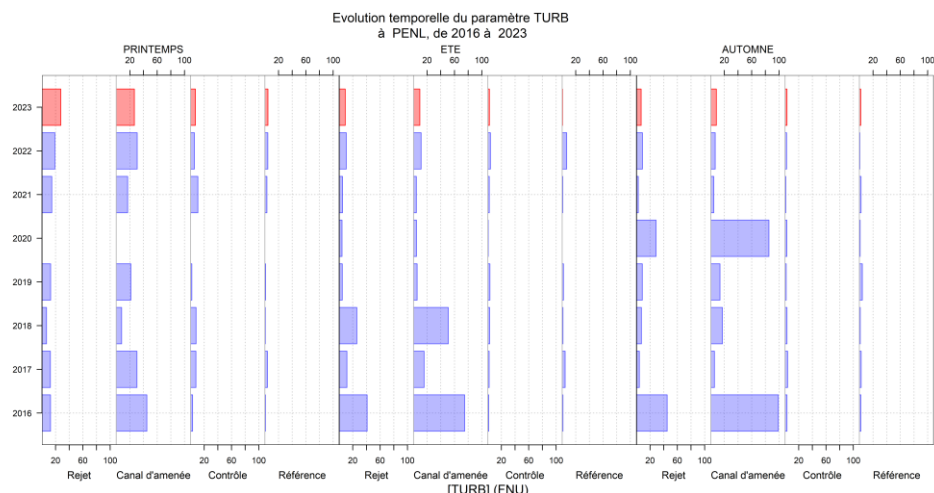


Figure B-24 : Distribution par année des mesures de Matière En Suspension (MES) réalisées aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'aménée depuis 2016, (Les résultats de la campagne printanière reportée en décembre ne figurent pas sur la figure).

Tous les points diffèrent de manière significative sauf les deux situés les plus au large (*Contrôle* et *Référence*) qui sont systématiquement similaires. Cette relation de la spatialisation des points révèle un gradient côte-large peu sensible aux saisons. Les périodes printanière et automnale montrent une homogénéité entre les points *Rejet* et *Canal*. Dans ce contexte les différences observées entre les points *Rejet* et *Canal* ne peuvent pas être imputables au seul fonctionnement du CNPE.

Tableau B-9 : Probabilité "p-value" associée aux tests d'hypothèse de comparaison de moyenne pour les MES sur l'ensemble de la surveillance, ("W" : test de wilcoxon ; "T" : test t de Student ; P-Value > 0,05, différence non significative).

Période prise en compte : 2016– 2023 (N~12)		Printemps		Été		Automne	
		Test	P-Value	Test	P-Value	Test	P-Value
Matières en suspension (MES)	Canal /Contrôle	T	< 0,01	W	< 0,01	W	< 0,01
	Canal /Référence	T	< 0,01	W	< 0,01	W	< 0,01
	Canal /Rejet	W	0,03	W	0,01	W	0,03
	Contrôle/Référence	W	0,36	W	0,93	W	0,06
	Contrôle/Rejet	W	< 0,01	W	< 0,01	W	< 0,01
	Référence/Rejet	W	< 0,01	W	< 0,01	W	< 0,01

B.1.10 HYDRAZINE ET ETHANOLAMINE

Depuis 2016, les analyses des paramètres hydrazine et éthanolamine sont réalisées par le laboratoire SGS (Rouen). Les méthodes mises en œuvre reposent sur une analyse en chromatographie ionique avec détection conductimétrique.

Si la limite de détection (LD) reste la même d'une série d'analyses à l'autre (i.e. d'une campagne de surveillance à l'autre), les "interférences" des échantillons influent la LQ rendue. Ces interférences sont liées à la grande proximité des pics d'absorption de l'Ethanolamine et du Sodium (très présent en eau de mer). Elles nécessitent, pour chaque échantillon, de recalculer le seuil de quantification en fonction du retour à la ligne de base du signal. Ainsi, la limite de quantification pour l'Ethanolamine est variable d'une série à l'autre (de 2 à 20 mg/L). Les résultats montrent de manière systématique des niveaux inférieurs à la LQ pour ces 2 paramètres. Les résultats sont détaillés en ANNEXE B-1 .

B.1.11 TRIHALOMETHANES OU HALOFORMES

Pour éviter le *fouling* dans les canalisations de *Rejet*, les CNPE mettent en œuvre un traitement chimique à l'hypochlorite de sodium produit par électrochloration d'eau de mer. Les composés dérivés pouvant être retrouvés dans les eaux des Rejets sont essentiellement des trihalométhanes. Il s'agit de composés volatils, comme le chloroforme et le bromoforme, fréquemment identifiés dans les eaux chlorées (Abarnou et *al.*, 1990). Le bromoforme est la forme chimique dominante. Son temps de demi-vie dans l'eau de mer est inférieur à une heure (Abarnou, 1981). Les teneurs des différents dérivés chlorés varient selon la quantité de matière organique et d'ammoniaque dissous. Les quatre formes organo-halogénées recherchées sont les suivantes :

- Tribromométhane = "bromoforme" (CHBr₃),
- Dibromomonochloro-méthane (CHBr₂Cl),
- Dichloromonobromo-méthane (CHBrCl₂),
- Trichlorométhane = "chloroforme" (CHCl₃).

Ces composés dérivés sont des substances potentiellement toxiques pour la faune et la flore marine. En 2018, à l'initiative du département R&D d'EDF, une revue bibliographique complétée par des essais menés par Rovaltain Research Company pour le compte d'EDF ont permis de préciser différents seuils écotoxicologiques appelés PNEC (Predicted No Effect Concentration).

Pour le bromoforme (forme majoritaire parmi les trihalométhanes) la PNEC chronique est évaluée à 7,86 µg/L et la PNEC aiguë à 71 µg/L en milieu marin (EDF-comm. Pers.).

Les mesures ayant permis d'observer des résultats supérieurs aux limites de quantifications représentent moins de 15 % de l'ensemble des mesures réalisées depuis 1989. En tout état de cause, les valeurs de résultats relevés dans le milieu au point *Rejet* sont historiquement inférieures à la PNEC chronique du bromoforme, qui est de 7,86 µg/L (Figure-B-25)

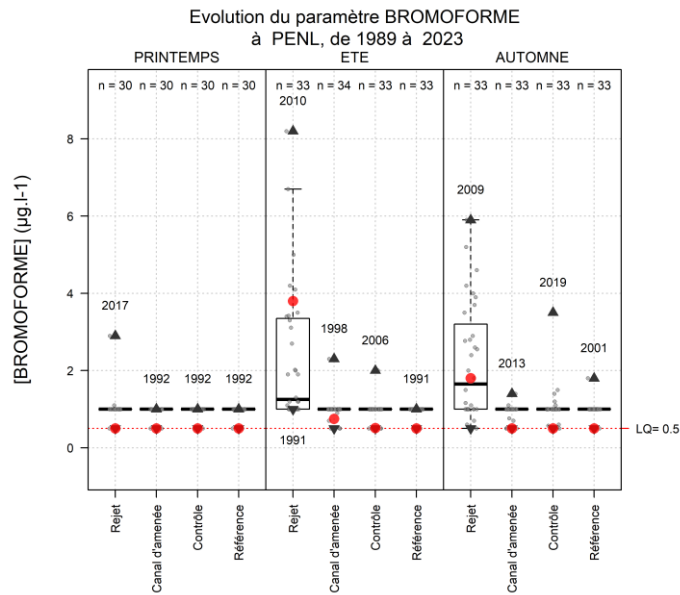


Figure-B-25 : Mesures de bromoforme (BROMO) réalisées aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal au cours de l'année, mise en perspective des mesures réalisées depuis 1989.

Depuis 1988, la majorité des Trihalométhanes n'ont jamais été observés et les valeurs de résultats sont systématiquement inférieures aux seuils de détections, ce qui a été le cas pour l'année 2023. Historiquement, seules les valeurs en **tribromométhane** ont été supérieures aux limites de détection (Figure-B-25). En 2023, la valeur de Bromoforme la plus élevée (3,8µg/l) a été observée sur le point REJET au PRINTEMPS. A noter que si des valeurs significatives ont été observées au même moment sur les points CANAL et CONTRÔLE les faibles concentrations (respectivement 0,75 µg/L et 0,5 µg/L) témoignent d'un effet limité géographiquement et d'une forte capacité de dispersion du milieu.

Les données historiques et acquises depuis le début du suivi (Figure B-26) confirment la présence de bromoforme notamment en été et à l'automne et le caractère perceptible et chronique de cette substance en particulier au point Rejet. Ceci est d'ailleurs illustré par une importante dispersion et des médianes pluriannuelles plus élevées au point *Rejet* à ces périodes de l'année, conséquence des traitements anti-fouling réalisés. L'influence de ces rejets de bromoforme doit cependant être limitée géographiquement car les médianes pluriannuelles aux points *Canal* et *Référence* sont caractérisées par des teneurs très proches de celles de la limite de détection. Ces points ne semblent donc pas ou peu être affectés par la présence de bromoforme.

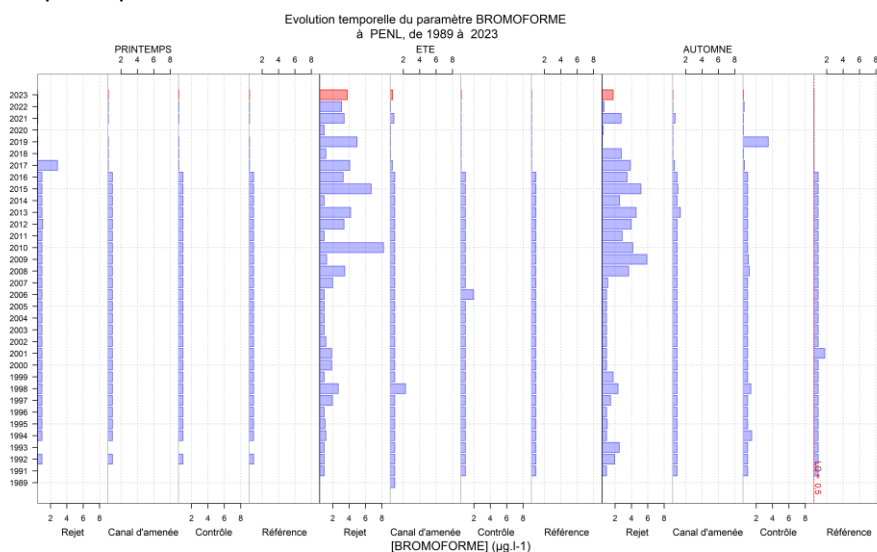


Figure B-26 : Distribution par année des mesures de Bromoforme ([BROMO]) réalisées aux 4 points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'aménée en surface depuis le début de la surveillance écologique du CNPE.

Compte tenu des mesures qui sont presque systématiquement inférieures au seuil de quantification, l'analyse statistique proposée pour analyser les similitudes entre les différents points de suivi n'a pas de sens.

B.1.12 MISE EN PERSPECTIVE DES RESULTATS AVEC LA DCE

La Directive Cadre sur l'Eau (DCE) :

La Directive Cadre sur l'Eau (DCE, 2000/60/CE) établit le principe d'une politique communautaire dans le domaine de l'eau en vue d'une meilleure gestion des milieux aquatiques. Elle s'applique à l'ensemble des pays membres de l'Union Européenne. Reposant sur un calendrier commun, elle fixe comme objectif général la restauration et le maintien du bon état écologique et chimique de l'ensemble des écosystèmes aquatiques (incluant les eaux marines côtières).

En aval des 5 grands bassins hydrographiques métropolitains, les eaux littorales (côtières et estuariennes) ont été découpées en unités géographiques cohérentes (masses d'eau) selon des critères géomorphologiques (i.e. hydrodynamiques et sédimentologiques).

Pour exemple, le littoral du bassin Seine-Normandie, accueillant 3 des 5 CNPE littoraux, a ainsi été découpé en 19 masses d'eau côtières (MEC) et 8 masses d'eau de transition (MET). L'article 8 de la DCE prévoit la mise en œuvre d'un programme de surveillance des masses d'eau, de manière à "*dresser un tableau cohérent et complet de l'état des eaux au sein de chaque bassin hydrographique*".

Le contrôle de surveillance DCE

Le contrôle de surveillance vise à donner une image globale de l'état d'une ou plusieurs masses d'eau représentatives des différentes typologies présentes sur le district hydrographique, et des pressions qui s'y exercent. Ce contrôle est appliqué depuis 2007 dans le bassin Seine-Normandie sur des paramètres permettant de qualifier l'état biologique, l'état hydromorphologique, l'état physico-chimique et l'état chimique. Les données sont acquises et analysées selon des méthodes de référence et des procédures standardisées.

Au-delà de cette évaluation, l'objectif de cette surveillance vise à également identifier les masses d'eau en risque de non-respect des objectifs environnementaux afin d'y appliquer des mesures opérationnelles dans le but d'atteindre le bon état écologique, et à évaluer les tendances des paramètres mesurés en fonction de l'évolution des pressions.

La surveillance réglementaire des CNPE de bord de mer

Bien antérieur à la mise en œuvre de la DCE, le suivi des 5 CNPE littoraux, initié à la fin des années 1970, s'est organisé pour répondre spécifiquement aux attentes et préoccupations locales. Les stratégies mises en œuvre (e.g. points de suivis, fréquences, paramètres, compartiment) ont régulièrement évolué pour s'adapter aux contraintes et/ou au contexte de chaque CNPE, contrairement à la DCE pour laquelle les exigences de standardisation, d'homogénéisation et de normalisation ont toujours constitué un objectif principal des stratégies mises en œuvre. Bien que reposant sur des stratégies différentes, une première approche intégrative des suivis réalisés dans le cadre du suivi IGA et DCE est proposé ici.

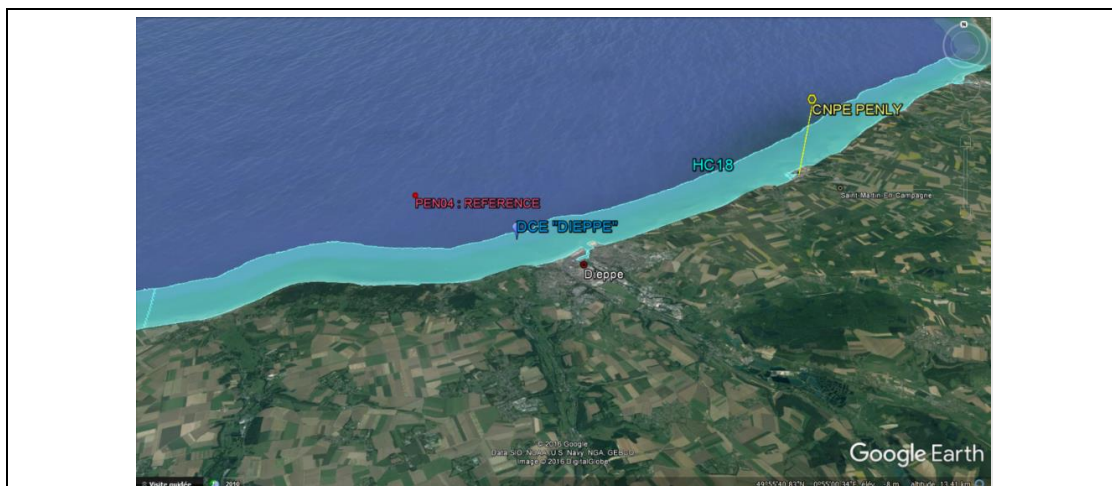
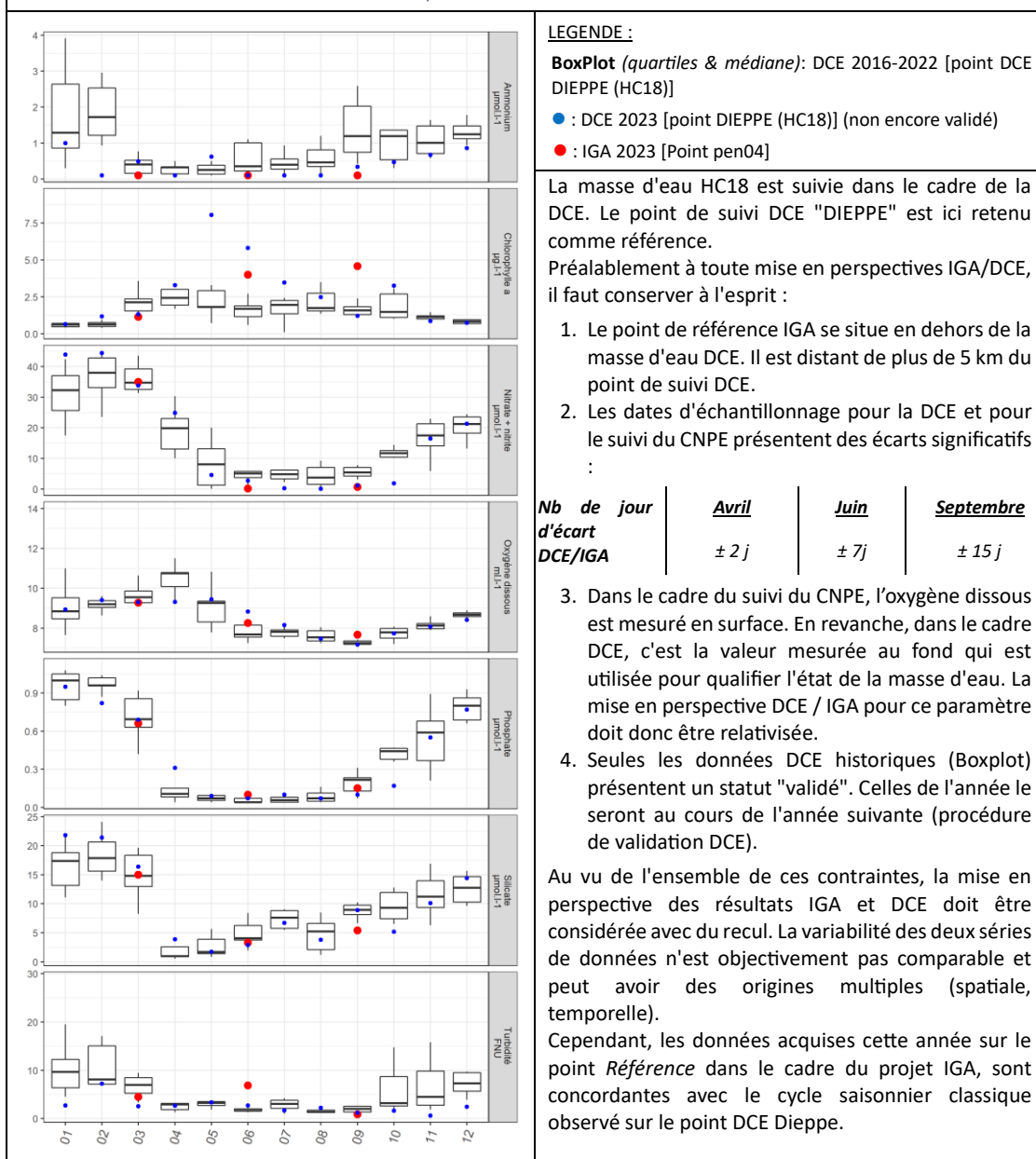


Figure B-27: mise en perspective de la localisation du point Référence de PENLY (PEN04) par rapport à la masse d'eau DCE (HC18), En bleu le point de suivi DCE "DIEPPE".



B.1.13 CONCLUSIONS

Pour 2023, les **paramètres suivis** au niveau du CNPE de PENLY dans le cadre de la surveillance du compartiment pélagique ne présentent pas de profils atypiques en regard de ce qui est habituellement observé. Les différences spatiales entre les points de suivis (et le point *Référence* en particulier) mettent le plus souvent en évidence un gradient côte-large caractéristique de la variabilité naturelle du milieu à Penly. Sur le plan climatique, pour Dieppe, cette année 2023 est la plus chaude depuis 1951, elle se classe donc au **premier rang des années les plus chaudes** avec une température moyenne annuelle de 12,5 °C et un écart à la normale 1981-2010 de +1,6 degrés, très peu devant 2022 avec 12,4 °C. En raison de cette situation atypique, les **températures de l'eau de mer**, relevées à proximité du CNPE, sont supérieures aux médianes historiques sur l'ensemble de la zone et des saisons sans toutefois atteindre des valeurs records. Cette particularité s'explique en partie par l'inertie thermique des masses d'eau marines.

Les salinités relevées en été se distinguent de celles du printemps et d'automne par une salinité plus élevée, en corrélation avec les données Météo France sur la pluviométrie indiquant des épisodes pluvieux durant les mois précédents les échantillonnages de printemps et d'automne. Un léger gradient de la côte vers le large apparaît à toutes saisons, révélant une influence de l'eau douce plus marquée à la côte.

Pour la 8^e année, des mesures d'**oxygène dissous** sont réalisées. Les concentrations relevées sont proches de la valeur de référence attendue en Manche Atlantique et aucun dysfonctionnement (état d'hypoxie ou d'anoxie) n'a été observé sur l'ensemble de la zone d'étude au cours de cette année.

Le suivi 2023 des **sels nutritifs** montre des concentrations relativement proches de la médiane historique pour tous les éléments azotés, tout au long de l'année. Les tendances sont conformes au cycle saisonnier classique (Figure B-1) et sont liées principalement au cycle biologique du phytoplancton qui se développe au printemps consommant l'azote, qui s'épuise courant l'été et se recharge à l'automne avec l'apport de cours d'eau.

Cette année, les valeurs de **MES** se situent dans la gamme haute des données historiques, pour toutes les saisons. Au printemps, le point *Référence* apparaît avec une teneur exceptionnelle de 34,55 mg.L⁻¹. Les résultats de **turbidité** mesurés sont comparables à ceux de MES ; caractérisés par d'importantes valeurs de turbidité aux points *Rejet* et *Canal*. La relation entre la turbidité et la concentration en MES n'est pas toujours évidente à établir, car elle dépend de plusieurs paramètres¹⁶. En effet, les caractéristiques géométriques et optiques des particules en suspensions sont variables et hétérogènes dans les eaux résiduaires ou pluviales urbaines. Ces paramètres peuvent varier en temps sec selon les heures et les jours et en temps de pluie lors d'évènements pluvieux. Sur les stations plus côtières et donc moins profondes, la remise en suspension de particules du fond, les apports continentaux par les bassins versants ainsi que des biomasses phytoplanctoniques généralement plus élevées, peuvent expliquer ces variations observées le long d'un gradient côte/large.

Concernant les **substances chimiques (hydrazine, éthanolamine et trihalométhanes)**, les concentrations sont systématiquement restées inférieures à la limite de quantification sur l'ensemble de la zone et ceci au cours des trois périodes d'échantillonnage.

Les données relatives au compartiment hydrologique acquises au cours de l'année dans le cadre du programme de surveillance écologique du CNPE de Penly mettent en évidence un échauffement de l'eau aux abords du *Rejet*. Cette perturbation thermique reste cependant géographiquement très limitée. Les autres paramètres suivis présentent des valeurs et des variations expliquées par la saisonnalité, l'environnement climatique et géomorphologique.

¹⁶ Ali Hannouche, Ghassan Chebbo, Gwenaël Ruban, Bruno Tassin, Claude Joannis. Relation entre la turbidité et les matières en suspension en réseau d'assainissement unitaire. Techniques Sciences Méthodes, ASTEE/EDP Sciences, 2011, 2010 (10), pp,12-51. hal-00722663

Ainsi, les rejets du CNPE n'affectent pas de façon générale la distribution et les variations saisonnières des paramètres étudiés. Les caractéristiques hydrologiques intrinsèques du milieu n'apparaissent donc pas modifiées par les activités du CNPE.

PHYTOPLANCTON

Rédaction mise en page

Tania Hernández Fariñas (LERN)

Prélèvements et mesures *in situ*

Sylvaine Françoise (LERN),

Frank Maheux (LERN),

Benjamin Simon (LERN),

Lucie Dechamps (LERN)

Laure Lamort (LERN)

Charlotte Mary (LERN)

Analyses

Sylvaine Françoise

Traitement des données

Tania Hernández Fariñas

Sylvaine Françoise

Traitement des données (Contrôle, validation)

Sylvaine Françoise

Expertise thématique

Tania Hernández Fariñas

B.2 Phytoplancton

Les communautés phytoplanctoniques, premier maillon de la chaîne trophique, se caractérisent par une grande diversité d'organismes microscopiques que l'on peut regrouper par taille : le picophytoplancton (taille < 2 μm), le nanophytoplancton (taille comprise entre 2 et 20 μm) et le microphytoplancton (taille > 20 μm). Ces peuplements sont appréhendés à travers différents paramètres :

- **Chlorophylle a** (biomasse chlorophyllienne) et **Phéopigments** : présente chez tous les organismes autotrophes, la chlorophylle a est un bon estimateur de la biomasse de phytoplancton. Les phéopigments sont un pigment chlorophyllien dégradé indicateur de la pression de broutage de la part du zooplancton ainsi que de la sénescence des cellules.
- **Production primaire** : représente la production potentielle maximale d'un peuplement *in vivo* en condition optimum. Elle permet également d'estimer l'état physiologique du peuplement. Cette approche intègre l'ensemble du peuplement (toutes tailles confondues).
- **Composition floristique** : l'identification et le dénombrement des espèces qui composent le microphytoplancton permettent d'en caractériser la structure et la diversité.

Ces paramètres (photosynthèse, assemblages d'espèces, biomasses) sont gouvernés à la fois par des facteurs physiques (conditions environnementales telles que la température, la lumière...) et des facteurs nutritionnels, tels que la concentration en sels nutritifs (azote, phosphate et silicate). La première source de variabilité pour ces facteurs, physiques et nutritionnels relèvent de la variabilité saisonnière. Les facteurs nutritionnels sont en outre étroitement liés aux apports terrestres et dans une moindre mesure aux apports atmosphériques qu'ils soient d'origine naturelle ou anthropique. Ainsi, les zones les plus proches de la côte sont favorisées par les apports terrigènes en nutriments dus aux fleuves, au ruissellement, aux échanges avec les masses d'eau du large et avec le sédiment dans les zones peu profondes. Le phytoplancton est favorisé par cet apport en sels nutritifs, d'où le gradient côte-large habituellement observé dans les zones côtières. Néanmoins, d'autres facteurs peuvent intervenir et être à l'origine d'une forte variabilité spatiale. Ces facteurs de contrôle de la biomasse du phytoplancton sont : la disponibilité en sels nutritifs (régulation de type bottom-up) ou par la prédation et le parasitisme (régulation de type top-down). D'une part, il est reconnu que la biomasse du phytoplancton ne dépend pas uniquement de la disponibilité en éléments nutritifs et, d'autre part, la prédation est capable de réduire la biomasse à des niveaux très faibles. Ces deux processus régulent ainsi la biomasse phytoplanctonique.

Dans les eaux tempérées françaises, les teneurs maximales en sels nutritifs (ou nutriments) sont observées en hiver (notamment les silicates, source nutritive principale de la famille des Diatomées pour structurer leur squelette externe (dit frustule). Ainsi, au printemps (augmentation de la luminosité et de la température) les Diatomées vont profiter de ces stocks hivernaux de silice pour dominer la communauté phytoplanctonique.

B.2.1 STRATEGIE DE SURVEILLANCE

Les mesures de chlorophylle a ont été initiées en 1989 (début de la surveillance) et perdurent de manière ininterrompue depuis.

Les dénombrements de cellules phytoplanctoniques ont également été initiés au début de la surveillance. D'abord réalisées de manière partielle (dénombrement limité aux espèces dominantes), depuis 2002, les flores sont dites "totales" (dénombrements exhaustifs sur l'ensemble du peuplement). Cette stratégie est toujours mise en œuvre aujourd'hui.

Enfin, si les premières tentatives de mesure de la production primaire remontent aux origines de la surveillance (1987) les modalités ont profondément évolué au cours de la surveillance avec l'abandon définitif de la méthode d'incubation dite "Carbone 14" en 2007 pour être remplacée par des mesures directes in situ.

Plus récemment, l'imagerie satellitaire est venue enrichir les moyens d'appréhender l'activité des populations de phytoplancton à des échelles plus grandes. À partir d'images de la couleur de la surface l'océan, les concentrations en chlorophylle peuvent être estimées (la proportion de lumière bleue et rouge absorbée par l'eau renseigne sur les niveaux d'activité photosynthétique qui eux-mêmes sont représentatifs de la concentration en chlorophylle). Bien que cette approche ne fasse pas partie de la stratégie de surveillance réglementaire des CNPE nous la proposons en complément des mesures in situ dans la mesure où elle permet de replacer les résultats de la surveillance dans un contexte plus large à la fois spatial, mais également temporel (saisonnier)¹⁷.

Conformément aux modalités mises en œuvre dans le cadre de la surveillance écologique du CNPE de Penly, les quatre stations échantillonnées pour le suivi du phytoplancton sont les mêmes que celles définies pour l'hydrologie, la physico-chimie et la chimie (Figure 0-1). La fréquence de suivi est également similaire.

B.2.2 MATERIELS ET METHODES

L'ensemble des prélèvements d'eau en vue de l'étude du phytoplancton sont réalisés au moyen d'une bouteille à prélèvement (type Niskin). Les neuf mesures successives de production primaire sont réalisées à bord du DELPHY au niveau de chaque point de prélèvement.

Tableau B-10 : Récapitulatif des paramètres de suivi du compartiment « phytoplancton ».

Paramètres [CODE Q ²]	Nb. Échantillons.	Stations	Fréquence
Détermination et dénombrement des espèces [FLORTOT]	1 en sub-surface	4 stations : CANAL REJET CONTRÔLE RÉFÉRENCE	3 camp./an
Chlorophylle <i>a</i> [CHLOROA]			- Printemps 04/04/2023
Phéopigments [PHEO]			- Été 20/06/2023
Production primaire [rETR, YMAX]			- Automne 26/09/2023

B.2.2.1 Chlorophylle a et phéopigments

Les mesures de la chlorophylle *a* sont réalisées sur des échantillons d'eau brute issus de la bouteille de prélèvement, conservés au frais en glacière et à l'abri de la lumière jusqu'au retour au laboratoire. La concentration en Chlorophylle *a* est mesurée par la méthode spectrophotométrique monochromatique de Lorenzen (1967). Un échantillon d'un litre environ est filtré aussitôt après le prélèvement sur une membrane en fibre de verre type GF/F (Whatman). Les filtres sont ensuite congelés à l'obscurité jusqu'au dosage. L'extraction des pigments chlorophylliens dans 10 mL d'acétone à 90% (v/v 90/10) est effectuée pendant 18 heures à l'obscurité. Après centrifugation à 3000 tours/min pendant 15 minutes, le surnageant est placé dans une cuve de 5 cm de trajet optique. L'absorption est alors mesurée à différentes longueurs d'onde, dans un premier temps sans acidification (chlorophylle *a*), puis après acidification (phéopigments) (Aminot et Kérouel, 2004).

¹⁷ Exceptionnellement en 2023, des problèmes dans la chaîne de traitement des images satellites à l'IFREMER nous ont conduit à retirer cette partie du rapport. Nous mettons tout en œuvre pour trouver une solution qui nous permettra d'actualiser ces résultats dès l'année 2024.

Tableau B-11 : Références analytiques normalisées pour la mesure de biomasse de phytoplancton.

Paramètre	Méthode prélèvement [Code SANDRE] <i>Prétraitement, Volume, conservation avant analyses</i>	Méthode analyse [Code SANDRE] Référentiel	LD / LQ*	Précision**
Chlorophylle a [CHLOROA] [SANDRE : 1439]	Bouteille Niskin 5 L [SANDRE : 60000180] 1 flacon 2 L Glacière <8°C. jusqu'à filtration (<12h) puis congélation -20°C 2 mois maximum	spectrophotométrie monochromatique de Lorenzen (1967) (sur éch filtré et congelé) Aminot et Kérouel, 2004 – p. 172 [SANDRE : 779]	LD méthode = 0,15µg/L	Incertitude élargie minimale de 60% au niveau « LQ » Incertitude élargie ≤ 50% au niveau « 3 x LQ »
Phéopigments [PHEO] [SANDRE : 1436]				

* 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

** 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

B.2.2.2 Production primaire

La production primaire est un paramètre qui fait partie de la surveillance depuis ses débuts (1987). Elle a d'abord été appréhendée selon la méthode dite "d'intégration de C¹⁴". Lourde et coûteuse à mettre en œuvre, à compter de 2007 lui a été préféré une méthode plus simple et finalement beaucoup plus performante reposant sur des mesures *in vivo*. La conséquence la plus notable réside dans les changements de métriques entre les deux méthodes, ne permettant pas la continuité de la série historique.

Les informations de production primaire viennent enrichir et compléter celles apportées par les biomasses chlorophylliennes ou les flores totales. La production primaire appréhende le peuplement de phytoplancton dans toutes ses dimensions et tout particulièrement en intégrant les fractions du peuplement composées de pico et de nanophytoplancton.

Les mesures de production primaire sont réalisées sur des échantillons d'eau brute issus de la bouteille de prélèvement et traités et analysés directement à bord du bateau.

Tableau B-12 : Références analytiques normalisées pour la mesure de la production primaire.

Paramètre	Méthode prélèvement [Code SANDRE] <i>Prétraitement, Volume, conservation avant analyses</i>	Méthode analyse [Code SANDRE] Référentiel	LD / LQ*	Précision**
taux de transport relatif des électrons [rETR] [SANDRE : en cours]	Bouteille Niskin 5 L [SANDRE : 60000180] 1 flacon 50 ml <i>Lecture directe</i>	Fluorimétrie par PAM embarqué (Pulse Amplitude Modulated) [SANDRE : 60002540]	Pas de LQ / Précision : le résultat est issu d'une combinaison d'au moins 3 réplicas de 9 mesures successives par réplicas	
Rendement du photosystème II (Yield) [Ymax] [SANDRE : en cours]				

* 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

** 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

La méthode mise en œuvre pour l'évaluation des paramètres de production primaire est en cours de normalisation SANDRE (Tableau B-12). Son principe repose sur une mesure directe des variations de fluorescence intracellulaire des cellules phytoplanctoniques au moyen d'un fluorimètre modulé (Pulse amplitude Modulated –PAM- Walz) embarqué (Thompson et al., 2007 ; Kromkamp et al., 2008 ;

Schmitt-Jansen et al., 2008 ; Napoléon et al., 2012)¹⁸. Les résultats bruts sont enregistrés pour être exploités au retour au laboratoire.

L'analyse des résultats bruts permet de calculer 2 paramètres :

- **rETR** : capacité maximale de production primaire de l'échantillon, et par extension à l'estimation de production potentielle maximale du peuplement *in vivo*.
- **Y_{max}** : valeur calculée de l'efficacité quantique maximum du photosystème II". Ce paramètre donne une indication de l'état des communautés.

Tableau B-13 : Échelle d'interprétation de l'indice de qualité physiologique (Y_{max}).

Valeur de Y _{max}	Interprétation
≥ 0,6	Très bon état physiologique.
0,5 à 0,6	Bon état
0,4 à 0,5	Etat moyen
0,3 à 0,4	Mauvais état
< 0,3	Très mauvais état

B.2.2.3 Dénombrement du phytoplancton

Les flores totales (dénombrements à l'espèce) sont réalisées sur des échantillons d'eau brute, issus de la bouteille de prélèvement, fixées au Lugol neutre puis conservées au frais en glacière et à l'abri de la lumière jusqu'au retour au laboratoire.

La détermination et le comptage des espèces s'effectuent avec un microscope inversé à contraste de phase. Pour s'assurer d'un intervalle de confiance au maximum de 20%, un minimum de 100 cellules doit être dénombré (Lund et al., 1958 ; Neaud-Masson, 2015)¹⁹. Les résultats sont exprimés en nombre de cellules par litre.

Tableau B-14 : Références analytiques normalisées pour le dénombrement du phytoplancton.

Paramètre	Méthode prélèvement [Code SANDRE] <i>Prétraitement, Volume, conservation avant analyses</i>	Méthode analyse [Code SANDRE] Référentiel	LD / LQ*	Précision**
Flore Totale abondance cellules [FLORTOT] [SANDRE : 3084]	Bouteille Niskin 5 L [SANDRE : 60000180] 1 flacon 125 ml Fixation Lugol neutre (2,5 ml/L) Conservation à l'obscurité et au frais (4°C). 2 mois maximum	Comptage cellules au microscope ²⁰ Technique d'Utermöhl (Utermöhl, 1958) [SANDRE : 2405]	100 Cell/L	< 20 % si nombre cellules > 100

¹⁸ Thompson, Peter A., Stephane Pesant, et Anya M. Waite. 2007. « Contrasting the vertical differences in the phytoplankton biology of a dipole pair of eddies in the south-eastern Indian Ocean ». *Deep-Sea Research II*, no 54:1003–1028.

Kromkamp, Jacco C., Nicole A. Dijkman, Jan Peene, Stefan G.H. Simis, et Herman J. Gons. 2008. « Estimating phytoplankton primary production in Lake IJsselmeer (The Netherlands) using variable fluorescence (PAM-FRRF) and C-uptake techniques ». *European Journal of Phycology* 43 (4):327-44. <https://doi.org/10.1080/09670260802080895>

Schmitt-Jansen, Mechthild, et Rolf Altenburger. 2008. « Community-level microalgal toxicity assessment by multiwavelength-excitation PAM fluorometry ». *Aquatic Toxicology* 86 (1):49-58. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2007.10.101>.

Napoléon, Camille, Virginie Raimbault, Liliane Fiant, Philippe Riou, Sébastien Lefebvre, Luis Lampert, et Pascal Claquin. 2012. « Spatiotemporal dynamics of physicochemical and photosynthetic parameters in the central English Channel ». *Journal of Sea Research* 69:43-52. <https://doi.org/10.1016/j.jseares.2012.11.105>.

¹⁹ Lund, J.W.G., Kipling, C. & Le Cren, E.D. 1958. The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting, *Hydrobiologia*, 11 (2) : 11: 143. <https://doi.org/10.1007/BF00007865>

Neaud-Masson Nadine (2015). Observation et dénombrement du phytoplancton marin par microscopie optique photonique - Spécifications techniques et méthodologiques appliquées au REPHY. Document de méthode. R.INT.ODE/DYNECO/VIGIES/15-13. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00292/40293/>

²⁰ NF EN 15972 : Qualité de l'eau - Guide pour l'étude quantitative et qualitative du phytoplancton marin
NF EN 15204 : Qualité de l'eau – Norme guide pour le dénombrement du phytoplancton par microscopie inversée (méthode Utermöhl)

B.2.2.4 Traitement et exploitation des données

Les traitements et l'exploitation des données acquises s'articulent autour de 3 principes :

- Une meilleure représentativité des résultats : depuis le milieu des années 1980 les 3 campagnes annuelles sont identifiées par leur caractère saisonnier (printemps, été, automne). Dans la réalité, les dates des campagnes présentent une grande variabilité interannuelle, en particulier dans les années les plus anciennes (Cf. § "Historique", p. 1). La distribution des dates de campagnes sur les 3 CNPE normands depuis 1987 a permis de définir pour chaque saison les plages de dates les plus représentatives (regroupant 90 à 95 % des résultats). Cette plage dite "normale" couvre approximativement 1 mois calendaire pour chaque saison. Les campagnes dont les dates s'écartent de cette plage saisonnière sont qualifiées de "précoces" ou "tardives" selon qu'elles précèdent ou suivent la plage "normale". Enfin, quelques campagnes ont été planifiées en dehors des plages saisonnières (compensation d'écart, complément d'échantillonnage...). Elles sont qualifiées de "hors saison" et représentent moins de 5 % de la totalité des campagnes réalisées depuis le début de la surveillance.

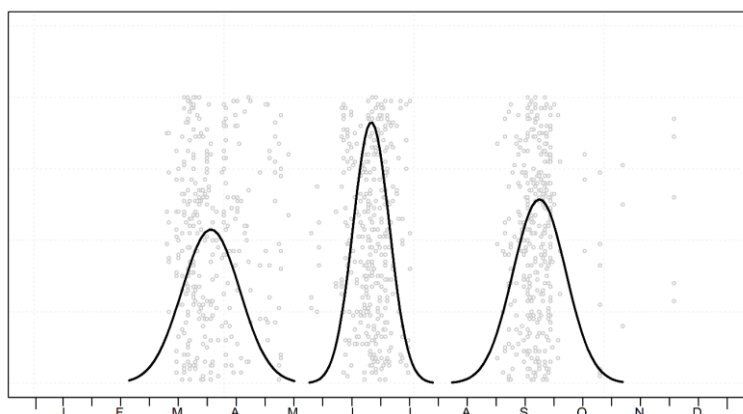


Figure B-28 : Diagramme de dispersion temporel des dates des trois campagnes saisonnières issues des jeux de données historiques des trois CNPE normands (pour éviter la superposition de tous les points sur la seule dimension de l'axe des abscisses, les points ont été répartis sur l'axe vertical)

Depuis 2019, une attention particulière est portée dès la planification de chacune des trois campagnes. Des plages de dates ont été fixées de telle sorte que les campagnes soient le plus représentatives et les plus cohérentes sur le plan de la continuité historique. Dans l'éventualité où une campagne se trouverait décalée dans le temps (conditions météo, problème matériel...) le caractère "précoce", "tardif" ou "hors saison" est automatiquement inscrit dans les métadonnées associées pour pouvoir être pris en compte dans le cadre des traitements statistiques des résultats.

Tableau B-15 : Plages temporelles permettant de qualifier les campagnes saisonnières en regard de leur date de réalisation au cours d'une année. La plage dite "normale" intègre 90% de toutes les campagnes historiques réalisées depuis le début de la surveillance.

IGA 2019	HORS-SAISON	PRECOCE (5%)	normal (90%)	TARDIF (5%)	HORS-SAISON
PRINTEMPS		du 1er mars au 14 mars	15 mars 15 Avril (méd. : 31-mars)	16 avril 30 avril	du 01 mai au 15 mai
ÉTÉ	du 15 mai au 01 juin	du 01 juin au 09 juin	10 juin 09 juil (méd. : 28-juin)	10 juil 17 juil	Du 18 juil. au 06 aout
AUTOMNE	du 06 aout au 25 août.	du 25 aout au 08 sept	09 sept 04 oct (méd. : 22 sept)	05 oct 20 oct	du 20 oct au 10 nov

- Une représentation graphique : La mise en perspective de la variabilité spatiale (entre les points) et saisonnière (entre les campagnes) 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 au début des années 1980)²¹. Les données qualifiées de "hors saison" sont exclues de ces traitements.

Toutes ces dimensions sont combinées sous une seule et même représentation graphique, le "boxplot", dont le principe est rappelé dans la Figure B-29.

Les années pour lesquelles des valeurs records (minimum ou maximum) 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.

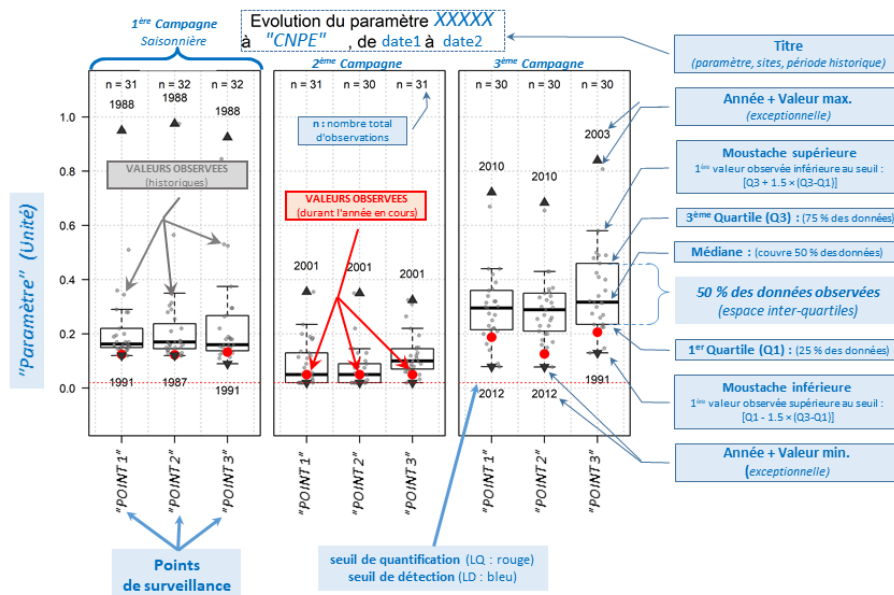


Figure B-29 : Description des graphiques de type "boxplot" utilisés pour présenter les résultats de la surveillance annuelle en perspective de l'ensemble des observations historique de la surveillance

Une autre approche de la variabilité spatiale et temporelle est également proposée sous la forme d'une distribution d'histogrammes par année des résultats observés aux différents points de suivi depuis le début de la surveillance écologique du CNPE. Cette représentation permet d'appréhender plus aisément la variabilité interannuelle en identifiant plus précisément les années entre elles. Les données qualifiées de "hors saison" sont exclues de ce traitement.

- Une approche statistique : les résultats observés durant l'année en cours sont intégrés dans la série historique avec l'objectif d'évaluer si des différences statistiquement significatives entre les points se dégagent, en particulier entre les points d'entrée (Canal d'aménée) et de sortie (Rejet) du CNPE. Pour cela, des tests de comparaisons de moyennes pour données appariées ont été proposés au début des années 2000. Le test présente deux hypothèses, notées H0 (hypothèse nulle) et H1 (hypothèse alternative). Dans le cadre statistique de ce test une nouvelle variable est créée, dont les valeurs (di) sont obtenues par la différence des paires de valeurs (valeurs observées pour une paire de stations sur une même année). Dans le cadre de l'hypothèse nulle H0, la moyenne des différences est de 0. L'hypothèse alternative (H1) stipule que cette moyenne des différences est non nulle. Ainsi, si H0 ne peut pas être rejeté (absence de différence significative), ceci se traduira, en termes écologiques, par un mélange important du milieu et l'homogénéité des masses d'eau. Si l'on rejette H0, le test révélera une

²¹ 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.

hétérogénéité des masses d'eau entre les points testés. Ces analyses sont remises à jour chaque année.

Pour chaque paramètre concerné, le choix du test statistique le plus approprié est conditionné par l'analyse de la distribution de la différence entre les valeurs prises en considération pour le test (point A vs point B). L'étude de cette distribution est réalisée à l'aide du test de Shapiro-Wilks.

Lorsque la distribution est normale, le test T de Student pour données appariées est utilisé. Dans le cas contraire (distribution non normale), la comparaison des données est réalisée à l'aide du test de Wilcoxon pour données appariées.

L'interprétation de ces tests est faite au seuil de risque de 5%. Si la valeur de "*p-value*" obtenue est inférieure à 0,05, le risque de faire une erreur en concluant que la différence est "significative" est limité (< 5%). Si par contre la valeur de "*p-value*" reste supérieure à la valeur de 0,05, alors les différences observées ne sont pas considérées comme significatives.

B.2.3 BIOMASSE CHLOROPHYLLIENNE ET PHAEOPIGMENTS

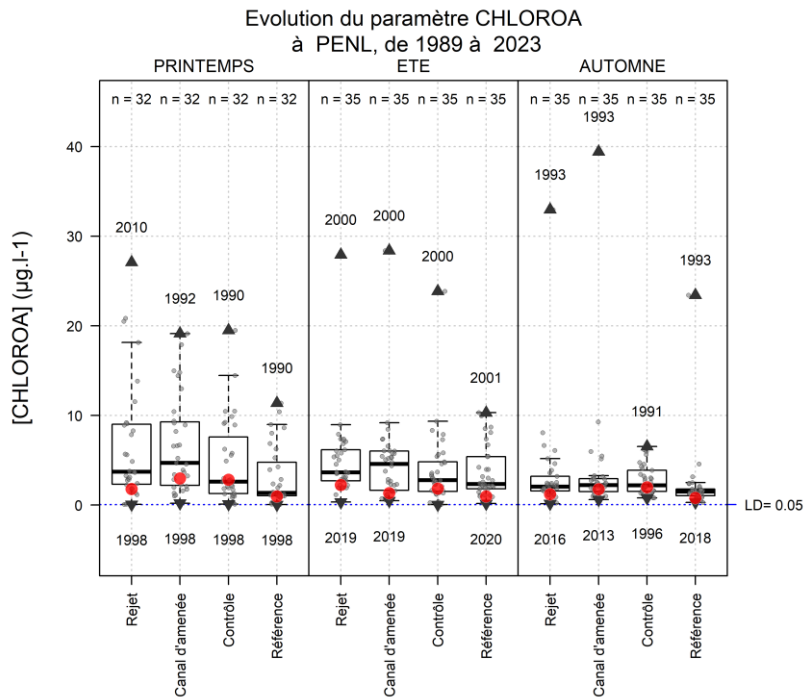


Figure B-30 : Mesures de chlorophylle a réalisées aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'amenée au cours de l'année, mises en perspective de toutes les données observées depuis le début de la surveillance écologique du CNPE de Penly (voir Figure B-29 pour détail des boxplots).

Les concentrations en chlorophylle a mesurées en 2023 varient entre 0,79 et 2,97 µg/L (Référence à l'automne et Canal au printemps respectivement) (Figure B-30). Le gradient côte-large est peu marqué en 2023, mais reste identifiable, principalement durant les campagnes de printemps et été. Du point de vue de la série historique (Figure B-31), les concentrations observées en 2023 sont globalement inférieures aux médianes historiques.

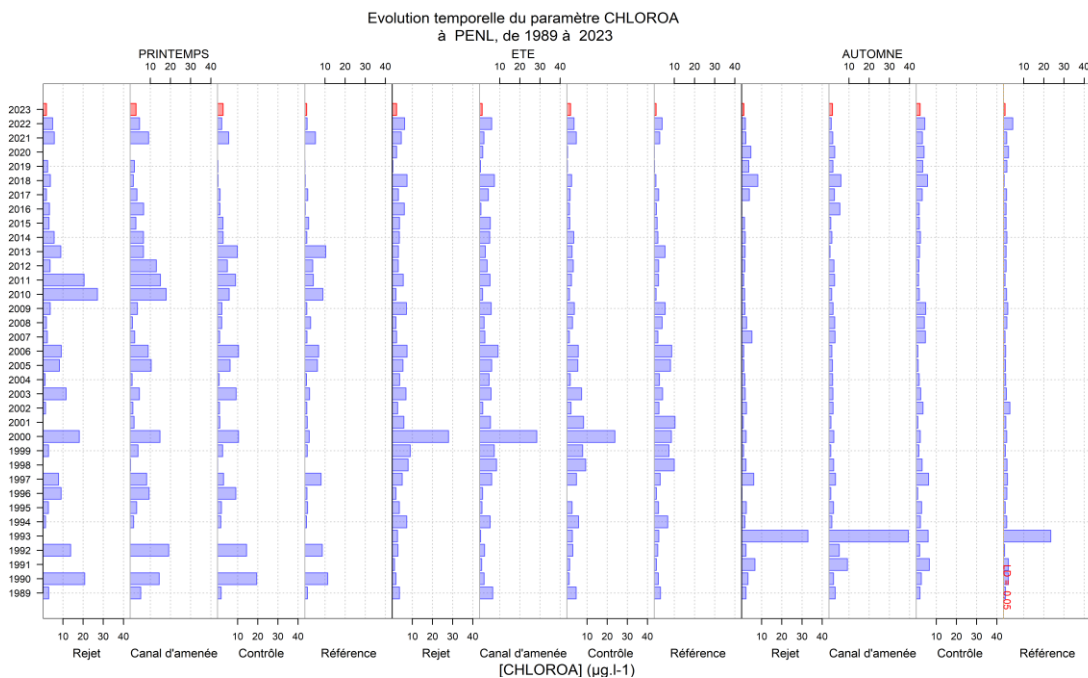


Figure B-31 : Distribution par année des mesures de concentration en chlorophylle a (CHLOROA) réalisées aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'amenée depuis le début de la surveillance écologique du CNPE.

L'intégration des résultats de surveillance pour l'année 2023 ne modifie que très légèrement les résultats de l'étude statistique réalisée en 2022. Une différence significative est observée entre le point *Rejet* et *Référence* sur toutes les saisons. Au printemps, des différences significatives sont observées également entre le point *Canal* et les points *Contrôle* et *Référence*, ainsi qu'entre le point *Contrôle* et *Référence*. En été, des différences statistiquement significatives sont retrouvées parmi le point *Contrôle* et les stations *Canal* et *Rejet*. À l'automne les différences significatives sont observées entre le point *Référence* et les autres stations (*Rejet*, *Canal* et *Contrôle*). La variabilité spatiale (gradient côte-large) mise en évidence par ces résultats reste cohérente avec la variabilité naturelle du milieu pour ces paramètres.

Tableau B-16 : Probabilité "p-value" associée aux tests d'hypothèse de comparaison de moyenne pour la chlorophylle a. ("W" : test de Wilcoxon ; "T" : test t de Student ; P-Value > 0,05, différence non significative).

Période prise en compte :	Printemps		Été		Automne	
	Test	P-Value	Test	P-Value	Test	P-Value
1989 – 2023 (N~35)						
<i>Canal/Contrôle</i>	T	< 0,01	T	0,04	W	0,56
<i>Canal/Référence</i>	W	< 0,01	W	0,12	W	< 0,01
<i>Canal/Rejet</i>	W	0,65	W	0,41	W	0,98
<i>Contrôle/Référence</i>	W	< 0,01	W	0,96	W	< 0,01
<i>Contrôle/Rejet</i>	W	0,01	T	< 0,01	W	0,77
<i>Référence/Rejet</i>	W	< 0,01	W	0,01	W	< 0,01

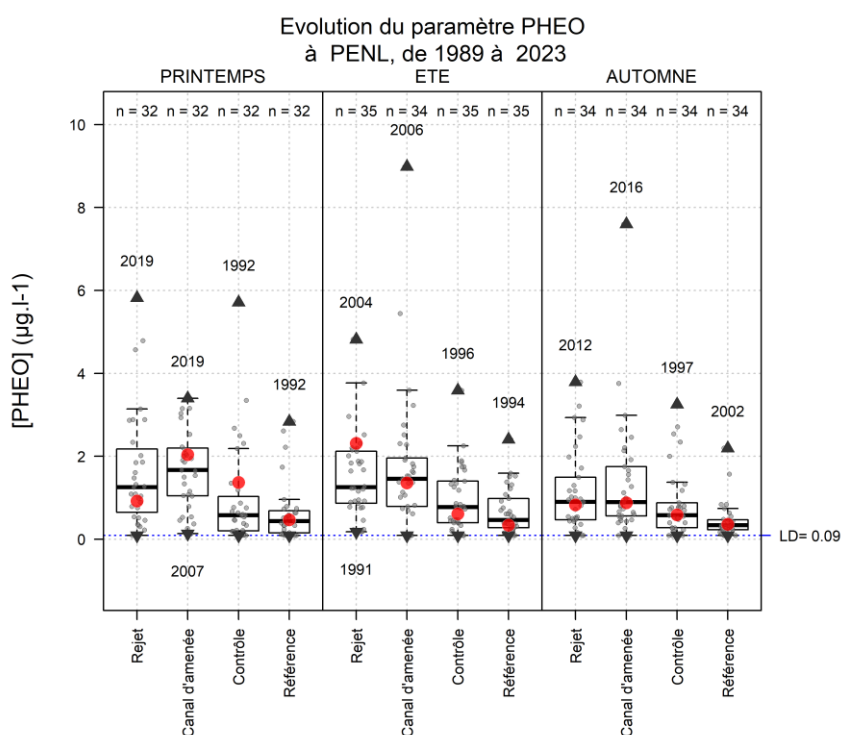


Figure B-32 : Mesures de phéopigments réalisées aux quatre points *Référence*, *Contrôle*, *Rejet* et *Canal d'amenée* au cours de l'année, mises en perspective de toutes les données observées depuis le début de la surveillance écologique du CNPE de Penly (voir Figure B-29 pour détail des boxplots).

La Figure B-32 montre les concentrations en phéopigments mesurées en 2023. Celles-ci varient entre 0,34 et 2,31 µg/L (*Référence* et *Rejet* en été, respectivement). Un gradient côte-large est perceptible entre les points côtiers (*Canal d'amenée* et *Rejet*) et du large (*Contrôle* et *Référence*) au cours des trois campagnes. À l'échelle interannuelle, les valeurs mesurées en 2023 sont globalement proches des médianes historiques.

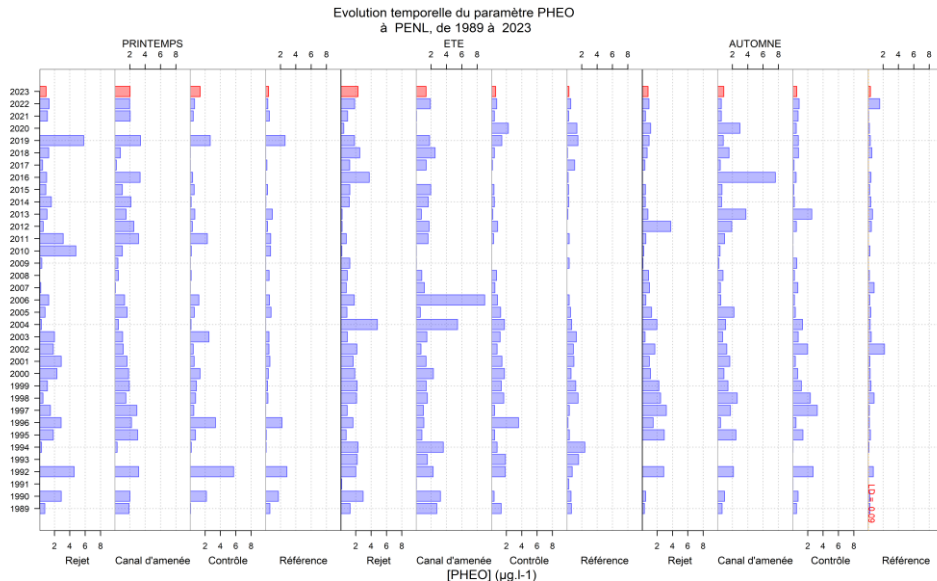


Figure B-33 : Distribution par année des mesures de concentration en phéopigments (PHEO) réalisées aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'aménée depuis le début de la surveillance écologique du CNPE.

B.2.4 PRODUCTION PRIMAIRE

B.2.4.1 Analyses in-situ de la production primaire (rETR)

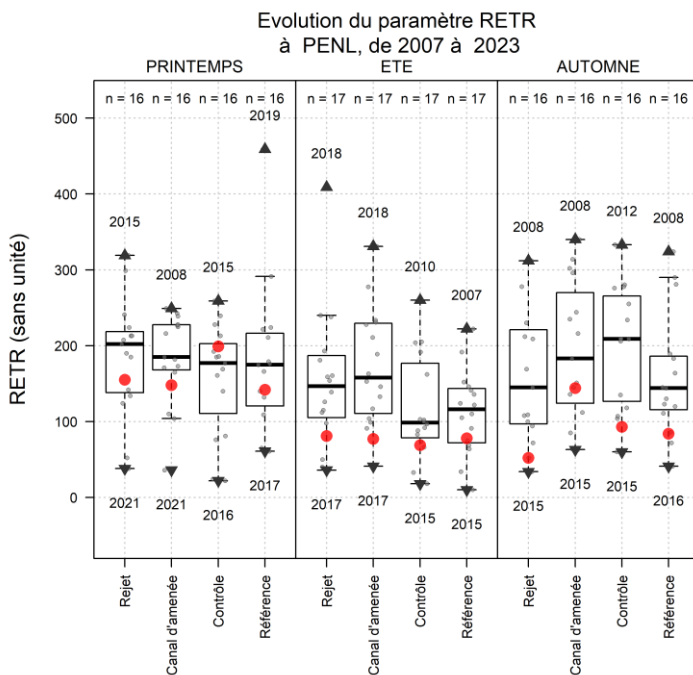
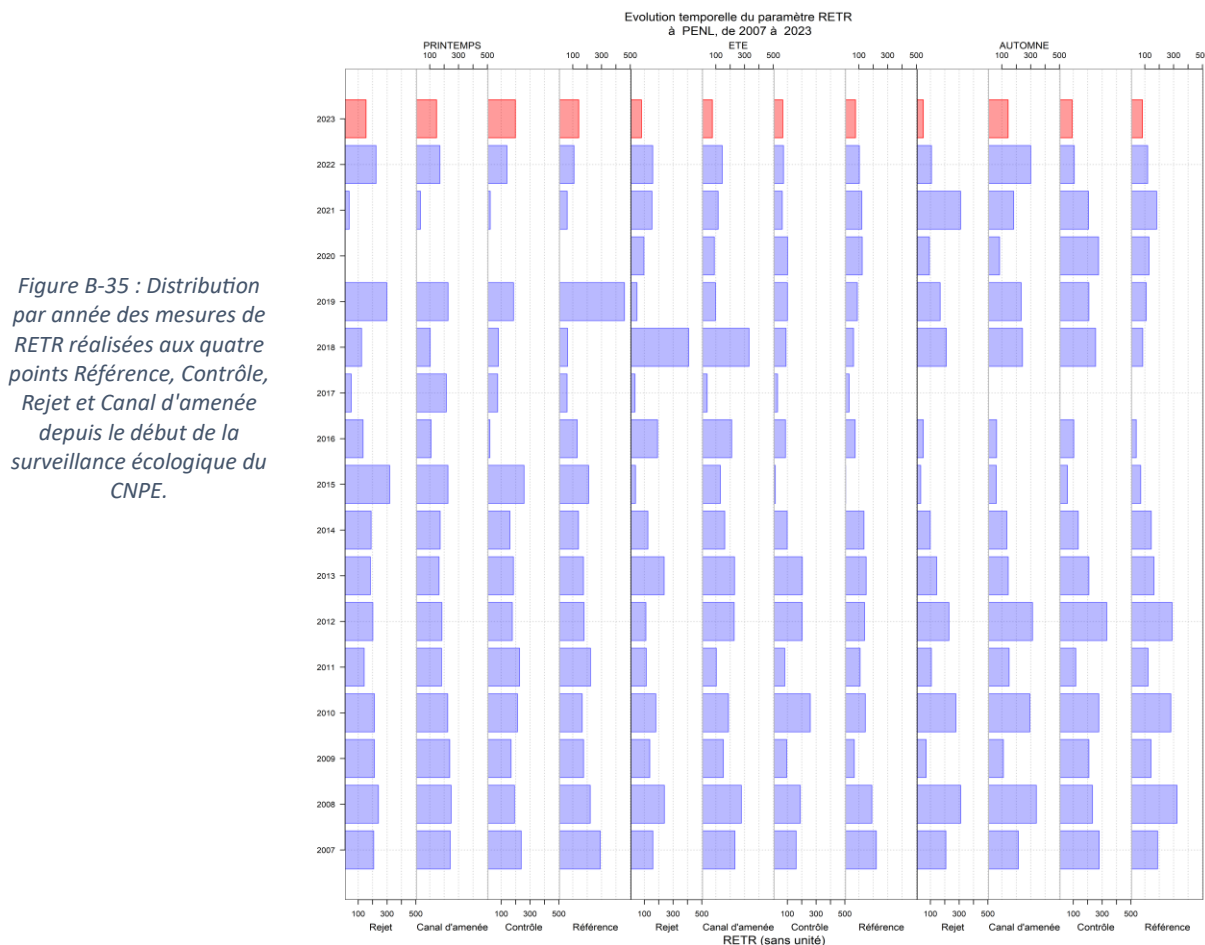


Figure B-34 : Mesures de production primaire (rETR) réalisées aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'aménée au cours de l'année, mises en perspective de toutes les données observées depuis le début de leur acquisition dans le cadre de la surveillance écologique du CNPE.

Les valeurs de rETR mesurées en 2023 varient entre 52 et 199 (*Rejet* en automne et *Contrôle* au printemps, respectivement). Le gradient côte-large est peu marqué cette année sur les campagnes. L'activité photosynthétique est plus intense au cours du printemps et atteint son maximum sur le point *Contrôle* au cours du printemps, seule valeur supérieure à la médiane de la série historique durant l'année. En effet, pour les autres stations et campagnes, les valeurs mesurées sont inférieures à la médiane historique (Figure B-34 et Figure B-35). Ces résultats sont en cohérence avec la dynamique de biomasse chlorophyllienne observée cette année.



Au cours de l'été, des différences significatives sont trouvées entre le point *Canal* et les points *Contrôle* et *Référence*. À l'automne les couples *Référence/Contrôle* et *Rejet/Canal* montrent des différences significatives. Ces résultats témoignent d'une variabilité naturelle du milieu et suggèrent une influence limitée du *Rejet* du CNPE de Penly sur la production primaire du phytoplancton.

Tableau B-17 : Probabilité 'p-value' associée aux tests d'hypothèse de comparaison de moyenne pour le paramètre RETR (production primaire). ('W' : test de wilcoxon ; 'T' : test t de Student ; P-Value > 0,05, différence non significative).

Période prise en compte : 2007 – 2023 (N~16)	Printemps		Été		Automne	
	Test	P-Value	Test	P-Value	Test	P-Value
<i>Canal/Contrôle</i>	T	0,07	T	0,01	T	0,83
<i>Canal/Référence</i>	W	0,44	W	< 0,01	W	0,08
<i>Canal/Rejet</i>	W	0,8	T	0,15	W	0,01
<i>Contrôle/Référence</i>	W	0,89	T	0,68	T	0,03
<i>Contrôle/Rejet</i>	T	0,15	W	0,11	T	0,04
<i>Référence/Rejet</i>	T	0,95	W	0,07	W	0,44

B.2.4.2 Analyse in-situ de l'efficacité quantique maximale (Y_{max})

Pendant longtemps il a été admis que le passage des cellules phytoplanctoniques à l'intérieur des échangeurs ainsi que la chloration pouvaient générer une mortalité importante des cellules photosynthétiques. Ceci est très difficile à vérifier expérimentalement avec des mesures de biomasses chlorophylliennes, principalement en raison d'une variabilité spatiale importante. La mesure Y_{max} permet une véritable estimation de l'état physiologique des peuplements présents au point *Rejet*.

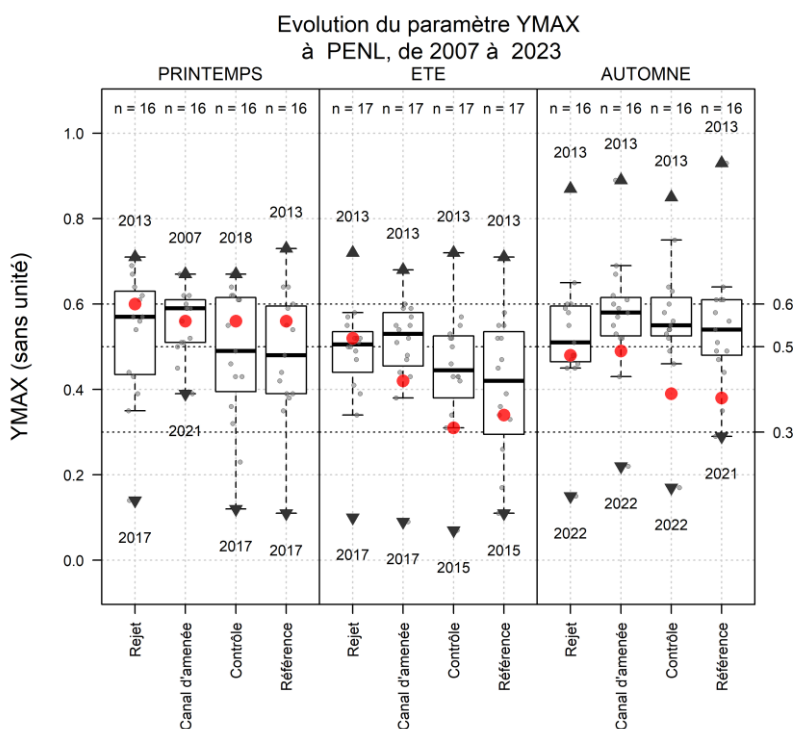


Figure B-36 : Mesures du paramètre Y_{max} réalisées aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'aménée au cours de l'année, mises en perspective de toutes les données observées depuis le début de leur acquisition dans le cadre de la surveillance écologique du CNPE.

D'un point de vue spatial et saisonnier, l'état physiologique global du peuplement de phytoplancton (toutes tailles comprises) en 2023 varie entre mauvais état et bon (de 0,31 à 0,6). L'état mauvais du peuplement phytoplanctonique a été observé principalement pendant les campagnes d'été et d'automne (sur les points *Contrôle* et *Référence*). Ces résultats sont en cohérence avec les faibles valeurs d'activité photosynthétique et biomasse chlorophyllienne enregistrées pour ces saisons. Globalement, le gradient côte-large est peu marqué en cette année, mais reste visible, surtout pour les saisons printemps et été. Du point de vue historique, les valeurs mesurées en été et à l'automne sont inférieures aux médianes historiques, mais supérieures pendant la saison printanière.

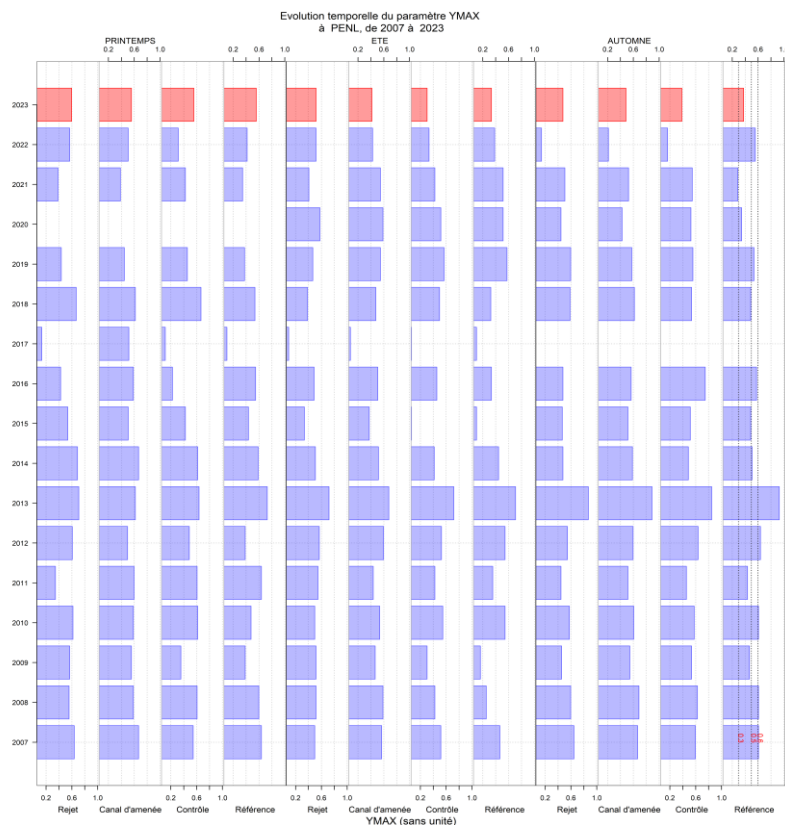


Figure B-37 : Distribution par année des mesures de Ymax réalisées aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'aménée depuis le début de leur acquisition dans le cadre de la surveillance du CNPE.

Au printemps, seul le couple Canal/Référence montre des différences statistiquement significatives. En été, une différence significative est relevée entre le point Canal et les points Contrôle et Référence ainsi qu'entre le point Rejet et le point Référence. En automne, une différence significative est relevée entre le point Canal et les points Rejet et Référence. Là encore, l'hétérogénéité spatiale peut expliquer ces différences entre les points côtiers et plus au large.

Tableau B-18 : Probabilité 'p-value' associée aux tests d'hypothèse de comparaison de moyenne pour le paramètre Ymax. ('W' : test de wilcoxon ; 'T' : test t de Student ; P-Value > 0,05, différence non significative).

Période prise en compte :	Printemps		Été		Automne	
	Test	P-Value	Test	P-Value	Test	P-Value
2007 – 2023 (N~15)						
Canal/Contrôle	W	0,27	T	< 0,01	W	0,21
Canal/Référence	W	0,03	W	< 0,01	W	0,05
Canal/Rejet	W	0,92	T	0,5	T	< 0,01
Contrôle/Référence	T	0,86	T	0,43	W	0,25
Contrôle/Rejet	T	0,17	T	0,04	W	0,28
Référence/Rejet	T	0,23	T	0,01	W	0,92

B.2.5 POPULATIONS PHYTOPLANCTONNIQUES

B.2.5.1 Le peuplement dans son ensemble

La première manière d'appréhender le microphytoplancton réside dans le dénombrement global des cellules qui le composent. Les abondances du microphytoplancton en 2023 (exprimées à l'échelle logarithmique) sont présentées dans la Figure B-38 et Figure B-39.

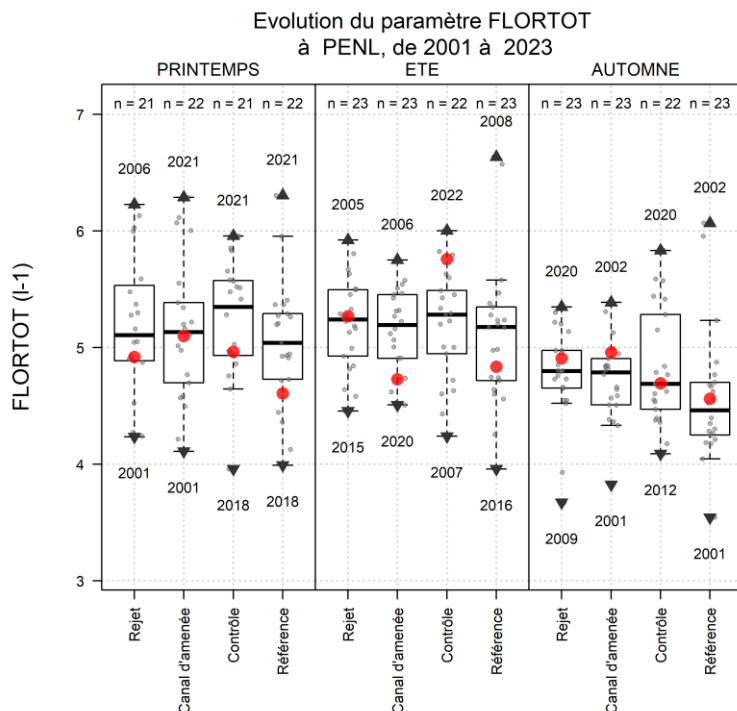


Figure B-38 : Abondances totales (Log_{10} (nombre de cellules/L)) dénombrées aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'aménée au cours de l'année, mise en perspective de toutes les données observées depuis le début de leur acquisition dans le cadre de la surveillance écologique du CNPE (voir Figure B-3 pour détail des boxplots).

Les valeurs observées en 2023 sont comprises entre 4,56 et 5,75 cellules/L (échelle log_{10}). Sur le plan spatial, le gradient côte – large est peu marquée au cours de la campagne estivale. Sur le plan saisonnier, les abondances observées en été sont les plus fortes de l'année, suivies de celles mesurées au printemps et ensuite à l'automne. En été, les points *Rejet* et *Contrôle* montrent les maximas de l'année, sur *Contrôle* la valeur est bien au-dessus de la médiane historique, alors que pour les autres stations et campagnes les valeurs sont proches ou en-dessous des médianes historiques.

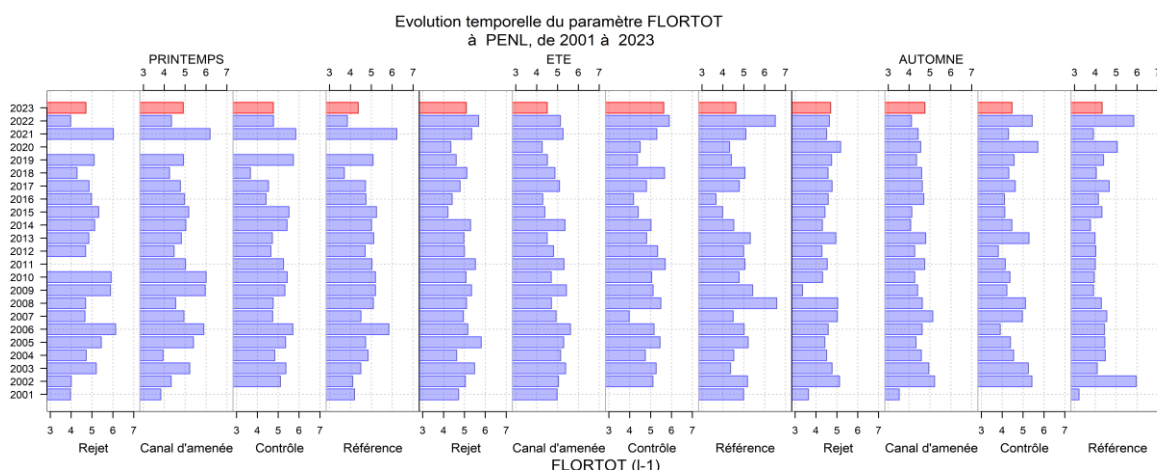


Figure B-39 : Distribution par année des mesures de FLORTOT réalisées aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'aménée depuis le début de la surveillance écologique du CNPE.

Une différence significative est observée en automne pour les abondances microphytoplanctoniques entre le point *Référence* et le *Rejet* (Tableau B-19). Ce résultat met en perspective un gradient côte-large prédominant en automne, peu marquée cette année mais bien identifiable sur la série historique. Aucune différence significative entre les autres points n'apparaît pour les abondances microphytoplanctoniques. Ce résultat est cohérent avec la variabilité naturelle du milieu et ne peut être imputable au fonctionnement du CNPE sur le paramètre suivi.

Tableau B-19 : Probabilité 'p-value' associée aux tests d'hypothèse de comparaison de moyenne sur les abondances phytoplanctoniques, ('W' : test de Wilcoxon ; 'T' : test t de Student ; P-Value > 0,05, différence non significative).

Période prise en compte : 2001 – 2023 (N~23)	Printemps		Été		Automne	
	Test	P-Value	Test	P-Value	Test	P-Value
Canal/Contrôle	W	0,78	W	0,31	W	0,57
Canal/Référence	W	0,23	W	0,46	W	0,09
Canal/Rejet	W	0,99	W	0,14	W	0,63
Contrôle/Référence	W	0,26	W	0,23	W	0,1
Contrôle/Rejet	W	0,52	T	0,43	W	0,
Référence/Rejet	W	0,11	W	0,19	W	0,01

Concernant le dénombrement du phytoplancton, le principal objectif est de détecter, depuis la mise en service de la centrale, un éventuel déséquilibre dans les successions phytoplanctoniques. La succession de ces assemblages est gouvernée principalement par la variabilité saisonnière. La croissance cellulaire du phytoplancton peut être limitée par deux principaux types de facteurs, l'un physique l'autre nutritionnel. Les facteurs physiques tels que la lumière, la température sont essentiellement liés à la variabilité saisonnière. Les facteurs nutritionnels s'ils sont indirectement saisonniers sont particulièrement liés aux apports de sels nutritifs par les rivières, les eaux de ruissellement, les eaux souterraines ou l'atmosphère (sels azotés, phosphates, silicates) qu'ils soient d'origine naturelle ou anthropique.

Dans les eaux tempérées françaises, les teneurs maximales en nutriments et notamment en silice, utilisées pour la structuration du frustule par les diatomées, sont atteintes en hiver. Le maximum phytoplanctonique est largement dominé par les diatomées durant le printemps, période d'augmentation de l'éclairement et de l'élévation de la température.

Les dinoflagellés, bien que minoritaires sont capables de développements rapides qui peuvent conduire à des perturbations majeures de l'écosystème. Les plus fortes dominances de dinoflagellés sont en général observées en automne, au moment où (1) les nutriments ont été largement assimilés par les diatomées et (2) la masse d'eau est plus stable.

L'étude du ratio entre les diatomées et les dinoflagellés permet ainsi d'appréhender le microphytoplancton d'une autre manière pour détecter d'éventuels déséquilibres dans les communautés microphytoplanctoniques.

Concernant les diatomées et les dinoflagellés (microphytoplancton) uniquement (

Figure B-40), les diatomées dominant largement la communauté phytoplanctonique 2023 (plus de 90% de diatomées sur tous les points et saisons). En été et à l'automne, période d'augmentation de l'éclairement et de l'élévation de la température, les diatomées dominant également, mais la contribution du groupe des dinoflagellés est plus importante, notamment sur les sites *Canal* et *Référence* (9,3 et 9,1% respectivement) en été, et le site *Référence* à l'automne (5.2%). La plus forte abondance de ce groupe a été observée en été sur le point *Référence* (6 200 cellules/L). Les dinoflagellés, bien que minoritaires dans les eaux atlantiques, sont capables de développements rapides et peuvent conduire à des perturbations majeures de l'écosystème. Habituellement, les plus fortes dominances sont observées en été, quand les concentrations en sels nutritifs sont plus faibles, et lorsqu'il existe une relative stabilité verticale de la colonne d'eau (i.e stratification thermique ou haline).

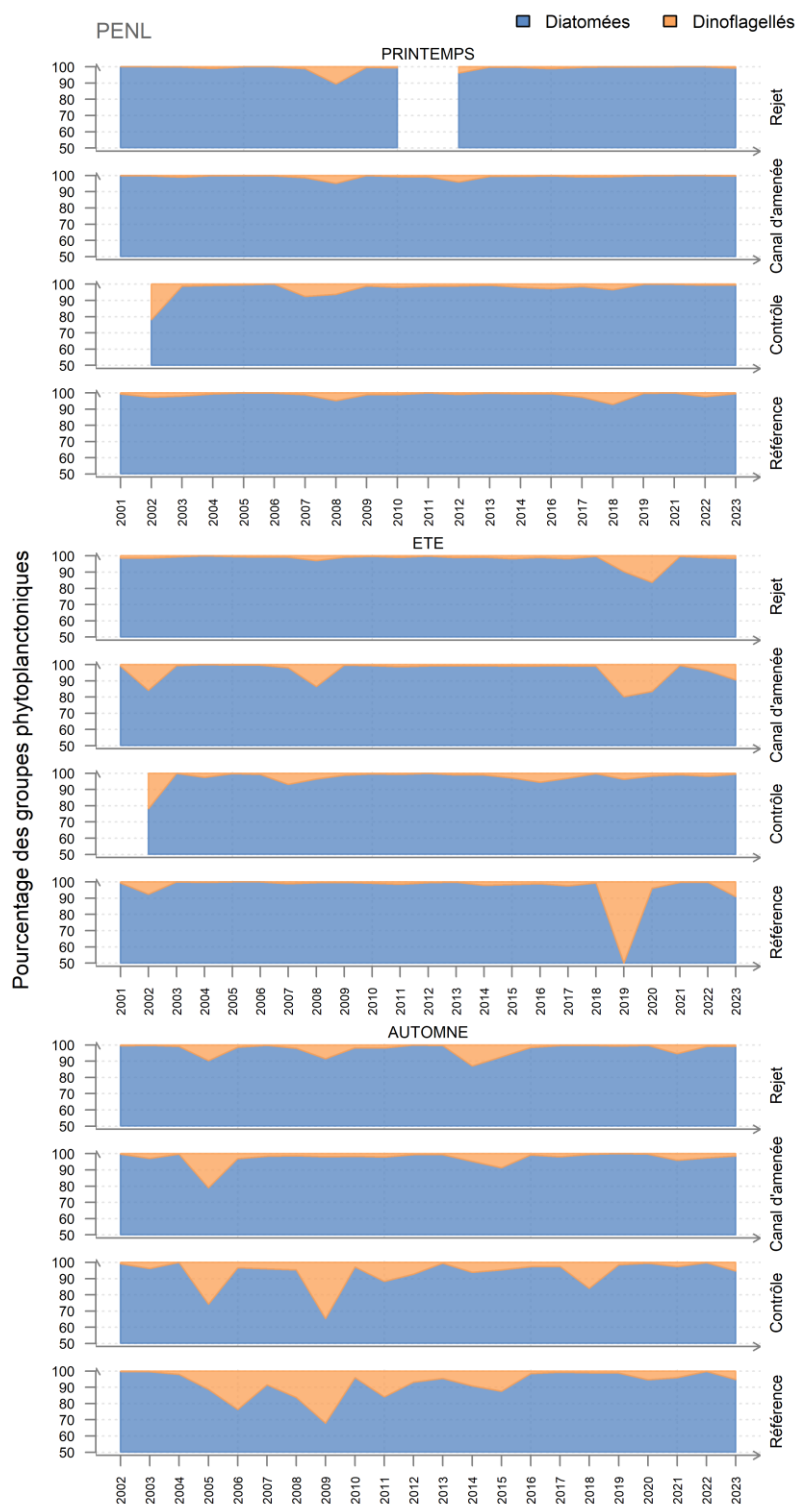


Figure B-40 : Contributions (en pourcentage) des deux principaux groupes phytoplanktoniques (diatomées et dinoflagellés) aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'aménée au cours de l'année et mise en perspective de toutes les données observées depuis le début de leur acquisition dans le cadre de la surveillance écologique du CNPE. Les zones en blanc représentent des données manquantes.

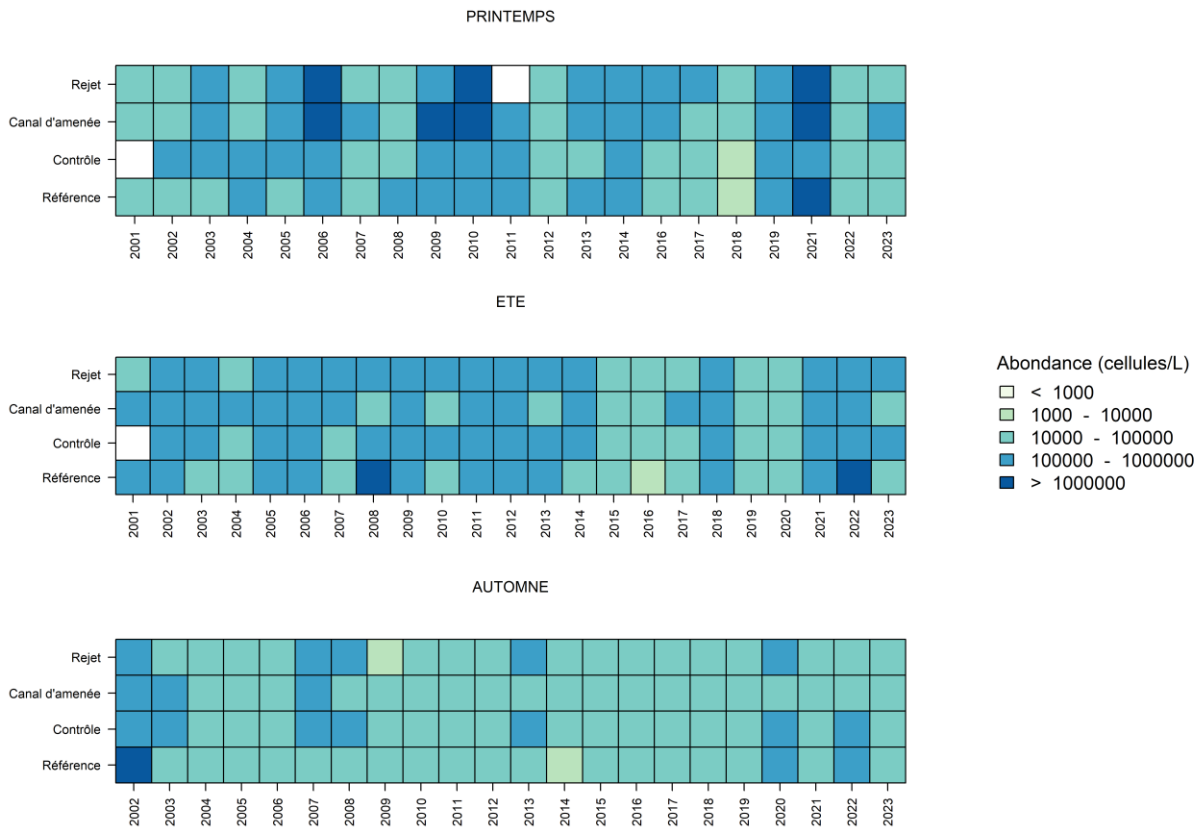


Figure B-41 : Abondance (cellules/L) des diatomées aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'aménée au cours de l'année et mise en perspective de toutes les données observées depuis le début de leur acquisition dans le cadre de la surveillance écologique du CNPE.

Les comptages phytoplanctoniques indiquent que depuis 2001 les abondances de diatomées sont généralement comprises entre dix mille et un million de cellules par litre, et montrent une forte hétérogénéité spatio-temporelle (Figure B-41). Occasionnellement, de plus faibles concentrations en diatomées (entre mille et dix mille cellules par litre) ont été observées notamment aux points côtiers au printemps 2001 et aux points *Canal* et *Référence* en automne des années 2009 et 2010 respectivement. De manière exceptionnelle, il a été dénombré au point *Référence* pendant l'été 2008 plus d'un million de diatomées par litre.

Au cours de l'année 2023, des développements relativement importants du groupe des diatomées ont eu lieu en été, avec plus de 180 000 cellules par litre sur les sites *Rejet* et *Contrôle* (182 900 et 570 200 cellules/L). A cette saison et sur les autres sites le dénombrement des diatomées était compris entre 8 500 et 62 300 cellules par litre. En automne on dénombre des abondances des diatomées bien plus faibles, ne dépassant pas les 89 800 cellules par litre.

Comme le démontre la Figure B-42, les abondances de dinoflagellés observées depuis 2001 sont nettement inférieures à celles associées aux diatomées. Les dénombrements de dinoflagellés effectués depuis 2001 montrent des abondances la plupart du temps inférieures à cent mille cellules par litre sur tous les points à toutes les saisons, avec une tendance légèrement plus faible au printemps. En 2023, les abondances en dinoflagellés sont comprises dans la gamme des valeurs régulièrement observées (200 et 6 200 cellules/L).



Figure B-42 : Abondance (cellules/L) des dinoflagellés aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'aménée au cours de l'année et mise en perspective de toutes les données observées depuis le début de leur acquisition dans le cadre de la surveillance écologique du CNPE.

L'essentiel du microphytoplancton est donc composé par des diatomées sur les zones côtières de l'Atlantique nord-est. Cependant il faut garder à l'esprit que bien souvent la fraction nanophytoplanctonique (espèces algales dont la taille est comprise entre 2 μm et 20 μm), difficilement accessible par microscopie optique, peut devenir majoritaire, tant par son abondance que sa biomasse (Lampert, 2001)²².

B.2.5.2 Les taxons structurants

Parmi les taxons dénombrés au cours de l'année 2023, les plus fortes contributions tous points et saisons confondues sont associées aux diatomées appartenant aux genres *Leptocylindrus*, *Guinardia* et *Chaetoceros*. En été, le genre *Leptocylindrus* est responsable des abondances relativement fortes observées sur les sites du *Rejet* et *Contrôle*. Ce genre, et plus particulièrement l'espèce *L. danicus*, est connu pour avoir une affinité thermique pour les eaux plus chaudes, d'où son observation majoritaire en été. Sur les autres campagnes *Leptocylindrus* n'est pas observé et ce sont les diatomées *Guinardia delicatula* et *Chaetoceros* qui présentent les plus fortes abondances.

En 2023 les dinoflagellés ont été faiblement représentés. Le complexe *Scrippsiella*, l'espèce *Gyrodinium spirale* et l'ordre Peridiniales sont les plus importants en 2023, mais avec des abondances qui restent relativement faibles. D'autres groupes du phytoplancton présents cette année sont : les cryptophycées et les euglènes (Figure B-43). En 2023, les cryptophycées (nanophytoplancton pouvant être à l'origine de blooms planctoniques importants) sont plus abondants, principalement en été et en automne, mais présents toute l'année et sur tous les points.

²² LAMPERT, L. 2001. Dynamique saisonnière et variabilité pigmentaire des populations phytoplanctoniques dans l'Atlantique Nord (Golfe de Gascogne). Thèse de troisième cycle, Université de Bretagne Occidentale. 328 pp.

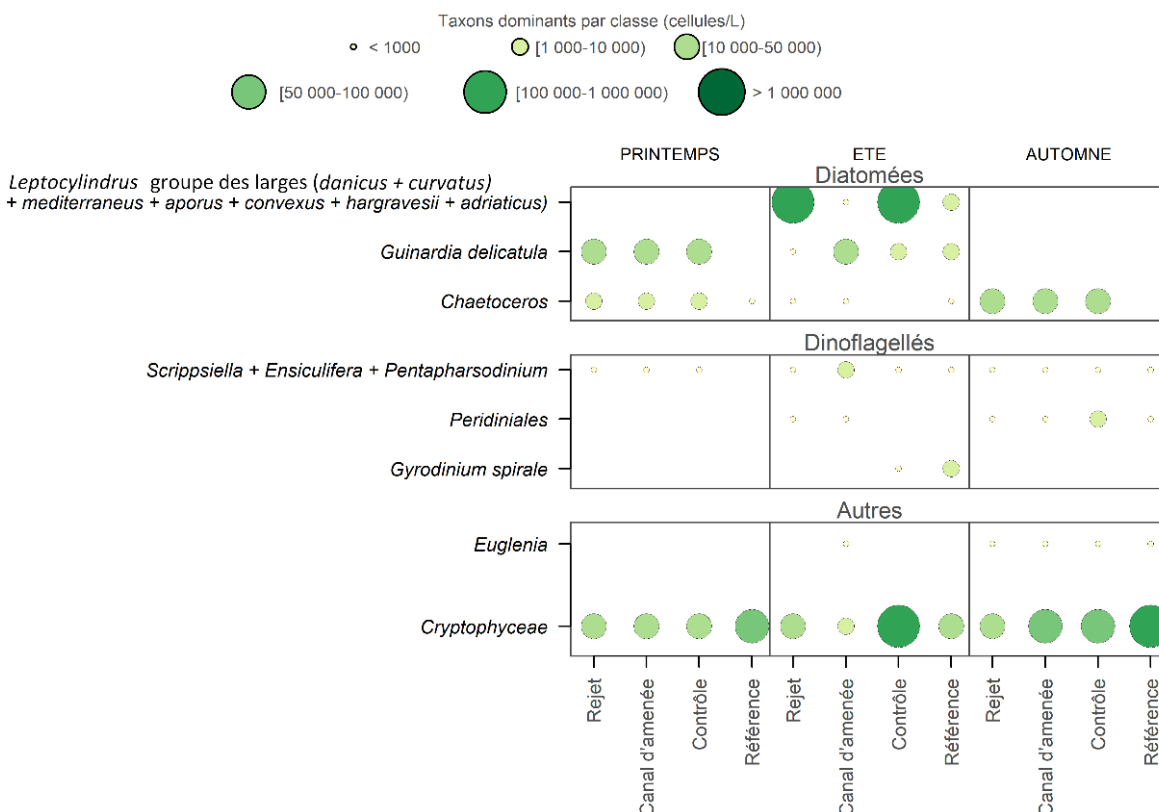


Figure B-43 : Abondance (cellules/L) des taxons dominant la communauté phytoplanctonique aux quatre points Référence, Contrôle, Rejet et Canal d'amenée au cours de l'année. Les espaces en blanc témoignent de l'absence du taxon lors du dénombrement.

En 2023, la structure des communautés phytoplanctoniques est conforme à ce qui est généralement observé sur les quatre points à chaque saison (i.e. dominance des cryptophyceae et des diatomées, dinoflagellés souvent minoritaires).

B.2.6 BILAN DES RESULTATS OBTENUS AUX POINTS CANAL D'AMENEE ET REJET

Le calcul du déficit de chlorophylle *a*, de production primaire et d'abondance phytoplanctonique au point *Rejet* par rapport au point *Canal d'amenée* se calcule au moyen de l'équation ci-dessous :

$$\frac{(V_r - V_c) \times 100}{V_c}$$

Où *V_c* et *V_r* représentent respectivement la valeur (chlorophylle *a*, production primaire ou abondance microphytoplanctonique) observée au *Canal d'amenée* et au point *Rejet*.

En utilisant les valeurs de 2023 pour les trois paramètres précités, les déficits obtenus sont présentés dans le Tableau B-20. Une valeur négative exprime un déficit au point *Rejet* par rapport au point *Canal d'amenée*.

Tableau B-20 : Déficiants des trois paramètres étudiés entre les points Canal d'amenée et Rejet.

Campagne	Chlorophylle <i>a</i>	Microphytoplancton	Production primaire potentielle
PRINTEMPS	-40,07	-31,31	4,73
ETE	70,45	263,55	5,19
AUTOMNE	-31,07	-31,51	-63,89

Un déficit au point *Rejet* par rapport au point *Canal* est observé sur les paramètres "Microphytoplancton" et "Chlorophylle-*a*" durant le printemps et l'automne 2023 et durant l'automne pour le paramètre "Production primaire potentielle". Ces différences peuvent s'expliquer par deux phénomènes, l'un à caractère spatial et l'autre temporel. Les caractéristiques de la masse d'eau du *Rejet* peuvent résulter du mélange des eaux des points *Canal* et *Référence*. D'autre part, le temps de transit de l'eau de mer entre le *Canal* et le *Rejet* est de quelques heures, alors que les prélèvements sont faits à 30 minutes d'intervalle. On ne peut donc pas exclure que les différences entre les valeurs observées relèvent essentiellement de variabilité spatiale et temporelle naturelle qui caractérise le milieu marin.

B.2.7 CONCLUSIONS

L'année 2023 apparaît comme une année marquée par de faibles valeurs de biomasse, de production primaire potentielle, où l'état physiologique du peuplement phytoplanctonique est globalement mauvais en été et à l'automne au niveau des points Contrôle et Rejet. Ceci s'accompagne de faibles abondances du phytoplancton mesurées, notamment en été, sur les points *Canal* et *Référence*. Au printemps (mars et avril) l'ensoleillement est déficitaire, ce qui peut expliquer le faible développement du phytoplancton (biomasse et abondance) à cette saison d'habitude très productive. La forte concentration observée pour certains sels nutritifs (azote inorganique et silicates) peut résulter de la faible consommation de ceux-ci par le phytoplancton.

A l'instar des années précédentes, l'année 2023 est caractérisée par une large dominance des diatomées sur l'ensemble des points d'échantillonnage à proximité du CNPE de Penly. Les espèces dénombrées sont communément observées sur la zone. Le cycle saisonnier du phytoplancton, ainsi que la structure des communautés phytoplanctoniques observées en 2023 ne présentent pas de caractéristiques pouvant mettre en cause l'activité du CNPE de Penly. La variabilité spatio-temporelle observée est principalement liée à l'évolution des conditions environnementales (*e.g.* concentrations en sels nutritifs, lumière, turbulence) le long du gradient côte large. Ainsi, l'évolution dans le temps de ces paramètres semble cohérente avec les connaissances que nous avons de ces paramètres en Manche.

L'étude des paramètres suivis dans le compartiment phytoplanctonique ne met pas en évidence une influence des rejets d'eau de refroidissement des circuits tertiaire du CNPE de Penly sur le milieu marin environnant.

ZOOPLANCTON

Rédaction mise en page

Elvire Antajan (LERBL)

Prélèvements et mesures *in situ*

Sylvaine Françoise (LERN),

Frank Maheux (LERN),

Benjamin Simon (LERN),

Lucie Dechamps (LERN)

Laure Lamort (LERN)

Charlotte Mary (LERN)

Analyses

Elvire Antajan

Florian Caradec

Rémy Cordier

Traitement des données

Elvire Antajan

Traitement des données (*Contrôle, validation*)

Elvire Antajan

Expertise thématique

Elvire Antajan

B.3 Zooplancton

Le zooplancton (du grec *zoon* = animal et *planao* = errer passivement) regroupe l'ensemble des organismes 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 des espèces 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.3.1 STRATEGIE DE SURVEILLANCE

En 2023, les trois campagnes de prélèvements ont eu lieu les 4 avril, 20 juin et 26 septembre. Lors de chaque campagne, quatre points ont été étudiés :

- Le point *Canal* (situé à l'entrée du *Canal* d'aménée de la centrale)
- Le point *Rejet* (situé dans les turbulences du rejet)
- Le point *Contrôle* (situé au large du rejet)
- Le point *Référence* (situé au large, au-delà de la zone d'influence de la centrale)

B.3.2 PARAMETRES / METHODES

B.3.2.1 Échantillonnage, Prélèvements

Les échantillons zooplanctoniques ont été collectés à l'aide d'un filet à plancton de type WP2 (ouverture 0,25 m², hauteur 261 cm, cylindro-conique, vide de maille 200 µm – Fraser 1968). 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⁻¹. Un volucompteur est attaché à l'entrée du filet afin de connaître précisément le volume d'eau filtré. Pour chaque point de prélèvement, deux traits de filet à plancton ont été effectués. L'un des deux échantillons collectés est aussitôt filtré à bord sur des soies et congelé afin d'évaluer la biomasse sestonique (mesure du poids sec et composition en carbone et azote), l'autre échantillon est conservé dans un flacon d'un litre pré-rempli d'une solution de conservation formolée (concentration finale : 0,9 % ; Mastail et Battaglia 1978, Lelièvre et al., 2012) en vue du dénombrement des espèces animales.

B.3.2.2 Biomasse sestonique

Les prélèvements au filet à plancton destinés à la mesure de la biomasse sestonique ont été filtrés immédiatement à bord sur des soies de 100 µm pré-pesées, congelées et transportées au laboratoire. Selon la concentration en biomasse plusieurs soies peuvent être nécessaires pour un même échantillon. Ces soies ont ensuite été séchées dans une étuve à 60 °C pendant 48 heures. Les soies comportant le plancton séché ont alors été 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 (m³).

Les échantillons de poids sec ont par la suite été broyés pour être analysés au moyen d'un analyseur élémentaire (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 (m³).

B.3.2.3 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 analysé au ZooScan, un système d'imagerie numérique permettant la numérisation des prélèvements du zooplancton en milieu liquide et utilisant l'analyse d'image pour détecter, compter et mesurer le zooplancton (Gorsky et al. 2010). L'emploi des méthodes automatiques de classification d'objets permet de classer rapidement les organismes en grands groupes faunistiques. Une fois la classification automatique validée, le nombre d'individus comptés est ensuite ramené au volume total de l'échantillon ($\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$).

La bibliographie utilisée pour l'identification des zooplanctontes est très variée et inclut notamment : les fiches d'identification du plancton CIEM - (1939 - 1986), un manuel d'identification du zooplancton côtier (Todd *et al.*, 1996), et des clés de détermination pour des groupes spécifiques tels que les copépodes pélagiques (Rose, 1933) ou les larves de décapodes (Martin, 2001) par exemple.

B.3.2.4 Analyses statistiques

Pour comparer les moyennes saisonnières des abondances zooplanctoniques entre les stations, des analyses de variance à un critère de classification (ANOVA one-way) ont été appliquées par saison sur les séries temporelles après normalisation des variables par transformation $\log(x+1)$. Cette méthode s'applique dès que l'on compare trois moyennes et plus d'échantillons indépendants et présente l'avantage de vérifier en un seul test si les différences observées sont imputables aux fluctuations d'échantillonnage ou non (Scherrer 1984). L'analyse de variance suppose l'homogénéité des variances et la normalité des distributions. L'homogénéité des variances peut être vérifiée par un test de Bartlett.

Si l'ANOVA conduit au rejet de l'hypothèse principale H_0 (i.e. les moyennes sont égales), elle sera suivie d'un test de comparaison multiple, test de Tuckey, comparant en une seule étape toutes les paires de moyennes possibles afin de chercher les moyennes qui diffèrent significativement les unes des autres. Le seuil de probabilité, ou de signification, choisit pour rejeter l'hypothèse H_0 d'égalité des moyennes est de 0,05 (i.e. le risque de rejeter l'hypothèse H_0 alors qu'elle est vraie est de 5 %).

B.3.2.5 Disponibilité des données antérieures

Le suivi du zooplancton dans le milieu marin proche du site de Penly n'a pas été régulier depuis son origine en 1977, autant dans le temps que dans l'espace (Tableau B-21).

Tableau B-21 : Stratégie du suivi zooplanctonique à Penly depuis 1977

Périodes	Nb de stations	Fréquence	Réplicas	Données manquantes	Remarques
Mars – août 1977	2	Mensuelle	2	Mai	Stations abandonnées
1978-1980	4	Mensuelle	10 (cycle de marée)	Décembre 1979	Stations abandonnées
1981-1986	Pas de données (mise en place de la Centrale)				
1987- aujourd'hui	4	Saisonnier (printemps, été, automne)	1	Rejet et Canal en 04/1990, 03/1993 et 09/1999, 03/2020	Stations actuelles

De mars à août 1977 seulement deux stations ont été échantillonnées mensuellement dans le cadre de l'étude d'avant-projet. Puis de 1978 à 1980 (étude écologique) le nombre de stations est passé à quatre, toujours avec une fréquence mensuelle. Le suivi tel qu'il est aujourd'hui (stations + fréquence + périodes) a commencé en 1987 avec quatre points de prélèvement et 3 campagnes de prélèvements par an de mars à octobre. Au regard de l'évolution de la stratégie du suivi zooplanctonique sur le site de Penly depuis 1977 (fréquence d'échantillonnage, choix et localisation des stations), il est recommandé de ne prendre en compte dans les analyses des comparaisons interannuelles que les années allant de 1987 à nos jours.

B.3.3 BIOMASSE SESTONIQUE

On appelle seston, l'ensemble des particules en suspension dans l'eau qu'elles soient d'origine minérale ou organique. 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) et avec un fort hydrodynamisme, le seston comprend également une part non négligeable de sables, vases, débris végétaux, etc. due à la remise en suspension des sédiments dans la colonne d'eau. Dans ce cas la relation linéaire entre biomasse sestonique et abondance zooplanctonique n'est plus observée.

B.3.3.1 Variations spatiales et saisonnières en 2023

Lors des trois campagnes annuelles, la biomasse sestonique a varié entre 14,7 et 79,5 mg·m⁻³, respectivement au point *Référence* en septembre et *Rejet* en juin (Figure B-44 et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Lors des campagnes estivale et automnale, la biomasse sestonique était plus importante à la côte (*Canal* et/ou *Rejet*), alors qu'au printemps la biomasse était similaire à la côte et au large (*Référence*), mais deux fois plus élevée au point *Contrôle*.

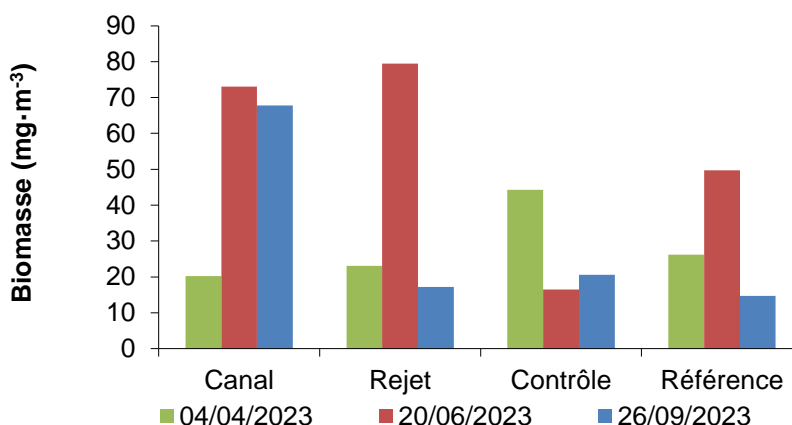


Figure B-44 : Évolution de la biomasse sestonique (poids sec) à Penly pour l'année en cours

Selon les saisons, les variations spatiales de la biomasse sestonique ne correspondent pas toujours à celles des abondances zooplanctoniques. Ainsi, la biomasse sestonique était plus importante au point *Contrôle* en avril, alors que l'abondance zooplanctonique y était plus faible. De même, en juin et septembre la biomasse sestonique était plus élevée au point *Canal* alors que l'abondance zooplanctonique était plus faible (cf. Figure B-47). La composition zooplanctonique n'explique pas ces différences, car il y avait en proportion moins de copépodes au point *Canal* et plus de larves cirripèdes qui ont pourtant une plus faible biomasse (cf. Tableau B-23).

Le rapport C/N, calculé d'après les teneurs en carbone et azote du seston, peut servir à caractériser un compartiment, tel que le zooplancton (rapport C/N ~ 4-5 ; Mauchline, 1998) ou le phytoplancton (C/N ~ 6-10 ; Biddanda & Benner, 1997 ; Savoye et al. 2003). Les rapports C/N indiquaient plutôt une prépondérance du zooplancton dans la composition du seston sur l'ensemble des points (Figure B-45 et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

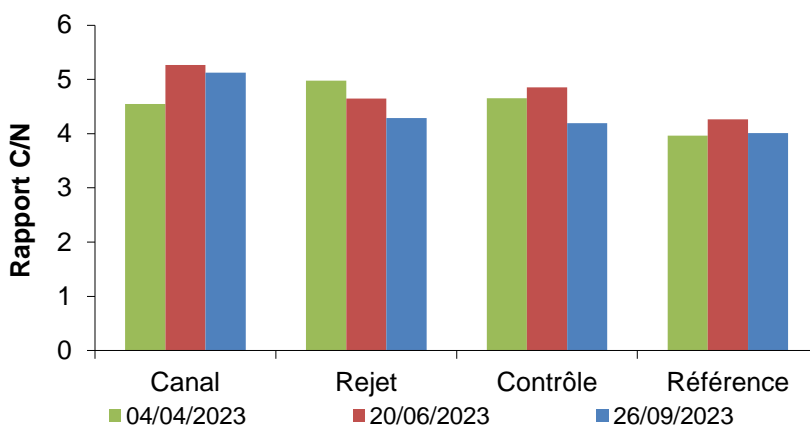


Figure B-45 : Rapport C/N à Penly pour l'année en cours

B.3.3.2 Variations interannuelles depuis 1987

Les biomasses sestoniques lors de la campagne de mars étaient inférieures aux valeurs moyennes observées depuis 1987 à la côte, alors que ces deux stations sont habituellement les plus chargées en seston (Figure B-46). En juin, les valeurs à la côte étaient assez élevées par rapport aux moyennes historiques, alors qu'au point *Contrôle* elle était bien en deçà de la moyenne de la série (< percentile 10 de la série). En septembre, seul le point *Canal* présentait une valeur de biomasse sestonique très supérieur à la moyenne historique (> percentile 90).

Pour vérifier si la biomasse sestonique est significativement différente entre les points de prélèvement pour une saison donnée, une analyse de variance à un critère de classification (ANOVA one-way) a été appliquée par saison sur la série temporelle après normalisation des variables par transformation log (x+1) et vérification de l'homogénéité des variances (test de Bartlett). Les résultats des tests statistiques sur l'ensemble des valeurs acquises depuis 1987 sont présentés dans le Tableau B-22.

Tableau B-22 : Probabilité associée p des tests statistiques sur la biomasse sestonique de 1987 à 2023

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
n	113	130	130
p	0,346	0,146	0,092

(p < 0,05 = différence significative ; n = nombre de données)

Quelle que soit la saison, les biomasses sestoniques ne présentent pas de différence significative entre les points *Canal*, *Rejet*, *Contrôle* et *Référence*.

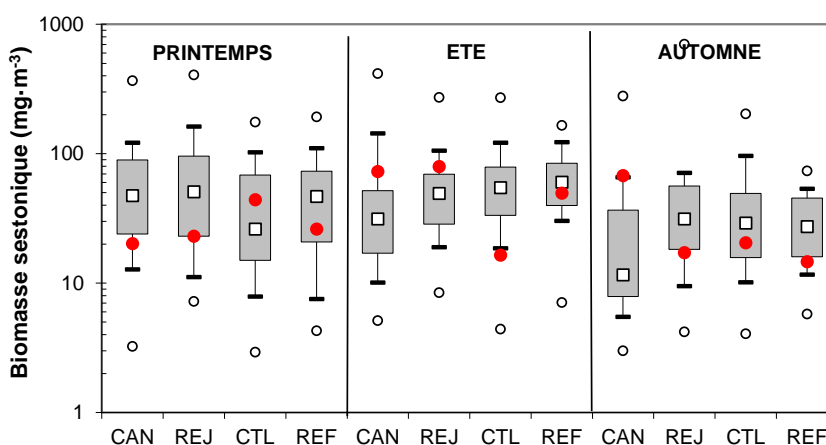


Figure B-46 : Évolution de la biomasse sestonique (poids sec) de 1987 à 2022 : le carré central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (■) ; les moustaches, 80 % des valeurs (┌) ; les points extrêmes présentent les valeurs maximales et minimales (○). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2023 (●)

B.3.4 ABONDANCE ET COMPOSITION ZOOPLANCTONIQUES

B.3.4.1 Variations spatiales et saisonnières des abondances zooplanctoniques en 2023

L'abondance la plus importante a été observée en juin au point *Référence* avec 4 387 ind. \cdot m⁻³ et la plus faible en septembre au point *Contrôle* avec 916 ind. \cdot m⁻³ (Figure B-47 et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Généralement les abondances au point *Canal* étaient 2 à 4 fois plus faibles qu'aux trois autres points (à l'exception du point *Contrôle* en avril).

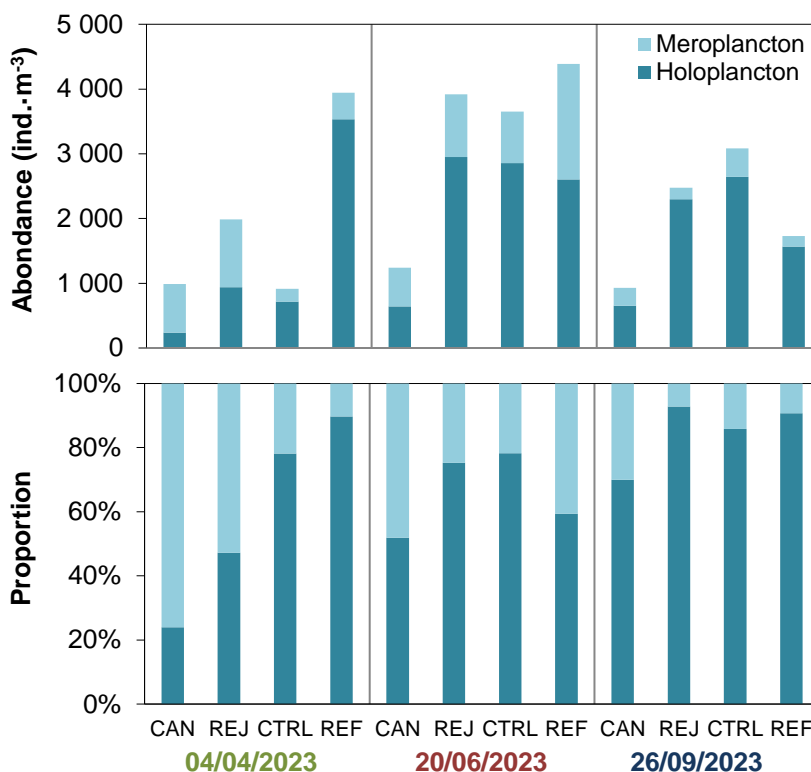


Figure B-47 : Abondance et proportion de l'holoplancton et du méroplancton à Penly pour l'année en cours

Un certain nombre d'espèces, dites holoplanctoniques, accomplissent l'intégralité de leur cycle biologique (œufs, larves, adultes) au sein du milieu pélagique. Les crustacés copépodes représentent généralement une part importante de cette fraction. Selon la saison, s'y ajoutent quelques espèces moins abondantes, ou présentes à certaines saisons seulement, appartenant à d'autres embranchements comme les appendiculaires et les chaetognathes. D'autres organismes holoplanctoniques comme les crustacés pécaricides (mysidacés, cumacés, gammaridés et isopodes), les cladocères et les cténophores ont été quasi absents des prélèvements lors des trois campagnes de 2023 (Tableau B-23).

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, gastéropodes...) ou fixée (balanes, bryozoaires, bivalves). Il est donc de fait plus abondant au printemps, pendant les périodes de reproduction des espèces benthiques. Le méroplancton inclut également les phases pélagiques d'espèces fixées (hydroméduses, qui représentent les phases sexuées libres de certains cnidaires) et de l'ichtyoplancton (œufs et larves de poisson).

Les abondances méroplanctoniques étaient toujours plus importantes au point *Canal* en toutes saisons (Figure B-47, Tableau B-23). Lors de la campagne estivale le méroplancton présentait un fort gradient décroissant de la côte (*Canal*, 76 %) vers le large (*Référence*, 10 %). Lors de la campagne automnale l'holoplancton représentait généralement plus de 70 à 90 % du zooplancton.

Tableau B-23 : Abondance et dominance des principaux groupes zooplanctoniques à Penly pour l'année en cours

Abondance zooplancton (N/m ³)	04/04/2023				20/06/2023				26/09/2023				
	Canal	Rejet	Contrôle	Référence	Canal	Rejet	Contrôle	Référence	Canal	Rejet	Contrôle	Référence	
	N/m ³ %	N/m ³ %	N/m ³ %	N/m ³ %	N/m ³ %	N/m ³ %	N/m ³ %	N/m ³ %	N/m ³ %	N/m ³ %	N/m ³ %	N/m ³ %	
Holoplancton													
Copepoda	209 89	848 90	675 94	3445 97	478 74	2588 88	2366 83	2591 99	557 86	2150 94	2244 85	1343 86	
Appendicularia	19 8	87 9	38 5	89 3	155 24	348 12	481 17	14 1	87 13	134 6	338 13	87 6	
Chaetognatha	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	1 0	12 1	57 2	129 8	
Cumacea	0 0	4 0	0 0	0 0	0 0	5 0	0 0	0 0	6 1	2 0	0 0	0 0	
Gammaridea	0 0	0 0	2 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	1 0	2 0	0 0	
Isopoda	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	2 0	7 0	
Mysida	4 2	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	
Cladocera	4 2	0 0	0 0	0 0	12 2	10 0	11 0	0 0	0 0	0 0	2 0	0 0	
Ctenophora	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	
Total holoplancton	236 24	939 47	716 78	3533 90	645 52	2951 75	2859 78	2605 59	651 70	2299 93	2645 86	1566 91	
Méropoplancton													
Larves d'ascidies	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	2 1	2 1	0 0	1 1	
Larves de décapodes	0 0	12 1	7 4	10 2	0 0	20 2	179 23	290 16	3 1	6 4	6 1	42 26	
Larves de Stomatopodes	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	2 1	
Larves de cirripèdes	492 65	974 93	176 88	353 86	418 70	627 65	422 53	59 3	232 83	84 47	111 25	20 12	
Larves de bryozoaires	8 1	0 0	1 1	4 1	0 0	0 0	0 0	7 0	16 6	19 11	31 7	30 19	
Cnidaires	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	11 1	7 0	0 0	0 0	4 1	8 5	
Larves de mollusques	8 1	8 1	6 3	12 3	90 15	199 21	116 15	1168 66	16 6	25 14	109 25	20 12	
Larves de polychètes	244 32	51 5	10 5	22 5	90 15	124 13	49 6	31 2	3 1	4 2	10 2	3 2	
Larves d'échinodermes	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	11 1	211 12	9 3	38 21	166 38	37 23	
Oeufs et larves de poissons	0 0	4 0	0 0	8 2	0 0	0 0	7 1	10 1	0 0	0 0	0 0	0 0	
Total méropoplancton	751 76	1049 53	200 22	408 10	597 48	970 25	795 22	1783 41	280 30	179 7	436 14	162 9	
Total zooplancton	987	1988	916	3942	1242	3921	3654	4387	931	2479	3082	1728	

B.3.4.2 Variations interannuelles des abondances zooplanctoniques depuis 1987

L'évolution de l'abondance zooplanctonique observée depuis 1987 à Penly (Figure B-48) montre que les abondances 2023 étaient conformes aux valeurs moyennes historiques, à l'exception du point *Contrôle* au printemps (abondance < percentile 25 de la série).

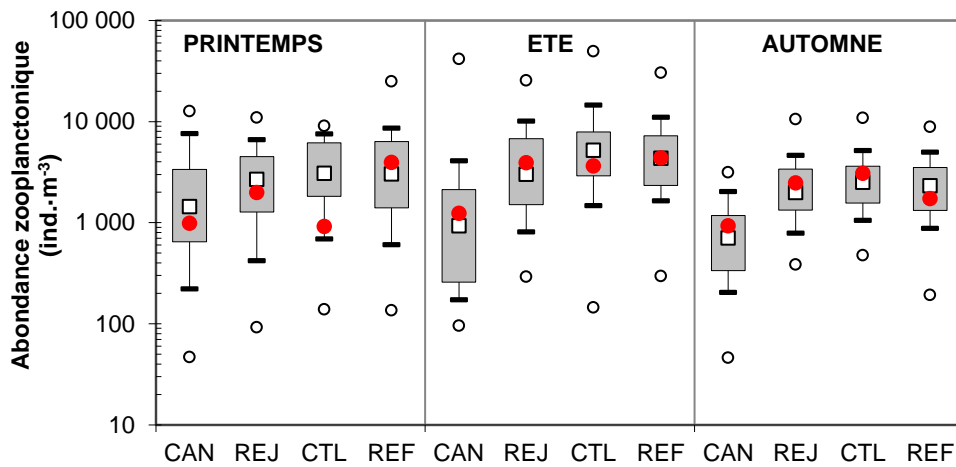


Figure B-48 : Évolution de l'abondance zooplanctonique à Penly de 1987 à 2022 : le carré central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (■) ; les moustaches, 80 % des valeurs (T) ; les points extrêmes présentent les valeurs maximales et minimales (O). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2023 (●)

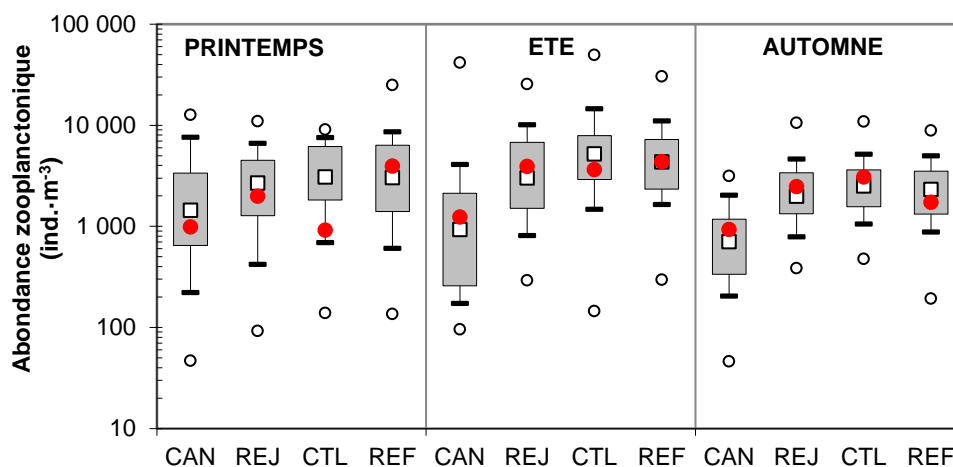
Pour comparer les abondances zooplanctoniques entre les points *Canal*, *Rejet*, *Contrôle* et *Référence* à chaque saison, une analyse de variance à un critère de classification (ANOVA one-way) a été appliquée par saison sur la série temporelle après normalisation des variables par transformation log (x+1) et vérification de l'homogénéité des variances (test de Bartlett). Les résultats des tests statistiques sur l'ensemble des valeurs acquises depuis 1987 sont présentés dans le Tableau B-24 et l'ANNEXE B-5.

Tableau B-24 : Probabilité associée p des tests statistiques sur les abondances zooplanctoniques de 1987 à 2023

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
N	135	148	144
P	0,062	0,000	0,000

(p < 0,05 = différence significative ; n = nombre de données)

Les résultats des tests indiquent que les abondances zooplanctoniques printanières ne sont pas significativement différentes d'un point à l'autre. Par contre, en été et en automne l'ANOVA montre une différence significative ($p < 0,001$) d'abondance selon les points de prélèvement. Une analyse post-hoc de comparaison multiple (test de Tukey) montre que la moyenne des abondances du point *Canal* diffère de manière significative ($p < 0,001$) avec celles des points *Rejet*, *Contrôle* et *Référence*. Comme



observé sur la

Figure B-48, le point *Canal* semble donc bien être caractérisé par des abondances zooplanctoniques plus faibles que pour les autres points de prélèvement.

B.3.4.3 Composition zooplanctonique

B.3.4.3.1 Les copépodes

Les copépodes, qui constituaient le taxon dominant de l'holoplancton, ont montré la même évolution saisonnière que celui-ci, avec des abondances 2 à 5 fois plus faibles qu'aux autres points (16 fois plus faible qu'au point *Référence* au printemps).

Les copépodes représentaient 74 à 99 % des abondances holoplanctoniques (Tableau B-23). L'évolution interannuelle de l'abondance totale en copépode depuis 1987 montre que ce groupe taxinomique est généralement plus abondant en été, et que les abondances au point *Canal* sont souvent moins élevées (Figure B-49). Les résultats de 2023 confirment cette tendance générale.

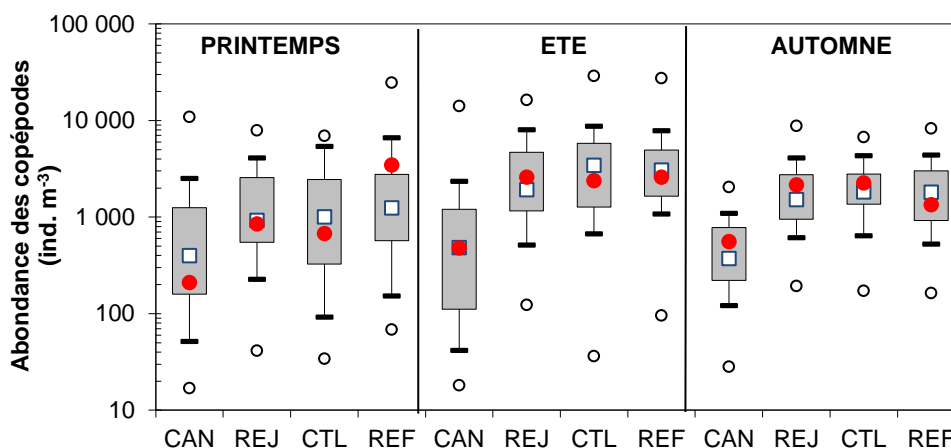


Figure B-49 : Évolution de l'abondance des copépodes à Penly de 1987 à 2022 : le carré central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (■) ; les moustaches, 80 % des valeurs (┌┐) ; les points extrêmes présentent les valeurs maximales et minimales (○). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2023 (●)

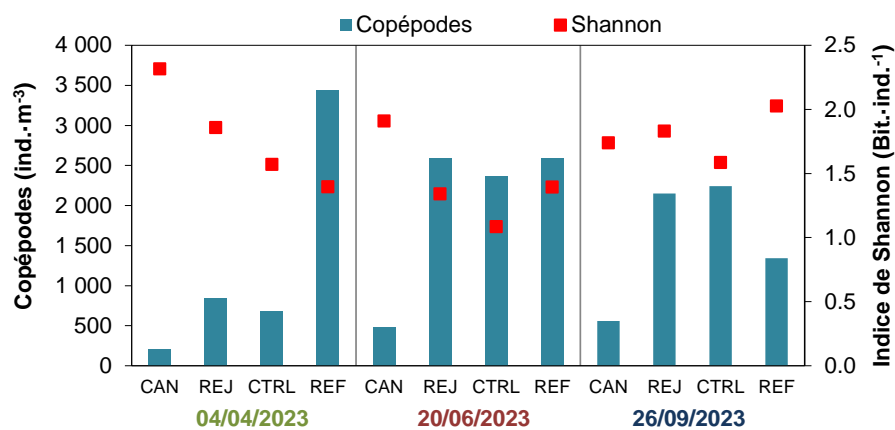
Pour comparer les abondances de copépodes entre les points *Canal*, *Rejet*, *Contrôle* et *Référence* à chaque saison, une analyse de variance à un critère de classification (ANOVA one-way) a été appliquée sur la série temporelle après normalisation des variables par transformation log (x+1) et vérification de l'homogénéité des variances (test de Bartlett). Les résultats des tests statistiques sur l'ensemble des valeurs acquises depuis 1987 sont présentés dans le Tableau B-25 et l'ANNEXE B-5.

Tableau B-25 : Probabilité associée p des tests statistiques sur les abondances de copépodes de 1987 à 2023

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE
n	135	148	144
p	0,005	0,000	0,000

($p < 0,05$ = différence significative ; n = nombre de données)

Les résultats des tests indiquent que, quelle que soit la saison, les abondances de copépodes diffèrent de façon significative ($p < 0,01$) selon les points de prélèvement. Une analyse post-hoc de comparaison multiple (test de Tukey) montre que, comme pour l'abondance zooplanctonique totale, la moyenne des abondances estivales et automnales de copépodes au point *Canal* diffère significativement ($p < 0,001$) de celles des points *Rejet*, *Contrôle* et *Référence*. Au printemps, seule la moyenne des abondances de copépodes au point *Canal* diffère significativement ($p < 0,01$) du point *Référence*.



Comme observé sur la

Figure B-50 le point *Canal* semble donc bien être caractérisé par des abondances de copépodes plus faibles que pour les autres points de prélèvement.

L'indice de diversité de Shannon (Figure B-50) consiste en une mesure de la diversité tenant compte de la richesse spécifique (S , nombre total d'espèces observées), mais aussi de la proportion représentée par chaque espèce au sein de la communauté. Sa valeur varie entre 0, si la communauté ne contient qu'une seule espèce, et $\log_2(S)$, si toutes les espèces contiennent le même nombre d'individus. Cet indice reste assez bas dans les eaux environnant le CNPE de Penly (compris entre 1,1 et 2,3 Bit.·ind.⁻¹) en regard du nombre d'espèces de copépodes présent dans nos échantillons (entre 5 et 12). Comme souvent en milieu côtier tempéré, les échantillons étaient caractérisés par une ou deux espèces de copépodes représentant 60 à 93 % du peuplement alors que plusieurs espèces n'étaient représentées que par quelques individus. La distribution spatiale de la diversité était très variable selon les saisons et des abondances élevées ne correspondent pas toujours à une diversité plus faible (avril et juin vs. septembre).

Les principales espèces de copépodes observées en 2023 sont communes des milieux tempérés côtiers de la région (Figure B-50). Les espèces principalement printanières et estivales que sont *Temora longicornis* et *Centropages sp.* ont été abondantes lors de la campagne d'avril. *Temora longicornis* était également très abondant en juin (57 % des copépodes). Le genre *Centropages* est, dans cette région, principalement représenté par l'espèce *C. hamatus*, habituellement plus abondante lors de la campagne de juin, ce qui n'a pas été observé cette année alors que ce genre était encore bien présent lors de la campagne de septembre. Le genre *Acartia*, principalement représenté par l'espèce *A. clausi*, est habituellement plutôt estival, même si cette année elle était déjà abondante lors de la campagne d'avril, particulièrement au point *Référence*. Espèce également printanière et estivale, *Pseudocalanus elongatus*, était quasi absente cette année. Une étude publiée en 2010 sur 20 années de suivi des communautés zooplanctoniques devant Plymouth (Angleterre) confirme que *P. elongatus*, autrefois très abondante, est en diminution en Manche (Eloire et al. 2010). Enfin, lors de la campagne automnale

l'espèce *Paracalanus parvus* était la plus abondante (45 % des copépodes). Elle succède généralement à *P. elongatus* dans les communautés planctoniques des milieux côtiers tempérés.

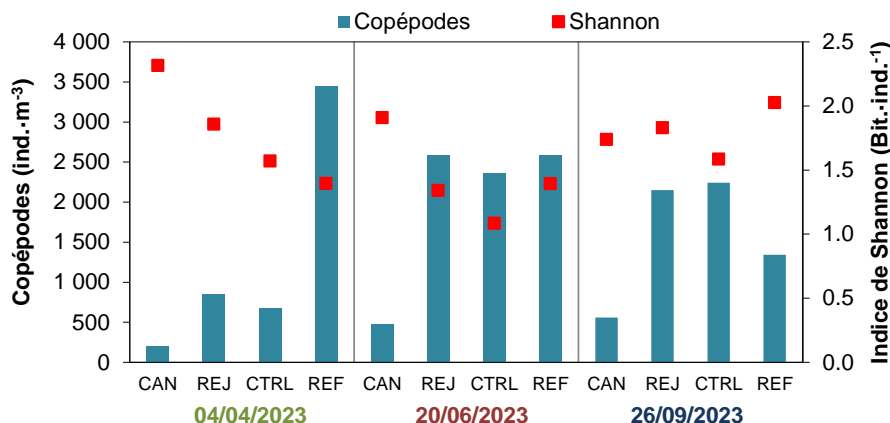


Figure B-50 : Abondance des copépodes (adultes et copépodites) et diversité spécifique à Penly pour l'année en cours

Espèce caractérisant généralement les communautés automnales de copépodes en milieu côtier, *Euterpina acutifrons* représentait 24 % des copépodes en septembre. Cette espèce est de plus petite taille que les autres espèces précédemment citées et à un mode de vie étroitement lié au sédiment ce qui explique qu'elle soit souvent plus abondante à la côte qu'au large. 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. D'autres espèces de copépodes, de taille plus petite, appartenant au superordre des podoplea (Cyclopida, Harpacticoida), apparaissent aussi fréquemment dans les prélèvements, et contribuent à la diversité du peuplement. Certains vivent dans le sédiment (Harpacticoida) et apparaissent dans la colonne d'eau lors de remise en suspension des sédiments du fait des courants et des vagues.

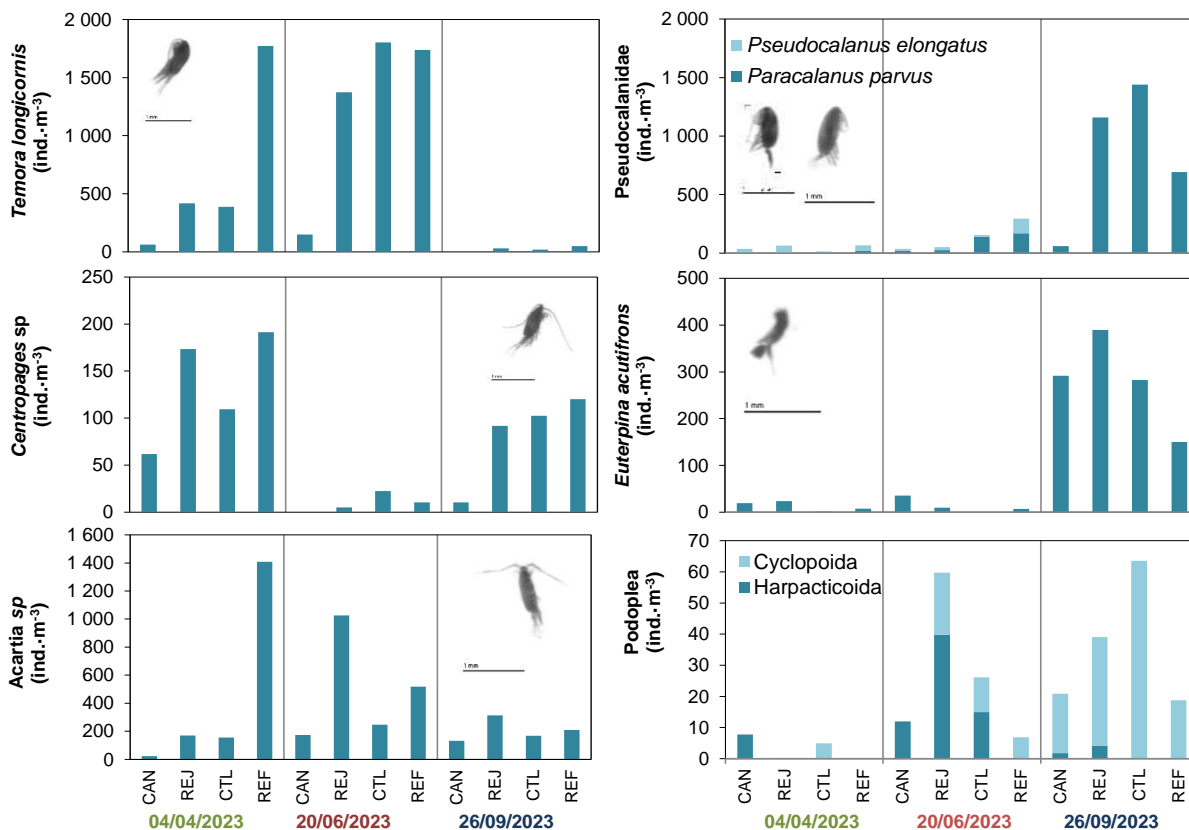


Figure B-51 : Abondances des principales espèces de copépodes à Penly pour l'année en cours

B.3.4.3.2 Autres espèces holoplanctoniques

Les appendiculaires sont des organismes filtreurs, en partie phytophages. Leur abondance dépend des fluctuations du phytoplancton et de la température de l'eau. Présents toute l'année ils sont le deuxième groupe dominant de l'holoplancton. L'espèce *Oikopleura dioica* est la plus commune sur le site, favorisée par des communautés phytoplanctoniques abondantes et des températures particulièrement élevées (Figure B-52). Leur distribution peut être variable selon les saisons, même si cette année les abondances au point *Référence* étaient étonnamment faibles en juin et septembre.

Les chaetognathes, du genre *Parasagitta*, sont carnivores et se nourrissent principalement aux dépens des stocks de copépodes. Comme d'habitude, ils ont été observés lors de la campagne automnale, avec des abondances croissantes vers le large. Les individus récoltés dans nos échantillons sont généralement juvéniles, les rares adultes identifiés appartenaient à l'espèce *Parasagitta setosa*.

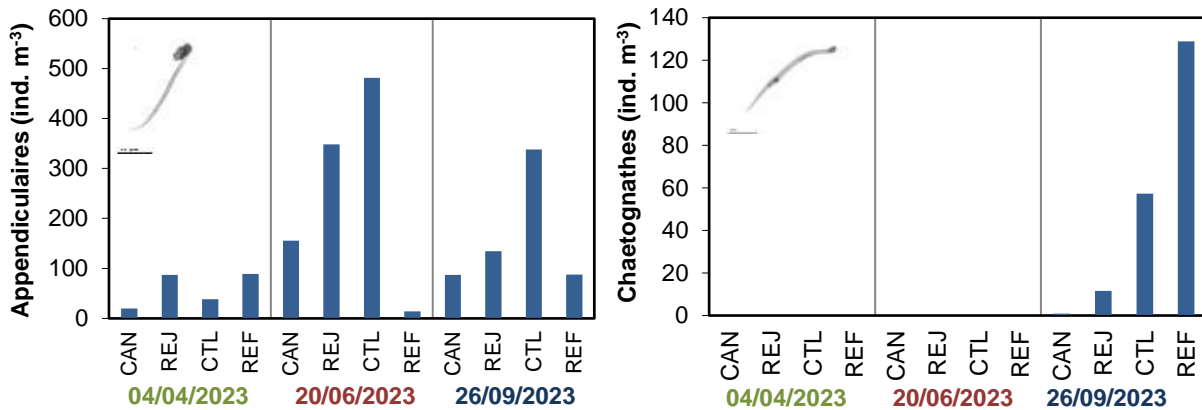


Figure B-52 : Abondances des appendiculaires et des chaetognathes à Penly pour l'année en cours

B.3.4.3.3 Principales larves méroplanctoniques

Les stades larvaires des espèces appartenant à différents embranchements ou classes ont été dénombrés au cours des trois campagnes de prélèvement (Figure B-52). La soudaineté de l'apparition des larves méroplanctoniques dans la colonne d'eau, souvent en nombre, est difficile à observer, car il s'agit d'épisodes assez brefs que l'on ne peut suivre chaque année qu'avec une fréquence d'échantillonnage adaptée (hebdomadaire à bimensuelle). Leur distribution est très variable en fonction de la saison et des points. Emises à la côte où elles sont souvent plus abondantes, elles sont aussi transportées vers le large par les courants, ce qui contribue à la dissémination des espèces.

Les cirripèdes, dont font partie les balanes, sont des crustacés qui, à l'état adulte, vivent fixés sur les rochers et les substrats durs. Ils constituent une part importante des salissures (« fouling ») dans les circuits de refroidissement du CNPE. Les larves, essentiellement les stades nauplii, sont émises habituellement en grande quantité au printemps et constituent un maillon important de la chaîne alimentaire. Les stades cypris (dernier stade pélagique) apparaissent plus tardivement et sont souvent moins abondants. Les faibles abondances de nauplii en avril (relativement à ce que l'on peut observer habituellement plus tôt dans la saison, plusieurs milliers d'individus) et la présence d'individus au stade cypris, indique que la phase de prolifération de ces larves dans la colonne d'eau touchait à sa fin.

Les **larves d'annélides polychètes** ont été essentiellement observées en avril et juin (10 % du méroplancton). Comme pour les autres méroplanctontes, leur distribution était très variable selon les saisons.

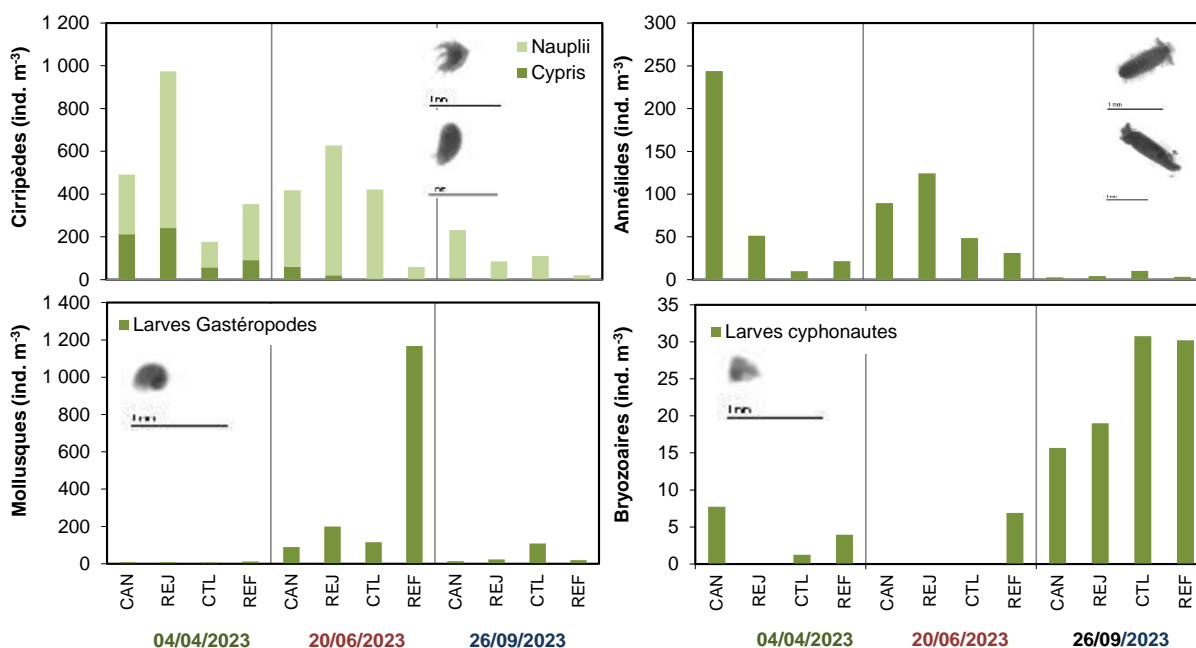


Figure B-53 : Abondance des espèces méroplanctoniques à Penly pour l'année en cours

Les **larves cyphonautes de bryozoaires**, ont été principalement observées en septembre (10 % du méroplancton) et leur abondance était croissante de la côte vers le large. Les colonies de bryozoaires se développent à partir d'une larve cyphonaute qui, après une courte vie planctonique (1 à 15 jours), se fixe et se métamorphose en un individu, ancestrule, qui sera à l'origine d'une nouvelle colonie benthique.

Les **larves de gastéropodes** représentaient l'essentiel des mollusques et ont été observées essentiellement en juin, avec une forte abondance au point *Référence* (66 % du méroplancton).

B.3.5 CONCLUSIONS

Cette année encore, on constate que la biomasse sestonique ne constitue pas un bon proxy pour estimer la biomasse zooplanctonique. Bien que, cette année, le seston soit composé principalement de zooplancton (comme indiqué par les rapports C/N du seston), aucune cohérence n'a été observée entre la biomasse mesurée et la distribution spatiale des abondances zooplanctoniques. La proportion de larves méroplanctoniques, qui prolifèrent au printemps et parfois en été (cirripèdes, gastéropodes), et d'holoplanctontes (copépodes, appendiculaires) ne permet pas non plus de comprendre ces différences. Les données historiques acquises depuis 1987 indiquent que la biomasse sestonique ne montre pas de différences significatives entre les points de prélèvement, quelle que soit la saison considérée. Par contre, pour l'**abondance zooplanctonique, les moyennes estivales et automnales au point Canal sont significativement inférieures à celles des points Rejet, Contrôle et Référence, ce qui a également été observé en 2023.**

La distribution spatiale et les abondances 2023 étaient conformes aux valeurs moyennes historiques, à l'exception du point *Contrôle* au printemps où l'abondance était plus faible qu'attendue par rapport aux observations depuis 1987. **Les variations interannuelles sont toutefois à interpréter avec précaution du fait de la faible fréquence d'échantillonnage.** La fréquence d'observation (trois fois par an) ne permet pas d'étendre les analyses au-delà de la mise en perspective de la variabilité spatiale du zooplancton à proximité du CNPE. Celles-ci montrent justement que les abondances au point *Canal* restent significativement plus faibles par rapport aux autres points de prélèvement, notamment pour les copépodes. La situation géographique particulière de ce point (faible profondeur, enclavement) et une charge particulière plus importante (turbidité, apports terrigènes) expliquent ces faibles abondances.

La composition et la succession des espèces restent classiques. Même si cette année la campagne printanière a dû être un peu tardive pour observer les fortes proliférations habituelles de larves méroplanctoniques (balanes, polychètes,...), celles-ci dominaient toujours la communauté zooplanctonique à la côte. En été et à l'automne, l'holoplancton domine largement le zooplancton. Comme toujours en milieu côtier tempéré, il était essentiellement caractérisé par les copépodes. La diversité spécifique de ce groupe reste faible, composée en général de moins d'une dizaine d'espèces dont une seule peut représenter plus du tiers du peuplement. Les copépodes appartenant à l'ordre des calanoides, typiquement pélagiques, (*Acartia*, *Temora*, *Centropages*, *Paracalanus*) sont les plus abondants, notamment au large, mais à la côte *Euterpina acutifrons*, copépode harpacticoïde pélagique, est également très présent, particulièrement à l'automne.

Chacune des espèces zooplanctoniques observées cette année respecte, pour ce que peut montrer cette analyse de trois campagnes annuelles, sa répartition saisonnière habituelle et est caractéristique des milieux tempérés de la Manche et de la baie sud de la Mer du Nord. La distribution du zooplancton montre le plus souvent des gradients d'abondance entre la côte (point *Canal*) et le large (point *Référence*). Les abondances au point *Rejet*, situé dans les turbulences du rejet du CNPE, sont le plus souvent supérieures à celles du point *Canal* et ne présentent pas de différence significative avec les points *Contrôle* et *Référence*. **La variabilité spatio-temporelle de la population zooplanctonique lors des trois campagnes annuelles 2023 ne permet donc pas de mettre en évidence une évolution anormale du milieu récepteur qui pourrait être due au fonctionnement du CNPE de Penly.**

LE DOMAINE HALIEUTIQUE

Rédaction

Christophe Loots (HMMN/LRHBL)
Ivan Schlaich (HMMN/LRHPB)

Prélèvements et mesures *in situ*

Josselin Caboche (HMMN/LRHBL),
Sophie Parrad (HMMN/LRHPB),
Victor Martin Baillet (HMMN/LRHPB)
Coline Lazard (HMMN/LRHB)
Thibault Cariou (HMMN/LRHPB)
GEMEL Saint Valéry sur Somme

Analyses

Christophe Loots
Ivan Schlaich

Traitement des données

Christophe Loots
Ivan Schlaich

Traitement des données (Contrôle, validation)

Christophe Loots
Victor Martin Baillet

Expertise thématiques

Christophe Loots
Ivan Schlaich

C LE DOMAINE HALIEUTIQUE

C.1 Ichtyoplancton

Chez les poissons, les phases embryonnaire et larvaire représentées par les œufs et les larves (regroupées sous le terme d'ichtyoplancton) constituent une phase critique de leur cycle de vie. En effet, leur survie va influencer le maintien et le renouvellement des différentes espèces. De par leur mode de vie planctonique (dans la masse d'eau), ces œufs et larves sont très sensibles aux facteurs environnementaux et leur survie va dépendre des conditions hydrologiques (température, salinité...), hydrodynamiques (courants...) et trophiques (proies, prédateurs...) rencontrées au cours de leur développement. La Manche orientale et le sud de la mer du Nord sont connus pour abriter de nombreuses zones de frayères (zones de ponte des adultes) à partir desquelles, certains courants de marée orientent les larves vers des zones favorables à leur métamorphose en juvéniles de poissons (recrutement).

C.1.1 STRATEGIE DE SURVEILLANCE

Le suivi de l'ichtyoplancton au niveau du CNPE de Penly a commencé par une étude d'avant-projet en 1978 et 1979 et s'est poursuivi à partir de 1987 après l'implantation du CNPE. Depuis 1996, quatre campagnes annuelles d'échantillonnage de l'ichtyoplancton sont réalisées de mars à mai.

A chaque campagne, trois points sont échantillonnés : un point côtier situé à l'entrée du canal d'amenée des eaux de refroidissement du CNPE (point 1, ou point *Canal*), un point situé dans les eaux de rejet du CNPE (point 2, ou point *Rejet*) et un point *Contrôle* hors influence des eaux de rejet (point 3, ou point *Contrôle*).

C.1.2 PARAMETRES/METHODES

Cinq espèces cibles sont suivies, trois poissons plats : la sole commune (*Solea solea*), la limande (*Limanda limanda*) et la plie (*Pleuronectes platessa*) et deux poissons pélagiques : le sprat (*Sprattus sprattus*) et la sardine (*Sardina pilchardus*).

C.1.2.1 Echantillonnage, prélèvements

L'échantillonnage de l'ichtyoplancton est réalisé à l'aide d'un filet bongo (Figure C-1) muni de deux filets cylindro-coniques (diamètre d'ouverture : 60 cm ; maille de 500 µm) qui est préconisé pour son faible évitement (Smith et 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 nœuds pendant au maximum dix minutes.

Les organismes collectés par chacun des filets sont récupérés au niveau d'un collecteur dont le contenu est conservé dans des flacons de deux litres pré-remplis d'une sauce de conservation formolée (concentration finale à 0,9 %, Mastail et Battaglia 1978 ; Lelièvre et al. 2010). Le contenu de chaque filet constitue un réplikat.

Le volume d'eau filtrée (V_f) par chaque filet 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, α le coefficient de conversion du volucompteur ($\alpha = 0,3$) et S la surface d'ouverture du filet ($S = 0,28 \text{ m}^2$).

La température et la salinité (en surface) sont également mesurées au moyen d'une sonde YSI 600 QS.



Figure C-1 : Configuration du filet bongo avec les volucompteurs et collecteurs

C.1.2.2 Identification et dénombrement

Les œufs et larves des cinq espèces cibles 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 de l'axe embryonnaire) 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 (ind.m⁻³).

L'identification est faite d'après Russel (1976).

En 2023, les campagnes se sont déroulées les 14 avril, 27 avril, 11 mai et 25 mai.

Tableau C-1 : Caractéristiques des campagnes d'échantillonnage de l'ichtyoplancton sur le site du CNPE de Penly au printemps

Date	Point	Réplikat	Heure du prélèvement	Température surface (°C)	Salinité surface	Durée du trait (min)	Volume filtré (m ³)
14 avril	Canal	1	13:08	10,0	32,9	10	154,9
		2					187,2
	Rejet	1	12:50	10,1	32,8	10	151,2
		2					165,9
	Contrôle	1	12:23	10,1	33,2	10	132,7
		2					150,8
27 avril	Canal	1	11:50	11,2	33,1	10	168,5
		2					170,9
	Rejet	1	11:30	11,2	33,2	10	161,7
		2					190,0
	Contrôle	1	11:10	11,3	33,3	10	156,6
		2					170,3
11 mai	Canal	1	11:10	13,0	33,3	10	164,1
		2					196,3
	Rejet	1	10:55	13,0	33,2	10	151,8
		2					173,7
	Contrôle	1	09:57	12,7	33,4	10	123,2
		2					151,2
25 mai	Canal	1	10:07	14,6	33,3	10	149,3
		2					171,7
	Rejet	1	09:50	14,6	33,4	10	151,9
		2					171,9
	Contrôle	1	09:30	15,0	33,2	10	143,3
		2					163,8

C.1.3 RESULTATS

C.1.3.1 La sole (*S. solea*)

C.1.3.1.1 Les œufs et larves

Date	Point	Réplikat	Total œufs	œufs NE	œufs E	Larves
14 avril	Canal	1	0,03	0,01	0,01	0,01
		2	0,01	0,01	0,00	0,01
		Moyenne	0,02	0,01	0,01	0,01
	Rejet	1	0,03	0,02	0,01	0,01
		2	0,03	0,01	0,02	0,01
		Moyenne	0,03	0,02	0,02	0,01
	Contrôle	1	0,36	0,31	0,05	0,00
		2	0,33	0,27	0,07	0,00
		Moyenne	0,35	0,29	0,06	0,00
27 avril	Canal	1	0,10	0,05	0,05	0,00
		2	0,05	0,05	0,00	0,00
		Moyenne	0,07	0,05	0,02	0,00
	Rejet	1	0,15	0,08	0,07	0,01
		2	0,08	0,04	0,04	0,00
		Moyenne	0,12	0,06	0,06	0,00
	Contrôle	1	0,03	0,00	0,03	0,00
		2	0,31	0,23	0,08	0,00
		Moyenne	0,17	0,11	0,05	0,00
11 mai	Canal	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		Moyenne	0,00	0,00	0,00	0,00
	Rejet	1	0,02	0,01	0,01	0,00
		2	0,02	0,02	0,00	0,01
		Moyenne	0,02	0,02	0,00	0,01
	Contrôle	1	0,21	0,19	0,02	0,02
		2	0,17	0,15	0,02	0,01
		Moyenne	0,19	0,17	0,02	0,02
25 mai	Canal	1	0,00	0,00	0,00	0,02
		2	0,00	0,00	0,00	0,02
		Moyenne	0,00	0,00	0,00	0,02
	Rejet	1	0,02	0,02	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		Moyenne	0,01	0,01	0,00	0,00
	Contrôle	1	0,08	0,07	0,01	0,00
		2	0,07	0,06	0,01	0,01
		Moyenne	0,08	0,07	0,01	0,00

Les abondances des œufs et des larves de sole sont présentées dans le Tableau C-2.

En 2023, les plus fortes abondances d'œufs et de larves ont été observées lors des trois premières campagnes. Les œufs, composés majoritairement d'œufs non embryonnés, montraient des abondances les plus élevées au point contrôle sur l'ensemble des campagnes. Les larves étaient peu abondantes cette année sur l'ensemble de la saison. Aucun œuf ni larve n'ont été observés au point *canal* sur la campagne du 11 Mai.

Tableau C-2 : Abondances (ind.m⁻³) des œufs (NE, Non Embryonnés ; E, Embryonnés) et des larves de sole sur le site du CNPE de Penly au printemps

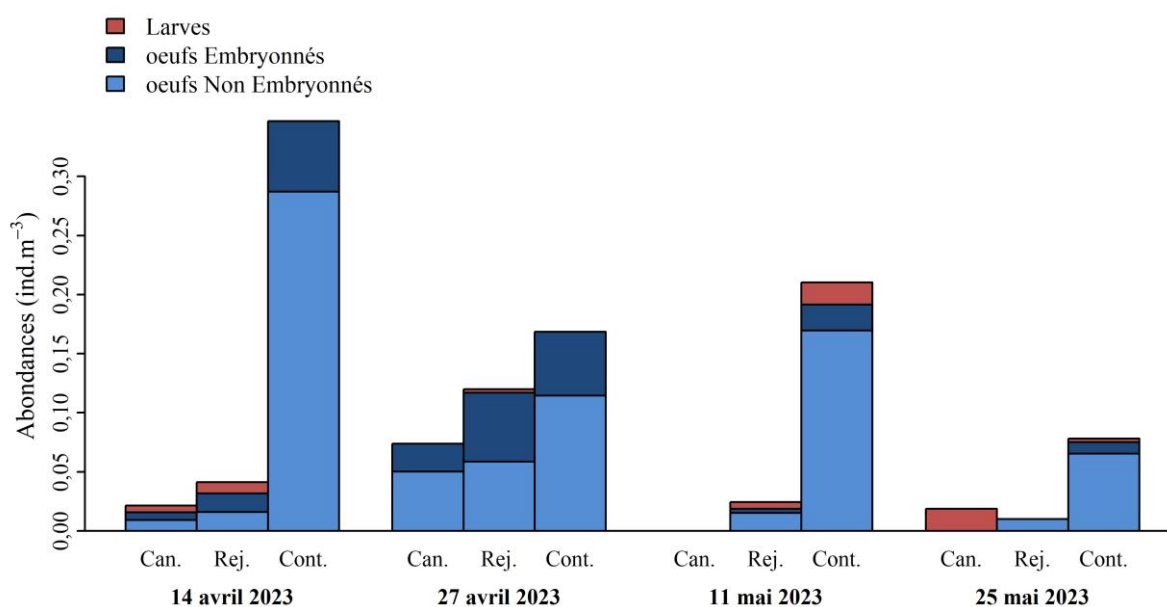


Figure C-2 : Abondances totales (moyennes des deux répliquats en (ind.m⁻³) des œufs et larves de sole sur le site du CNPE de Penly au printemps en fonction de la date et du point de prélèvement (Can., Canal; Rej., Rejet; Cont., Contrôle)

C.1.3.1.2 Les œufs et larves depuis 1978

L'évolution des abondances des œufs et larves de sole observées depuis 1978 sur le site de Penly est présentée Figure C-3.

Pour les œufs comme pour les larves, les abondances observées en 2023 étaient plus faibles que celles de ces cinq dernières années, sauf pour le point contrôle où elles étaient semblables à celles de l'année dernière.

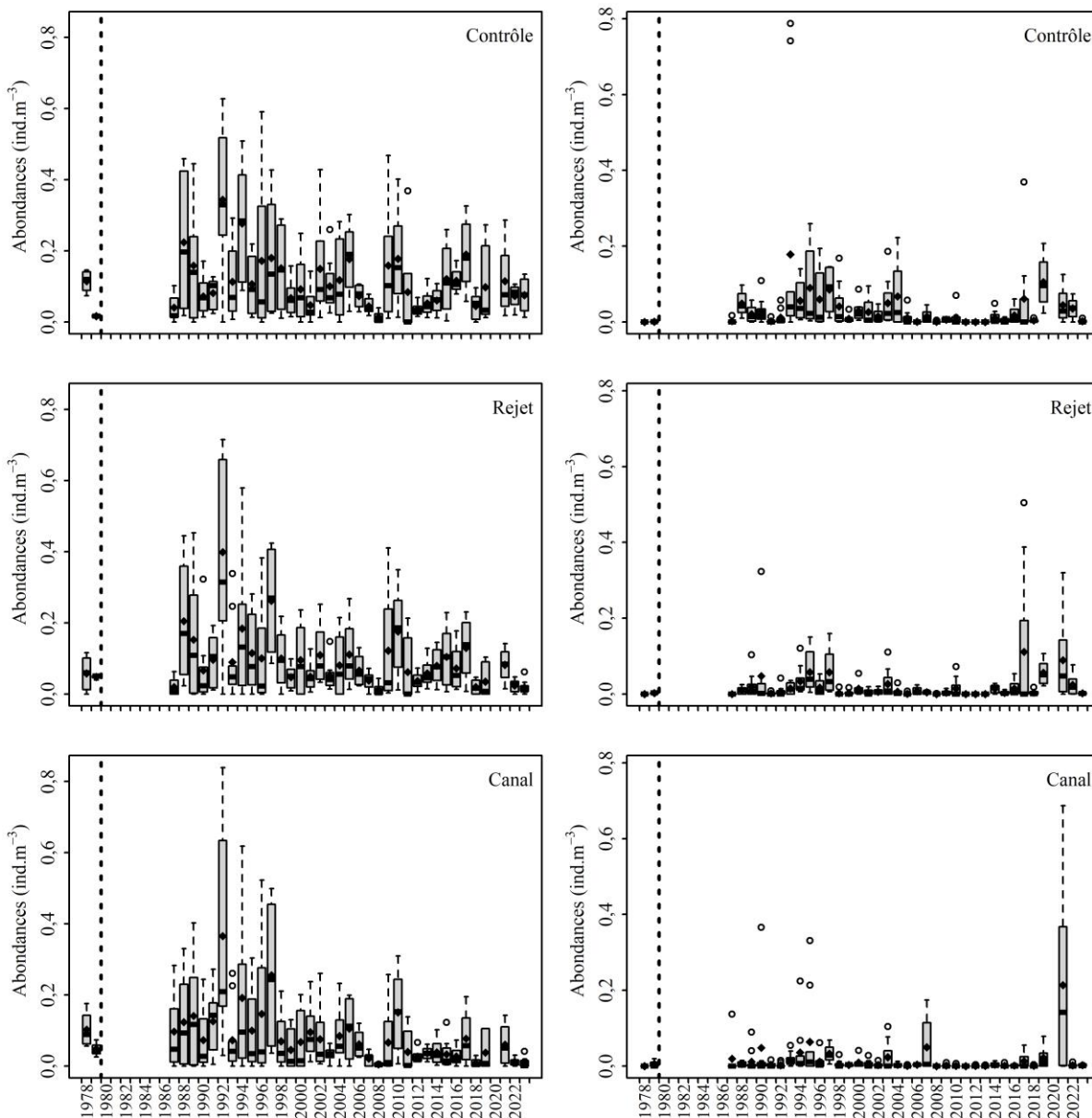


Figure C-3 : Abondances log-transformées (ind.m⁻³) des œufs (gauche) et larves (droite) de sole observées aux points Canal, Rejet et Contrôle du site du CNPE de Penly entre avril et juin depuis 1978. Le suivi d'avant projet est séparé du suivi après implantation du CNPE (ligne pointillée).

C.1.3.2 La plie (*P. platessa*)

Compte tenu de l'absence de prélèvements de janvier à mars, aucun œuf ou larve de plie n'a été observé cette année. Les plus importantes concentrations avaient été relevées en janvier 1978 avec 0,1 œuf/10m³ et 0,06 larve/10m³ en février 1987. La période retenue de mars à juin pour l'échantillonnage des œufs et larves des autres espèces suivies (sole, limande, sprat, sardine) n'est pas compatible avec la dynamique spatio-temporelle de la plie (Période hivernale, Janvier-Février). En effet, les œufs de plie étant pondus au large en hiver au centre de la Manche, un échantillonnage aussi côtier que celui réalisé à Penly, dans le cadre du projet IGA, n'est pas adapté pour le suivi des œufs et larves

de plie. Il n'est pas certain qu'un échantillonnage plus tôt dans l'année permettra un suivi pertinent comme l'ont montré les rapports avant 2005 où les abondances d'œufs et larves de plie enregistrées étaient très faibles. Ainsi, le suivi des œufs et larves de plie ne présente pas un réel intérêt dans ces conditions de prélèvement pour la zone située à proximité du CNPE de Penly. L'Ifremer a décidé d'abandonner leurs dénombrements à partir de 2006.

C.1.3.3 La limande (*L. limanda*)

C.1.3.3.1 Les œufs et larves

Les abondances d'œufs et de larves de limande ~~pour~~ sont présentées dans le Tableau C-3 et la Figure C-3.

Il existe un doute important quant à l'identification des œufs de limande qui peuvent être confondus avec ceux de flet (Lelièvre et al., 2012). En 2023, des œufs de limande ont potentiellement été observés au cours de toutes les campagnes, avec des abondances supérieures au point contrôle. Les œufs embryonnés étaient légèrement majoritaires lors de la première campagne. Quelques larves ont été observées au point contrôle lors de la première campagne.

Tableau C-3 : Abondances (ind.m⁻³) des œufs (NE, Non Embryonnés ; E, Embryonnés) et des larves de limande sur le site du CNPE de Penly au printemps

Date	Point	Réplicat	Total œufs	œufs NE	œufs E	Larves
14 avril	Canal	1	0,01	0,00	0,01	0,00
		2	0,02	0,01	0,02	0,00
		Moyenne	0,01	0,00	0,01	0,00
	Rejet	1	0,02	0,00	0,02	0,00
		2	0,04	0,01	0,02	0,00
		Moyenne	0,03	0,01	0,02	0,00
	Contrôle	1	0,56	0,26	0,29	0,05
		2	0,53	0,23	0,30	0,05
		Moyenne	0,54	0,25	0,30	0,05
27 avril	Canal	1	0,01	0,00	0,01	0,00
		2	0,01	0,00	0,01	0,00
		Moyenne	0,01	0,00	0,01	0,00
	Rejet	1	0,01	0,00	0,01	0,00
		2	0,02	0,01	0,01	0,00
		Moyenne	0,01	0,00	0,01	0,00
	Contrôle	1	0,19	0,11	0,07	0,00
		2	0,16	0,08	0,08	0,00
		Moyenne	0,17	0,10	0,08	0,00
11 mai	Canal	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		Moyenne	0,00	0,00	0,00	0,00
	Rejet	1	0,01	0,01	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,01
		Moyenne	0,00	0,00	0,00	0,00
	Contrôle	1	0,02	0,01	0,01	0,00
		2	0,01	0,01	0,00	0,00
		Moyenne	0,01	0,01	0,00	0,00
25 mai	Canal	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		Moyenne	0,00	0,00	0,00	0,00
	Rejet	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		Moyenne	0,00	0,00	0,00	0,00
	Contrôle	1	0,01	0,01	0,01	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		Moyenne	0,01	0,00	0,00	0,00

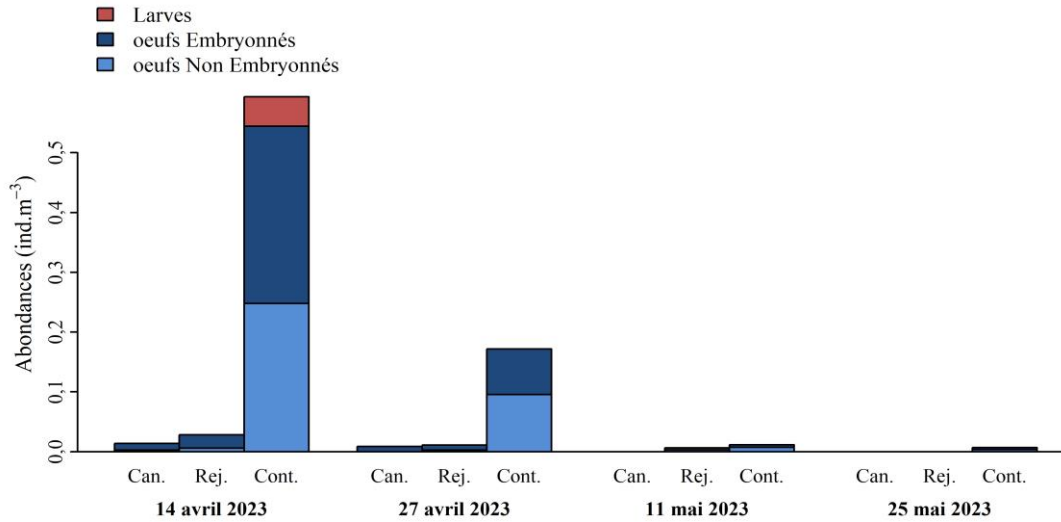


Figure C-4 : Abondances totales (moyennes des deux réplicats en ind.m⁻³) des œufs et larves de limande sur le site du CNPE de Penly au printemps en fonction de la date et du point de prélèvement (Can., Canal; Rej., Rejet; Cont., Contrôle) au printemps.

C.1.3.3.2 Les œufs et larves depuis 1978

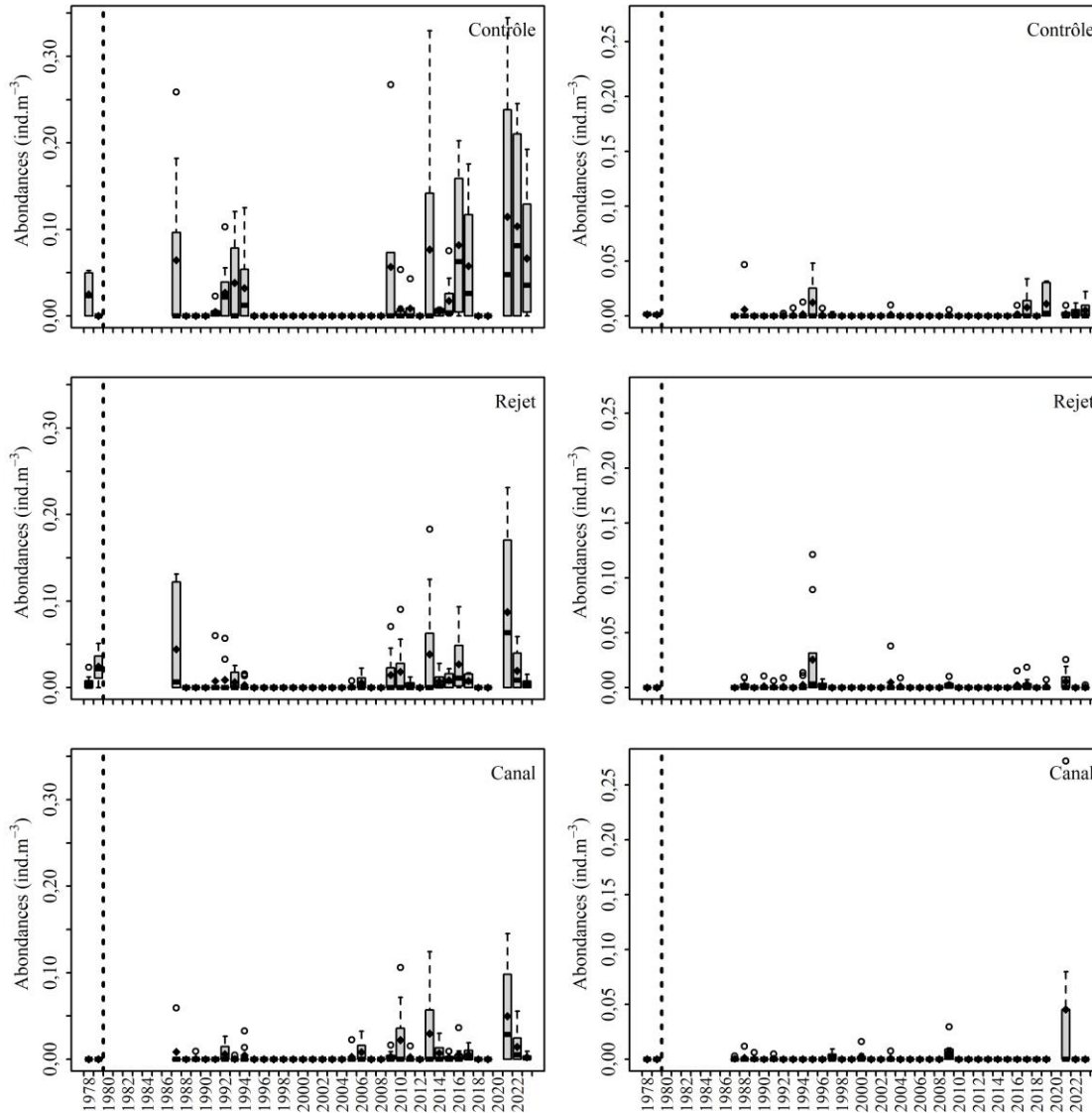


Figure C-5 : Abondances log-transformées (ind.m⁻³) des œufs (gauche) et larves (droite) de limande observées aux points Canal, Rejet et Contrôle du site du CNPE de Penly entre avril et juin depuis 1978. Le suivi d'avant projet est séparé du suivi après implantation du CNPE (ligne pointillée).

L'évolution des abondances des œufs et larves de limande observées depuis 1978 sur le site de Penly est présentée en Figure C-5.

Pour les œufs, l'année 2023 est potentiellement parmi celles ayant les abondances les plus élevées sur l'ensemble du suivi au niveau du point contrôle et dans la moyenne pour les deux autres points. Pour les larves, les abondances sont également dans la tendance des dernières années, à l'exception du point canal pour 2021.

C.1.3.4 Le sprat (*S. sprattus*)

C.1.3.4.1 Les œufs et larves

Les abondances des œufs et larves de sprat pour le printemps sont présentées dans le Tableau C-4 et la Figure C-6.

En 2023, les plus fortes abondances des œufs ont été observées lors des deux premières campagnes en particulier au point contrôle et il s'agissait en majorité d'œufs non embryonnés. Les larves étaient majoritaires sur l'ensemble des campagnes notamment sur le point rejet. Ces faibles abondances d'œufs et fortes abondances de larves observées dès le début du suivi tendent à indiquer un pic de ponte ayant eu lieu avant les campagnes, ce qui peut conduire à une sous-estimation des abondances d'œufs de sprat pour l'année 2023.

Tableau C-4 : Abondances (ind.m⁻³) des œufs (NE, non embryonnés ; E, embryonnés) et des larves de sprat sur le site du CNPE de Penly

Date	Point	Réplicat	Total œufs	œufs NE	œufs E	Larves
14 avril	Canal	1	0,00	0,00	0,00	0,03
		2	0,00	0,00	0,00	0,02
		Moyenne	0,00	0,00	0,00	0,03
	Rejet	1	0,00	0,00	0,00	0,24
		2	0,00	0,00	0,00	0,25
		Moyenne	0,00	0,00	0,00	0,25
	Contrôle	1	0,14	0,11	0,04	0,34
		2	0,11	0,08	0,03	0,19
		Moyenne	0,12	0,09	0,03	0,26
27 avril	Canal	1	0,01	0,00	0,01	0,02
		2	0,01	0,01	0,00	0,01
		Moyenne	0,01	0,00	0,00	0,01
	Rejet	1	0,00	0,00	0,00	0,10
		2	0,00	0,00	0,00	0,03
		Moyenne	0,00	0,00	0,00	0,06
	Contrôle	1	0,03	0,01	0,03	0,01
		2	0,01	0,01	0,00	0,01
		Moyenne	0,02	0,01	0,01	0,01
11 mai	Canal	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		Moyenne	0,00	0,00	0,00	0,00
	Rejet	1	0,00	0,00	0,00	0,04
		2	0,00	0,00	0,00	0,01
		Moyenne	0,00	0,00	0,00	0,03
	Contrôle	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,01	0,01	0,00	0,00
		Moyenne	0,00	0,00	0,00	0,00
25 mai	Canal	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		Moyenne	0,00	0,00	0,00	0,00
	Rejet	1	0,00	0,00	0,00	0,02
		2	0,00	0,00	0,00	0,01
		Moyenne	0,00	0,00	0,00	0,01
	Contrôle	1	0,01	0,01	0,00	0,01
		2	0,00	0,00	0,00	0,01
		Moyenne	0,00	0,00	0,00	0,01

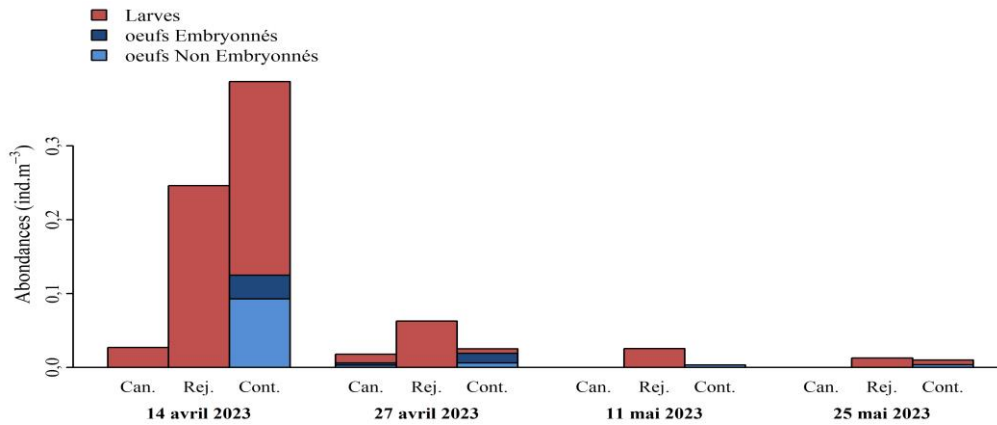


Figure C-6 : Abondances totales (moyennes des deux réplicats en ind.m^{-3}) des œufs et des larves de sprat sur le site du CNPE de Penly au printemps en fonction de la date et du point de prélèvement (Can., Canal; Rej., Rejet; Cont., Contrôle)

C.1.3.4.2 Les œufs et larves depuis 1978

L'évolution des abondances des œufs et larves de sprat sur le site de la centrale de Penly depuis 1978 est présentée Figure C-7.

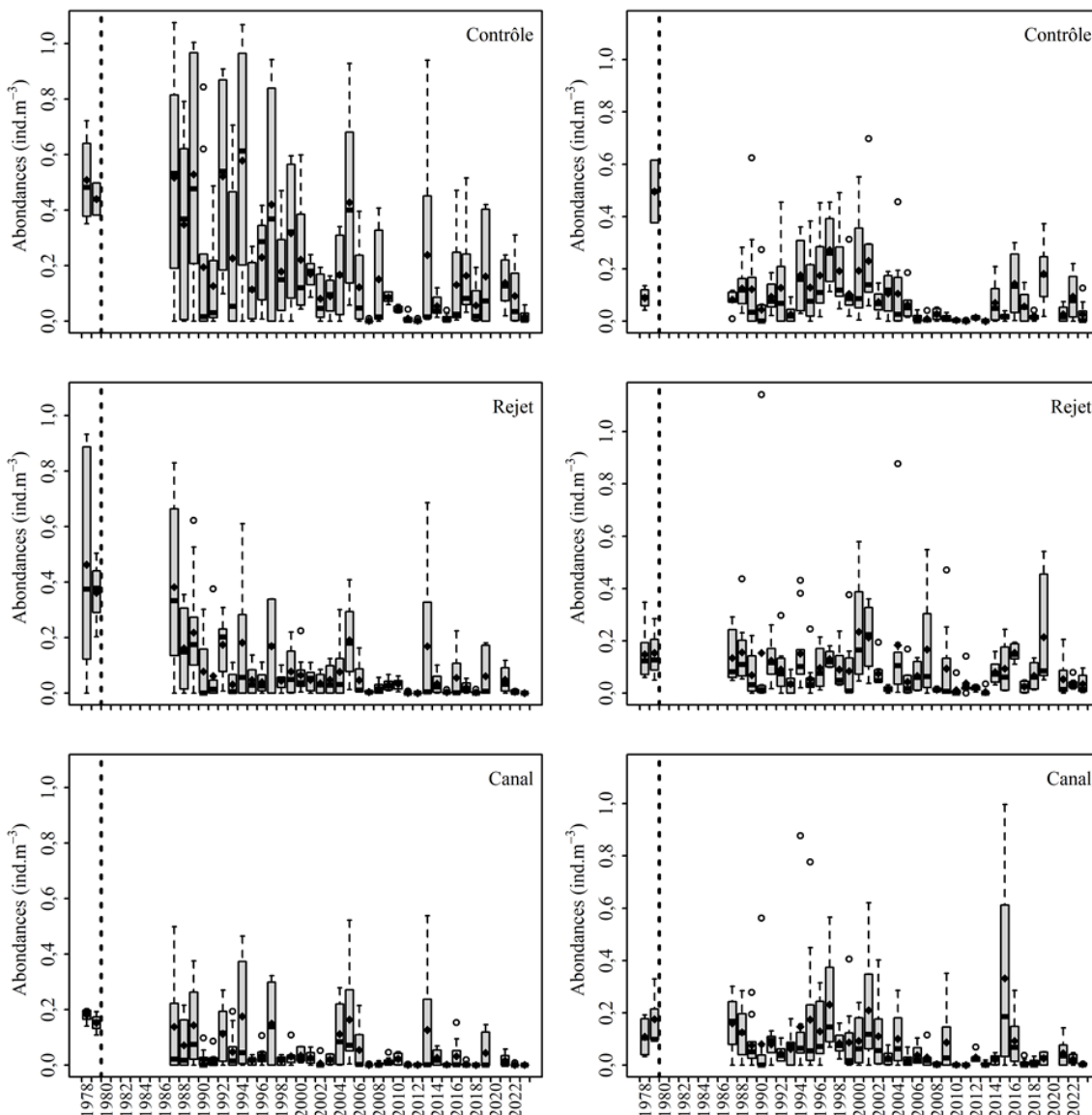


Figure C-7 : Abondances log-transformées (ind.m^{-3}) des œufs (gauche) et larves (droite) de sprat observées aux points Canal, Rejet et Contrôle du site du CNPE de Penly entre avril et juin depuis 1978. Le suivi d'avant projet est séparé du suivi après implantation du CNPE (ligne pointillée).

Pour les œufs, l'année 2023 montrait des abondances plus faibles sur l'ensemble des points en comparaison à celles des années précédentes. Pour le point Contrôle, les abondances sont très faibles comparées à celles de ces dix dernières années, tandis que les deux autres points eux, suivent, la tendance faible des dix dernières années.

Pour les larves, les abondances de 2023 étaient dans la tendance basse de celles observées ces huit dernières années aux points canal et rejet, mais restent supérieures à celles les plus faibles observées depuis le début du suivi. Au point contrôle, elles sont dans la tendance faible de ces dernières années.

C.1.3.5 La sardine (*S. pilchardus*)

C.1.3.5.1 Les œufs et larves

Les abondances des œufs et larves de sardine pour le printemps sont présentées dans le Tableau C-5 et la Figure C-8.

En 2023, ce sont principalement des œufs qui ont été observés, en particulier lors des deux dernières campagnes. Il s'agissait majoritairement d'œufs embryonnés lors des toutes les campagnes. Les abondances montraient un gradient côte-large avec des valeurs décroissantes depuis le point contrôle jusqu'au point canal. Les larves étaient présentes sur les deux dernières campagnes, essentiellement sur le point contrôle et totalement absentes sur le point canal.

Tableau C-5 : Abondances (ind.m⁻³) des œufs (NE, non embryonnés ; E, embryonnés) et des larves de sardine sur le site du CNPE de Penly au printemps.

Date	Point	Réplikat	Total œufs	œufs NE	œufs E	Larves
14 avril	Canal	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,01	0,00	0,01	0,00
		Moyenne	0,00	0,00	0,00	0,00
	Rejet	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		Moyenne	0,00	0,00	0,00	0,00
	Contrôle	1	0,02	0,00	0,02	0,00
		2	0,01	0,00	0,01	0,00
		Moyenne	0,01	0,00	0,01	0,00
27 avril	Canal	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,01	0,00	0,01	0,00
		Moyenne	0,01	0,00	0,01	0,00
	Rejet	1	0,01	0,00	0,01	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		Moyenne	0,01	0,00	0,01	0,00
	Contrôle	1	0,01	0,00	0,01	0,00
		2	0,03	0,00	0,03	0,00
		Moyenne	0,02	0,00	0,02	0,00
11 mai	Canal	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		Moyenne	0,00	0,00	0,00	0,00
	Rejet	1	0,01	0,00	0,01	0,02
		2	0,01	0,00	0,01	0,01
		Moyenne	0,01	0,00	0,01	0,01
	Contrôle	1	0,09	0,01	0,08	0,14
		2	0,09	0,01	0,09	0,15
		Moyenne	0,09	0,01	0,08	0,15
25 mai	Canal	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		Moyenne	0,00	0,00	0,00	0,00
	Rejet	1	0,01	0,00	0,01	0,00
		2	0,01	0,00	0,01	0,01
		Moyenne	0,01	0,00	0,01	0,01
	Contrôle	1	0,20	0,00	0,20	0,05
		2	0,23	0,04	0,19	0,04
		Moyenne	0,21	0,02	0,19	0,04

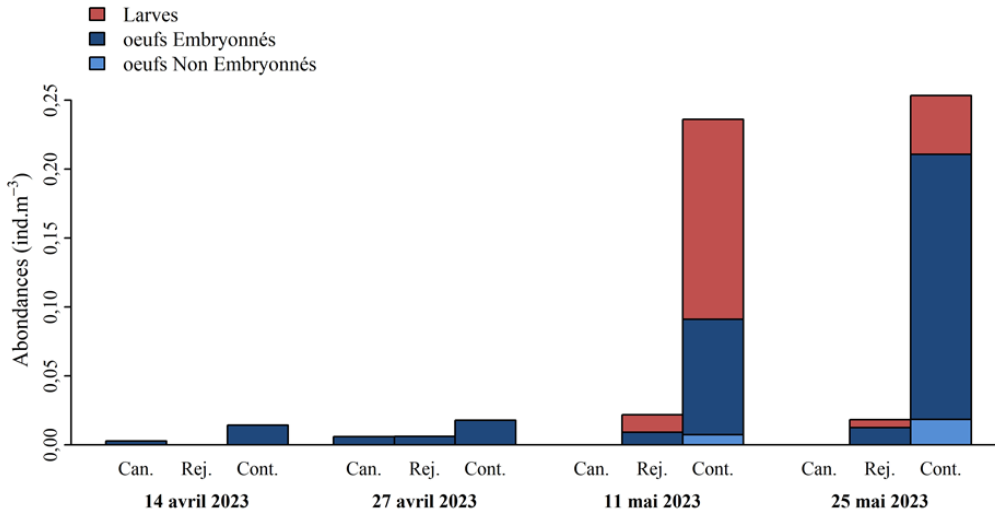


Figure C-8 : Abondances totales (moyennes des deux réplicats en ind.m^{-3}) des œufs et des larves de sardine sur le site du CNPE de Penly au printemps en fonction de la date et du point de prélèvement (Can., Canal; Rej., Rejet; Cont., Contrôle)

C.1.3.5.2 Les œufs et larves depuis 1978

L'évolution des abondances des œufs et larves de sardine sur le site de la centrale de Penly depuis 1978 est présentée Figure C-9.

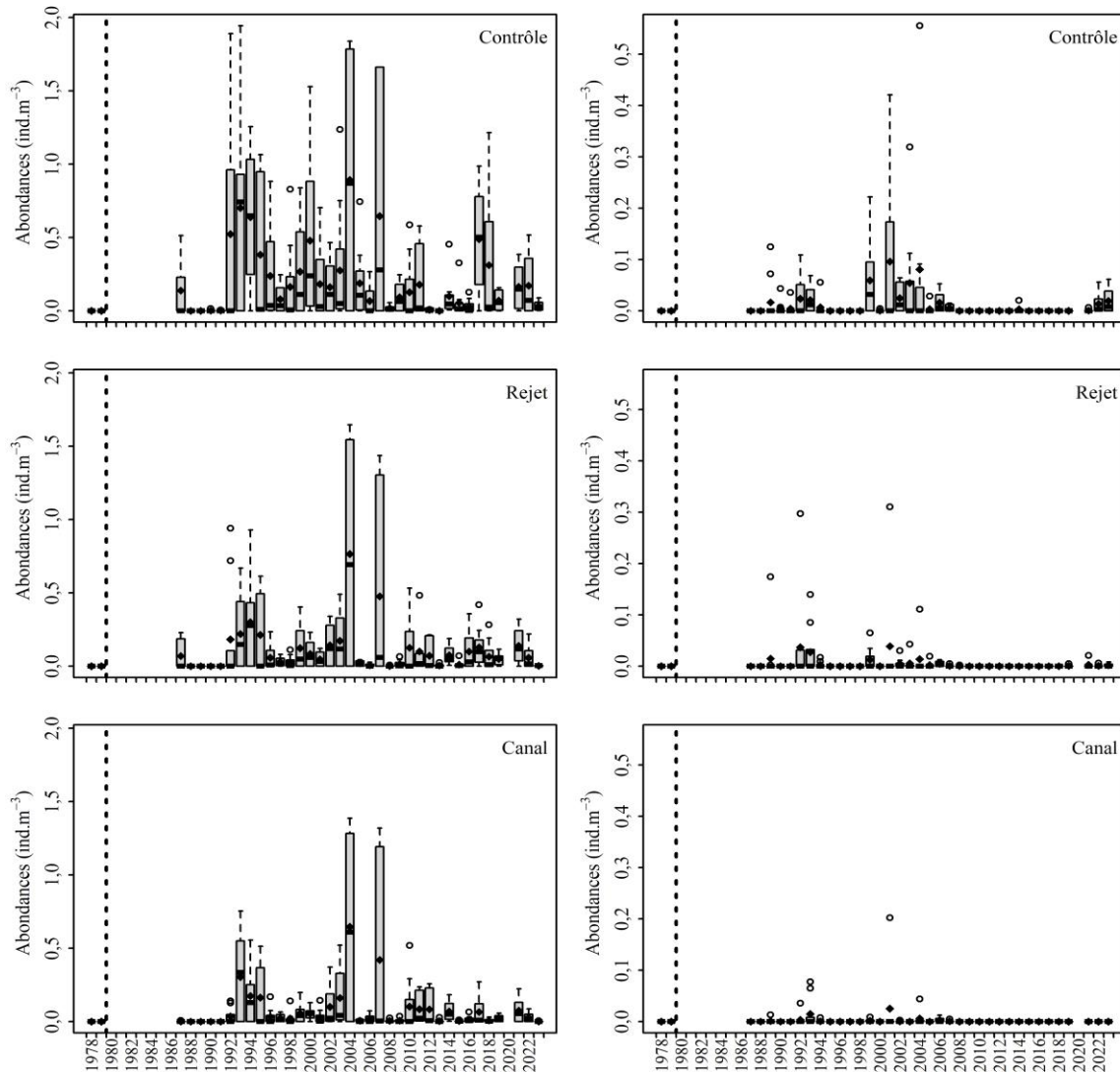


Figure C-9 : Abondances log-transformées (ind.m^{-3}) des œufs (gauche) et larves (droite) de sardine observées aux points Canal, Rejet et Contrôle du site du CNPE de Penly entre avril et juin depuis 1978. Le suivi d'avant projet est séparé du suivi après implantation du CNPE (ligne pointillée).

Pour les œufs, l'année 2023 montrait des abondances beaucoup plus faibles que sur les dernières années (absence de données en 2020 à cause de la crise COVID) sur le point contrôle. La présence de larves de sardine est très anecdotique sur le site de Penly pendant la période échantillonnée, en particulier aux points canal et rejet. Cependant pour le point contrôle on remarque une légère abondance depuis 2022.

C.1.4 CONCLUSION

Comme pour les années précédentes, sur les cinq espèces ciblées de l'ichtyoplancton, la sole et le sprat étaient les plus abondants sur le site du CNPE de Penly en 2023.

Pour ces deux espèces, l'année 2023 montrait des abondances globalement plus faibles que les cinq dernières années. Pour le sprat, les abondances restent inférieures aux maximums déjà observés dans les années 90. Cependant, la comparaison interannuelle des abondances reste délicate du fait du décalage probable, entre les années, de la période de ponte des espèces cibles en fonction des conditions environnementales. Le nombre limité de campagnes d'échantillonnage ne permettant pas de couvrir toute la période de présence des œufs et larves, ceci peut conduire à une interprétation erronée des abondances observées d'une année à l'autre.

La limande et la sardine ne sont pas des espèces abondantes aux stades œufs (pour la limande) et larves (pour les deux espèces) sur le site du CNPE de Penly pendant la période de prélèvement. Même si cette année fait figure d'exception pour les œufs de limande où l'on observe potentiellement une abondance importante sur le point contrôle. Il faut rappeler que pour la limande, un doute important subsiste quant à l'identification visuelle des œufs. Ces œufs peuvent être confondus avec ceux de flet, particulièrement pour le stade 'Non Embryonné'. Seule l'analyse moléculaire permet de séparer clairement les deux espèces. Pour la sardine, les faibles abondances de larves peuvent être expliquées par la reproduction plus tardive de cette espèce par rapport aux autres. Comme pour les années précédentes, il faut noter une quantité non négligeable d'œufs et de larves d'autres espèces présentes dans les échantillons collectés ainsi que l'absence de d'œufs et de larves de plie.

La variabilité spatio-temporelle de la population ichtyoplanctonique lors des quatre campagnes annuelles 2023 ne permet donc pas de mettre en évidence une évolution anormale du milieu récepteur pouvant être reliée au fonctionnement du CNPE de Penly.

C.2 Macrofaune

C.2.1 STRATEGIE DE SURVEILLANCE

Les études précédentes réalisées lors de l'étude d'avant-projet, ont montré qu'il existait une influence halieutique de la baie de Somme sur le secteur proche de Penly.

Cette relation se manifeste par le fait que le secteur côtier compris entre Dieppe et le Tréport fait partie d'une nourricerie pour certaines espèces de poissons, notamment pour les poissons plats comme la sole, la plie et la limande. Cette nourricerie est centrée sur la baie de Somme.

C'est cet aspect particulièrement sensible que nous avons décidé d'étudier depuis la phase de projet. Cela explique qu'en 2023 l'étude de la macrofaune halieutique se soit déroulée suivant la méthodologie mise en œuvre au cours de l'étude de projet (1979) et de son étude complémentaire (période 1980 à 1983). Une seule des deux campagnes annuelles de chalutages initialement réalisées a été conservée, celle de fin d'été début d'automne. L'abandon de la campagne de printemps se justifie par le fait qu'à cette période de l'année, les juvéniles de poissons plats nés dans l'année (groupe 0), qui nous intéressent tout particulièrement dans cette étude, n'apparaissent encore que très peu dans les captures expérimentales.

En ce qui concerne les crevettes grises on utilisait jusqu'en 2015, la longueur entre l'échancrure de l'œil à l'extrémité du telson (L-OC-TEL) et un calibrage en quatre groupes de taille 0-24, 25-44, 45-56 et > 56mm. Pour pouvoir comparer nos résultats avec ce qui se fait au niveau international dans le cadre du WGCRAN²³ du CIEM²⁴, nous utilisons désormais la longueur totale (Lt). Une correspondance entre ces deux types de mensurations existe (Cf. ISTPM, 1981. -Etude halieutique de Projet de Site Penly. Rapport sur deux cycles annuels, Pêche et biologie des espèces) et nous a permis de recalculer l'historique des captures. La calibration présentée dans les rapports à partir de 1987 est la suivante : 00-30, 31-53, 54-67 et > 67 mm de longueur totale.

C.2.2 PARAMETRES / METHODES

Les métriques suivies lors des campagnes de prospections concernent principalement les abondances et les distributions en taille de trois espèces de poissons plats telles que la sole, la plie et la limande ainsi que deux espèces de poissons pélagiques (sprat et sardine). Deux crustacés : la crevette grise et l'étrille viennent compléter les observations réalisées chaque année entre le secteur de Dieppe et la baie d'Authie. Les prospections sont réalisées selon une stratification basée sur la bathymétrie ainsi que sur une stratification d'échantillonnage (Figure C-10 A, B) différente selon qu'il s'agit des poissons et de l'étrille ou de la crevette. Un découpage plus détaillé a été adopté pour cette dernière espèce dans la mesure où l'ensemble du cycle de vie de cette population est très dépendant de l'estuaire. Les autres poissons d'intérêt commercial sont aussi dénombrés, mais ne font pas l'objet d'un suivi ciblé. Ainsi leurs abondances sont présentées sous la forme de tableaux synthétiques en ANNEXE C-6.

Les travaux suivants ont aussi été réalisés :

- mensurations,
- pesées globales pour chaque espèce et prélèvement d'otolithes,
- lecture de l'âge réalisée par le laboratoire de sclérologie Ifremer de Boulogne sur Mer.

La détermination de l'âge des individus est estimée à partir de la structure de l'otolithe. Cette concrétion minérale située dans l'oreille interne des poissons est généralement opaque. Des dépôts se

²³ Working Groupe *Crangon crangon* (Groupe de travail dédié à la crevette grise au sein du CIEM)

²⁴ Conseil International pour l'Exploration de la Mer (CIEM) ou The International Council For the Exploration of the Sea (ICES) est un organisme inter-gouvernemental créé en 1902 qui coordonne la recherche sur les ressources et l'environnement marins dans l'Atlantique nord-est

forment autour du noyau (nucleus) dès les premiers mois de la vie de l'individu et jusqu'à la fin de l'automne ou au début de l'hiver. Des matériaux hyalins se déposent alors pendant toute la période hivernale. Ces dépôts alternent ensuite suivant le rythme des saisons et la croissance du poisson. Les zones sombres correspondent aux périodes estivales à croissance rapide et les zones hyalines aux ralentissements hivernaux.

Entre la naissance et le premier ralentissement de croissance (que l'on situe par hypothèse au 1er janvier), le poisson appartient au groupe 0. À partir de la reprise de croissance, le poisson entre dans le groupe 1. À chaque nouvelle saison hivernale, il intègre le groupe supérieur.

Pour l'exploitation des données, deux types d'analyses ont été retenus :

Calcul des densités par trait élevées à l'unité de surface :

Ce type de traitement des données permet une visualisation de la répartition et de l'abondance des différentes espèces sur le secteur d'étude.

Pour chaque espèce rencontrée dans un chalutage et pour chacun des groupes d'âge, lorsque ceux-ci ont pu être identifiés, une densité en nombre d'individus pour 1000 m² est calculée.

Densité moyenne par 1000 m² avec :

$$d_j = \frac{\sum P_i \times 1000}{\sum S_i}$$

P_i = nombre d'individus observés dans chaque trait i de la zone j

S_j = surface balayée par chaque trait i (en m²) de la zone j

d_j = densité des individus (par 1000 m²) dans la strate j

Calcul des densités moyennes par strate :

Les densités par trait, en raison de la variabilité des valeurs, ne fournissent pas des indices d'abondance permettant de comparer sur le plan quantitatif, les différentes campagnes ou les différentes années entre elles.

Pour résoudre ce problème de comparaison, mais également pour différencier les secteurs soumis à l'influence de la tache thermique due aux rejets de la centrale, nous avons eu recours au découpage de l'aire de prospection en plusieurs zones.

Ces zones ont été retenues en tenant compte à la fois de la répartition de la tache thermique et de l'écologie des juvéniles de poissons plats et de la crevette grise dont les répartitions spatiales sont en relation avec de nombreux facteurs abiotiques et biotiques ((Riley et al., 1981)). Cinq zones (ou strates), nommées de A à E ont été définies pour les poissons (Figure C-10 A) et dix (numérotées de 0 à 9) pour la crevette grise (Figure C-10 B).

La méthode de calcul à laquelle nous avons recours est employée en échantillonnage stratifié et consiste en particulier à estimer les paramètres suivants pour chaque zone :

Nombre d'individus présents dans la strate :

$$n_j = S_j \times \frac{\sum P_i}{\sum S_i}$$

S_j = surface de la strate j (m²) (estimation par planimétrie)

n_j = nombre d'individus estimés pour la zone j

Calcul des densités moyennes et production sur l'ensemble du secteur d'étude :

Comme indice de la production de l'ensemble des différentes zones nous avons utilisé la formule suivante :

Nombre d'individus présents sur l'ensemble du secteur

$$N = \sum n_j$$

Les densités obtenues par ces méthodes de calcul ne doivent pas être considérées comme des valeurs absolues mais plutôt comme des indices d'abondance.

C.2.3 PECHES EXPERIMENTALES

Les prélèvements ont pu être effectués lors de conditions météorologiques favorables du 24 au 28 août 2023.

Cinquante traits de chalut ont été réalisés dans la zone d'étude (Figure C-10 C, D) dont :

- 34 à bord du chalutier *TIOT-HALLE*, avec un chalut à perche de trois mètres lors de trois jours de mer.
- 16 à bord du chalutier *ORCA*, avec un chalut à perche de deux mètres lors de deux jours de mer.

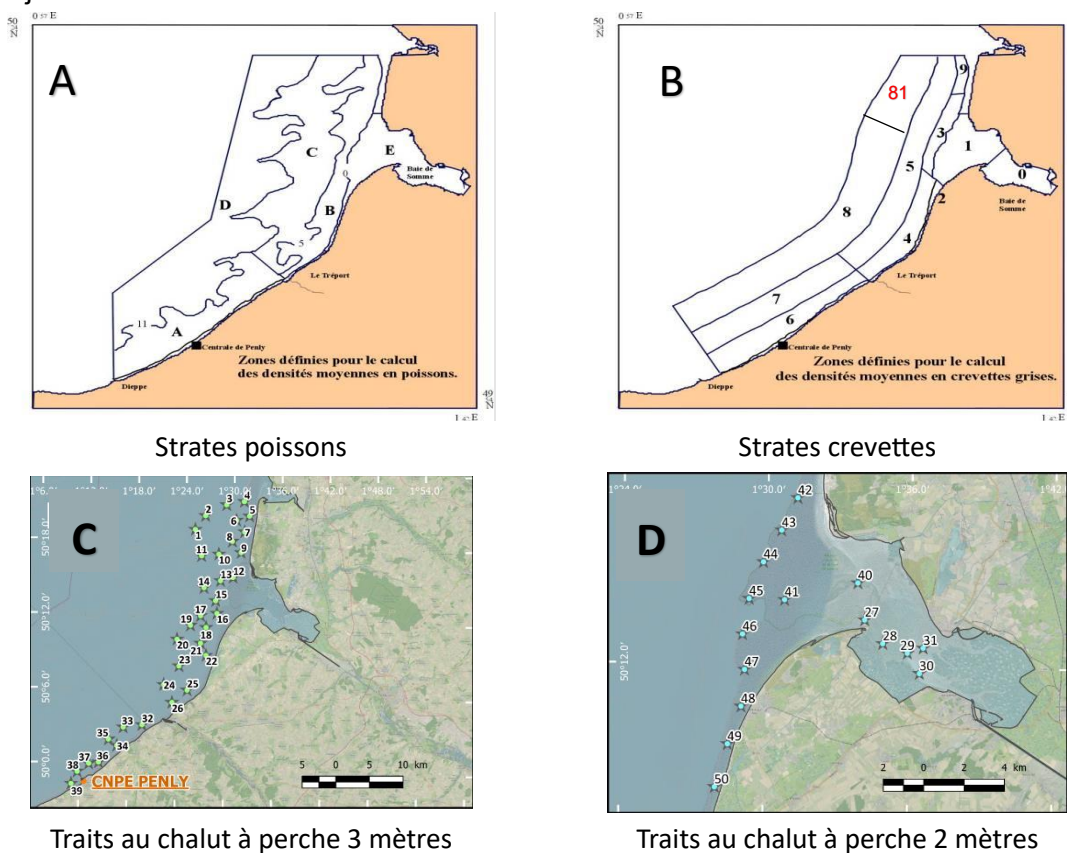


Figure C-10 : Zones définies pour le calcul des densités moyennes et positions des chalutages.

C.2.4 RESULTATS

La stratégie d'échantillonnage stratifié, modifiée en 1999, a été maintenue. Ainsi, une certaine réallocation des points de prélèvements a été effectuée de manière à optimiser l'échantillonnage ainsi que le travail de terrain.

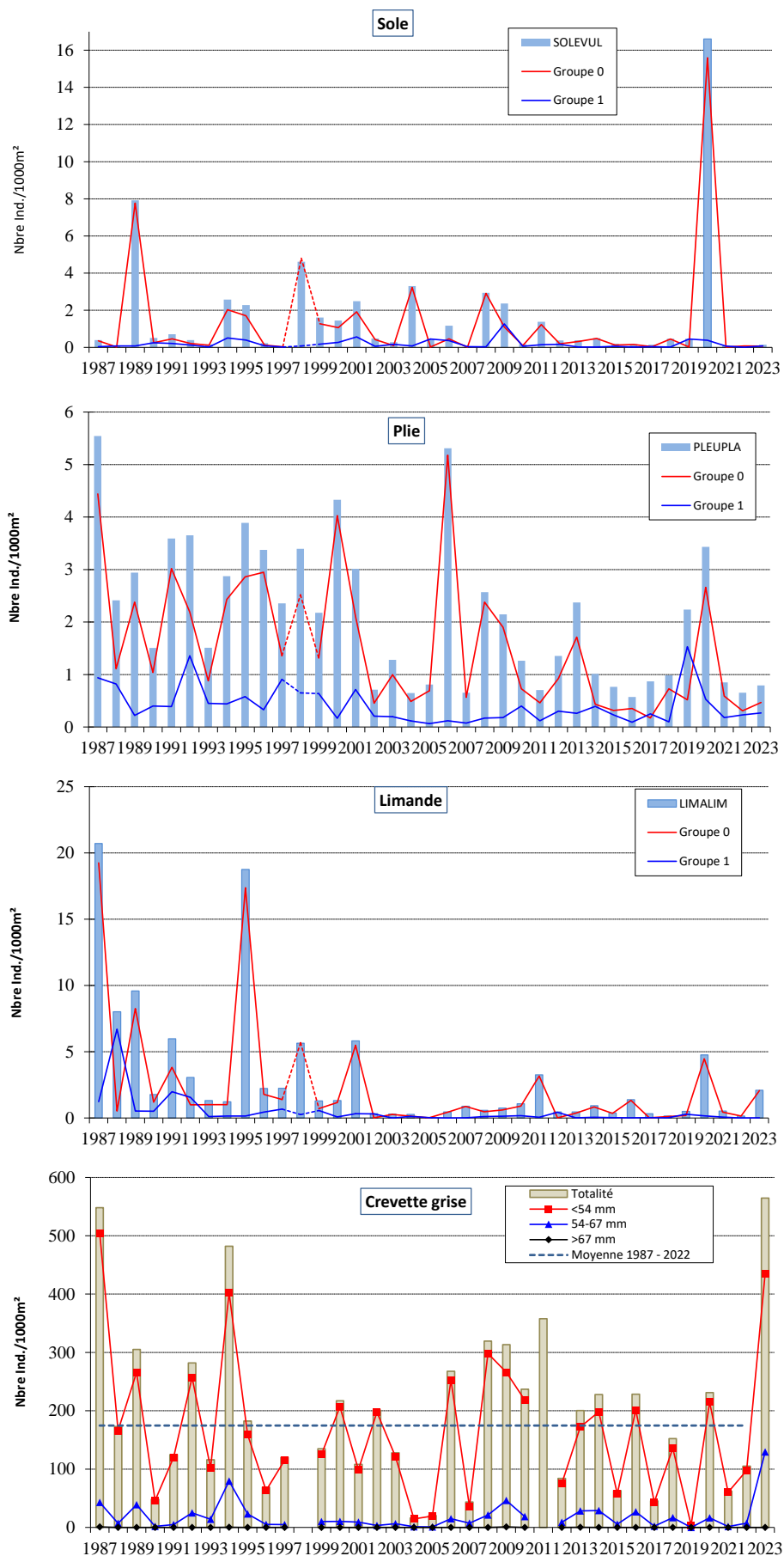


Figure C-11 : Densité annuelle (nombre d'individus pour 1000 m²) sur l'ensemble de la zone prospectée. La ligne discontinue (- -) représente la moyenne totale observée de 1987 à 2023.

Cette année, l'ensemble de la prospection a été réalisé la dernière semaine du mois d'août selon le protocole initialement retenues lors des premières campagnes de suivi.

Si les strates du large (D et 8) ne sont plus échantillonnées, on continue par contre à les prendre en compte dans le calcul de la densité totale en considérant que le nombre d'individus est égal à zéro pour ces deux strates. En ce qui concerne la crevette certains points étant en limite de la partie supérieure de la strate 8 nous avons décidé de couper cette dernière de façon à prendre en compte les indices crevettes associés. Une nouvelle strate a été créée sous le code 81 et représente une surface de 4271.6 ha. En ce qui concerne les poissons on considère qu'il y a aucun individu de capturé pour la surface totale de 29903 ha de la strate D. De même pour les crevettes, aucun individu n'est capturé pour la nouvelle surface de la strate 8 de 19106 ha. Ce mode de calcul permet de maintenir des indices comparables entre les différentes années, mais il faudra reprendre l'ensemble de la série crevette pour estimer l'historique de cette zone. Les indices issus de la strate E ne sont pas représentatifs en 1998.

C.2.4.1 Poissons plats

C.2.4.1.1 La sole (*S. solea*)

La sole est largement répandue dans l'Atlantique et les mers adjacentes, des côtes de Scandinavie au Sénégal. Espèce benthique, la sole vit de préférence sur des fonds meubles compris entre 10 et 70 m, à faciès sableux ou sablo-vaseux. Les individus de moins de deux ans grandissent généralement dans les estuaires ou en bordure de ceux-ci.

La densité en nombre d'individus par 1000 m² (ANNEXE C-6) sur l'ensemble de la zone prospectée est de 0,14. Il s'agit d'un des indices les plus faibles enregistrés depuis le début de la série historique (Figure C-11) et correspond à ce qui avait été calculé en 1988. En dehors de l'indice exceptionnel de 2020, la série observée depuis 2015 constitue une succession de très faibles abondances jamais rencontrée avant cette cassure (Figure C-11). L'abondance moyenne de cette dernière campagne est très en dessous de la tendance interannuelle.

Le cumul des strates A et B correspond à 74,2% des captures. Cette espèce représente respectivement 7 et 3 % des captures totales de poissons commerciaux échantillonnées dans ces strates. Cette proportion n'est que de 1,6% (ANNEXE C-8) dans la strate E alors que c'est dans cette zone que l'on trouve généralement les plus fortes abondances.

La Figure C-12 représente à la fois la répartition des densités des soles du groupe 0 selon qu'elles se situent à l'intérieur (strate E), au proche extérieur (strates B) ou à l'extérieur (strates A, C, D) de la baie de Somme ainsi que le pourcentage de chacune d'elles dans l'estimation de l'indice global. Cette année, l'indice d'abondance global du groupe 0 est de 0,07 ind./1000 m² (ANNEXE C-9). Il représente 47% de l'indice total de cette espèce (ANNEXE C-10) dont les individus ont été essentiellement capturés dans la strate B. Celui-ci est à nouveau extrêmement faible (Figure C-11) et se situe donc au niveau des minima historiques, sauf au niveau du proche extérieur où il correspond à la médiane représentative des faibles abondances.

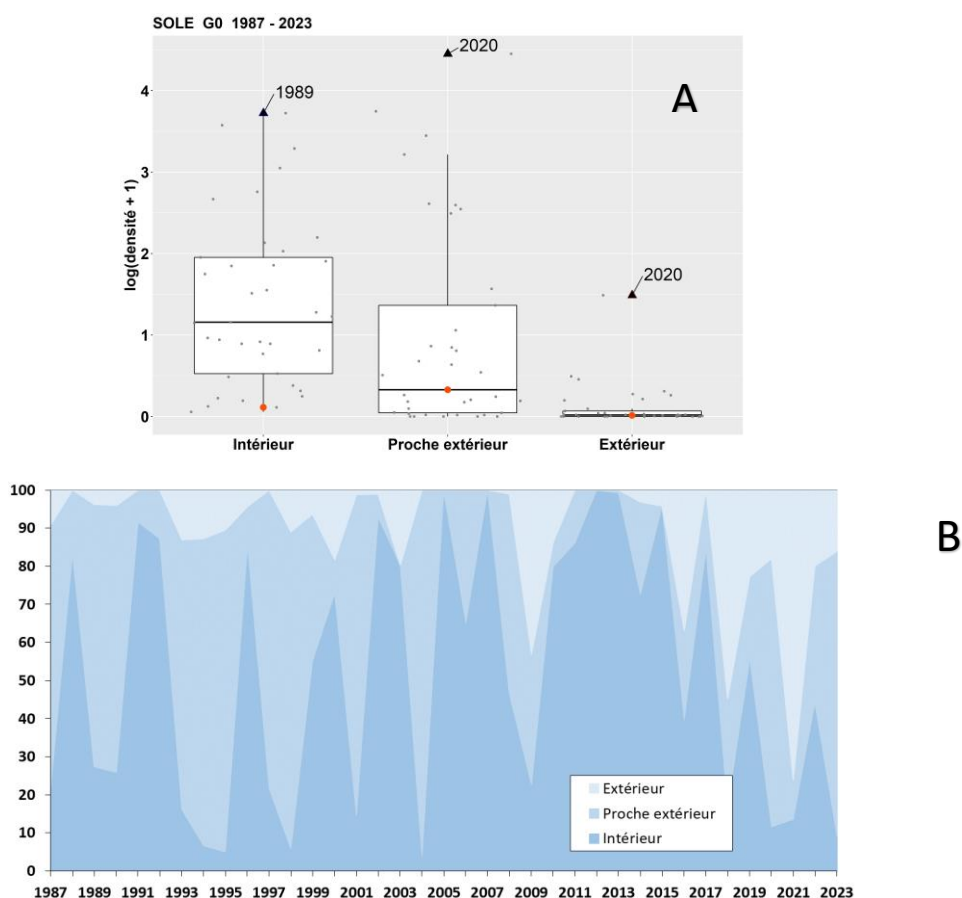


Figure C-12 : Répartition de l'abondance par secteurs du groupe 0 de sole. A $\log(\text{densité}+1)$ - B Fréquence annuelle

Classiquement ces individus sont cantonnés dans ou aux abords extérieurs de la baie (Figure C-12.B). L'année 2023 confirme cela puisque l'indice le plus fort est observé dans la strate B positionnée en bordure de la baie de somme.

Cette année on remarque une concentration des individus du groupe 1 dans les strates A et C. Les abondances y sont bien supérieures au reste de la zone puisqu'elles représentent respectivement 61,93 et 32,4% des abondances totales (ANNEXE C-10). Comme en 2021, aucun individu n'a été capturé dans les strates E alors qu'il est fréquent d'en échantillonner dans la zone. Cela met en évidence une hétérogénéité de la distribution spatiale des densités alors que les juvéniles du groupe 1 ont en général une répartition dispersée sur l'ensemble des zones échantillonnées. L'indice d'abondance global est de 0,08 ind./1000 m² et représente 53% de la population de sole observée lors de la campagne.

Comme en 2022, aucun individu des groupes d'âges 2 et plus n'a été capturé.

C.2.4.1.2 La plie (*P. platessa*)

La plie est très commune en Manche où elle vit sur les fonds sableux souvent grossiers. Après une migration vers la côte, les juvéniles se concentrent dans des eaux peu profondes et turbides des nourriceries.

La densité en nombre d'individus par 1000 m² (ANNEXE C-6) sur l'ensemble de la zone prospectée est de 0,79 (Figure C-11). Le cumul des captures des strates A et C représente presque 60% de l'abondance (ANNEXE C-2) totale. La plie correspond à 17% des captures totales (ANNEXE C-8) des poissons commerciaux.

L'abondance globale de cette année est en dessous de la tendance observée depuis 1987 comme cela est généralement le cas depuis 2002. Contrairement à la période antérieure, il existe généralement peu de variabilité des densités entre les zones.

L'indice d'abondance du groupe 0 est globalement de 0,47 ind./1000 m² (ANNEXE C-9). C'est au niveau des eaux peu profondes que les densités du groupe 0 (ANNEXE C-2) sont souvent les plus importantes. Les abondances observées sont de 1,9 ind./1000 m² dans la strate E. Cette strate ne représente que 21,1% des captures de ce groupe d'âge cette année, alors que les strates B et C situées plus au large concentrent respectivement 41,3 et 33,7% du total de l'indice. Celui calculé pour la strate A ne participe qu'à 3,9% de l'estimation de l'indice global (ANNEXE C-10).

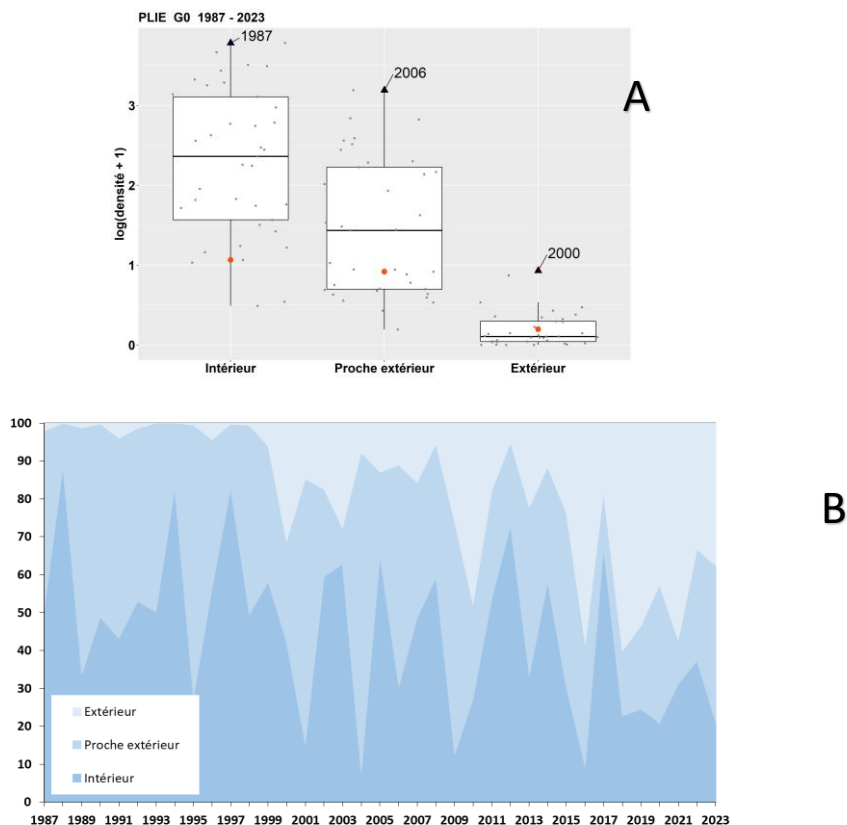


Figure C-13 : Répartition de l'abondance par secteurs du groupe 0 de plie. A $\log(\text{densité} + 1)$ - B Fréquence annuelle

Le groupe 1 présente une abondance totale de 0,27 ind./1000 m² (ANNEXE C-9). La strate dominante en densités est la zone A qui représente 70% des captures de ce groupe d'âge (ANNEXE C-9). Il est proche de celui enregistré lors des deux campagnes précédentes (Figure C-11) et en dessous de la moyenne historique.

Les poissons plus âgés (groupes 2 et +) fréquentent généralement les zones situées à l'extérieur de la baie. Cette année, les individus ont bien été observés en plus grande quantité dans la strate A avec des densités de 0,22 ind./1000m² (ANNEXE C-9) pour les poissons de deux ans.

C.2.4.1.3 La limande (*L. limanda*)

La limande se reproduit surtout de février à avril, sensiblement à la même époque que la sole et les larves, poussées par les vents dominants et les courants se retrouvent généralement à la côte au printemps.

Cette année, la densité en nombre d'individus par 1000 m² (ANNEXE C-6) sur l'ensemble de la zone prospectée est de 2,09 ind./1000m². Le cumul des captures des strates B et C représente plus de 98% des limandes pêchées cette année (

ANNEXE C-7). Cette espèce constitue 46% des captures totales des poissons commerciaux (ANNEXE C-8).

L'abondance globale enregistrée cette année est légère hausse portée par le groupe 0. Comme pour la plie, la variabilité importante de l'abondance entre les strates dont la moyenne diminue jusqu'en 2002 ont évoluées vers des valeurs généralement plus faibles avec une moyenne souvent en dessous de la

tendance interannuelle. Il faut noter qu'une partie importante des traits ne comporte pas de capture et que dans les autres, il est rare d'identifier plus de deux individus.

C'est dans la strate du proche extérieur (Figure C-14) que les densités annuelles du groupe 0 sont généralement les plus fortes, c'est encore le cas cette année puisque la zone regroupe 60% des captures. Les autres groupes d'âge se retrouvent dans les mêmes secteurs et sont absents de la zone du large et de l'intérieur de la baie. L'indice calculé sur l'ensemble de la zone des juvéniles de deux ans est de 0,05 ind./1000 m² (ANNEXE C-9).

Aucun individu de plus de trois ans n'a été pêché pendant la campagne.

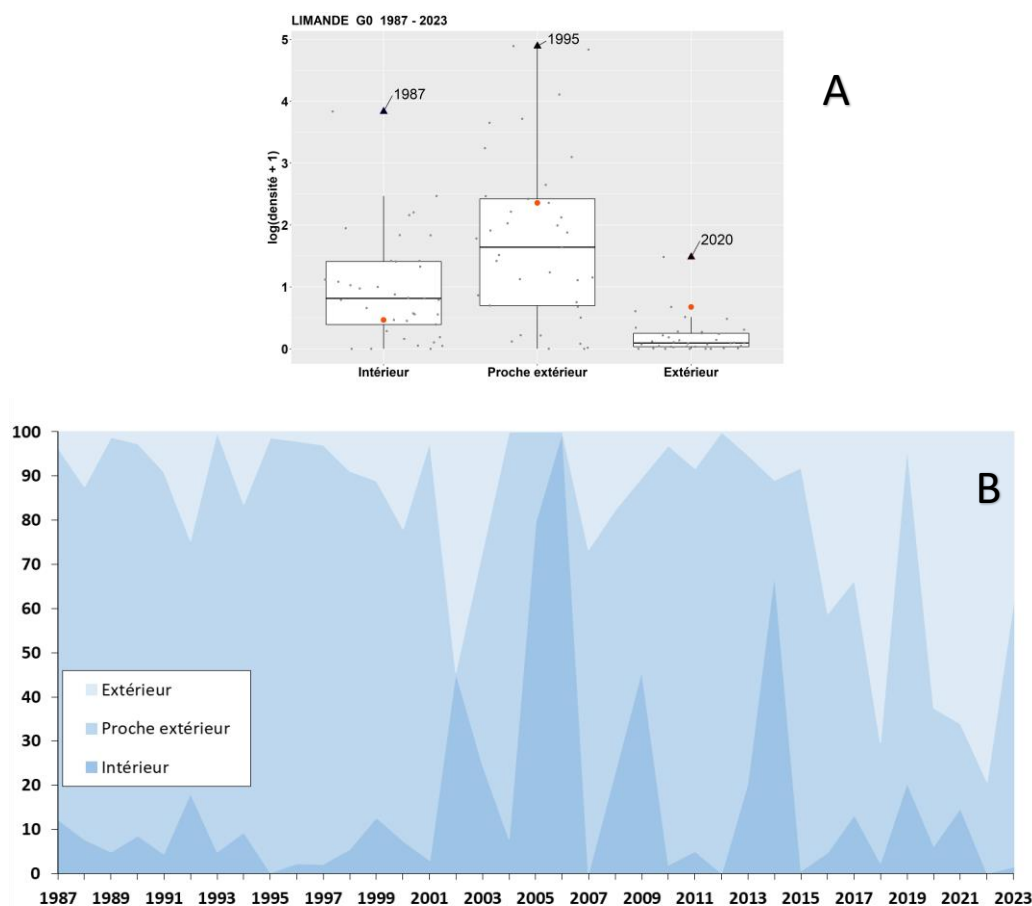


Figure C-14 : Répartition de l'abondance par secteurs du groupe 0 de limande. A) log(densité+1) - B) Fréquence annuelle.

C.2.4.2 Les poissons pélagiques

C.2.4.2.1 Le sprat (*S. sprattus*)

Quelques sprats du groupe 0 ont été capturés dans les strates les plus côtières (ANNEXE C-9) au point de ne représenter que 0,9% des captures commerciales.

C.2.4.2.2 La sardine (*S. pilchardus*)

Aucune sardine n'a été capturée pendant la campagne (ANNEXE C-9).

C.2.4.3 Autres espèces commerciales

L'abondance relative des autres espèces commerciales est présentée dans l'ANNEXE C-8. Elle représente 32% de l'indice global de la communauté observée par le chalut à perche sur l'ensemble du secteur échantillonné.

C.2.4.4 Les crustacés

C.2.4.4.1 La crevette grise (C. crangon)

Cette espèce commune en Manche sur les fonds sablo-vaseux côtiers présente une croissance rapide et un taux de renouvellement important. Les auteurs, en règle générale, s'accordent pour estimer que la crevette grise peut avoir plusieurs périodes de ponte dans l'année, d'une à trois (Tiews, 1967, Meixner, 1968). Sa durée de vie maximale ne semble pas dépasser 5 ans.

Lors de cette dernière campagne, la densité moyenne globale sur l'ensemble du secteur est de 834 ind./1000 m² (ANNEXE C-11). Cet indice est bien au-dessus des valeurs moyennes (Figure C-11) enregistrées depuis le début de la série historique. L'essentiel des captures totales a été réalisé à l'intérieur de la baie de Somme ou son proche extérieur (strate 2). L'indice le plus important est celui de la classe intermédiaire (31-53) avec 354 ind./1000 m² dans la strate 0, mais cette catégorie est aussi très bien représentée dans d'autres strates. Elle compose généralement la partie majoritaire de cette population et représente encore cette année un peu plus de 69% des captures totales (ANNEXE C-12). Il est important de noter que la catégorie supérieure est elle aussi bien présente sur 8 des 10 strates échantillonnées ce qui renforce la présence d'adultes et notamment une forte proportion de femelles matures.

Les plus grands individus sont essentiellement capturés dans les strates 3 et 9.

C.2.4.4.2 L'étrille (N. puber)

L'étrille est un crabe très commun en Manche et en Atlantique, qui donne lieu par endroits à une pêche artisanale. À l'âge d'un an, leur longueur céphalothoracique est d'environ 30 mm (Wilhelm, 1995).

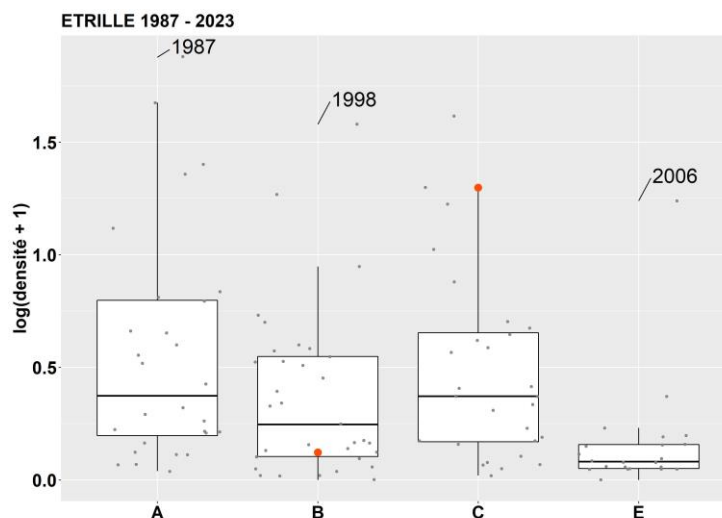


Figure C-15 : Répartition de l'abondance de l'étrille par strates

Cette année, les captures les plus importantes sont observées dans la strate C (Figure C-15) avec une densité de 2,7 ind./1000 m² (ANNEXE C-6). Cette valeur est l'une des plus importantes de la série historique. Cela représente un peu moins de 98% de l'abondance totale de cette espèce. Aucun individu n'a été pêché dans les strates A et E.

C.2.5 CONCLUSIONS

Les conditions météorologiques étant particulièrement favorables pendant la campagne de prospection, la stratégie d'échantillonnage de la macrofaune halieutique a été maintenue et le plan d'échantillonnage prévu a pu être réalisé en totalité cette année.

Globalement cette année les indices d'abondance des poissons plats sont aux proches des plus bas historiques.

L'indice de sole est particulièrement faible et la population ne représente que 3,2% des espèces commerciales cette année. La répartition spatiale de ce dernier semble correspondre à ce qui était généralement observé à cette période de l'année. En effet les juvéniles de soles du groupe 0 sont généralement capturés dans la baie de Somme.

L'indice de plie est à nouveau très faible, mais reste comparable aux trois dernières années ainsi qu'à des périodes beaucoup plus longues. Il est toutefois en dessous de la valeur moyenne des vingt dernières années. Les strates extérieures composent souvent depuis 2016 plus de 50% de l'indice global d'abondance alors que ce dernier dépassait rarement les 15% lors des campagnes antérieures.

L'indice de la limande, représenté principalement par le groupe 0 cette année encore, est en légère augmentation.

L'étrille est majoritairement capturée dans la strate C.

La densité globale de la crevette grise observée cette année fait partie des bons indices enregistrés depuis le début des campagnes de prospections. La population est essentiellement composée par la classe 31-53 mm que l'on retrouve comme les années antérieures, à l'intérieur de la baie de Somme ou à son bord immédiat. Il est important aussi de noter que la classe supérieure représente une proportion non négligeable dans laquelle on retrouve majoritairement des individus matures. Ces géniteurs pourraient aider à constituer une population de juvéniles plus importante. Enfin une diminution régulière des captures est aussi enregistrée sur une période beaucoup plus longue en baie de Somme comme dans l'estuaire de la Seine.

D'une manière générale et en dehors des résultats exceptionnels de l'année 2020 il n'existe pas de tendance particulière pour la sole sur l'ensemble de la série historique. En ce qui concerne les deux autres espèces de poissons plats il semble qu'il y ait une différence d'abondance avant et après le début des années 2000. Cela est plus marqué pour la limande dont la densité moyenne a sensiblement diminué entre 1987 et 2001. Les espèces de poissons étudiées dans le cadre de la surveillance appartiennent toutes à la guildes écologique des migrants marins dont les stocks dépassent largement le cadre de la zone prospectée. L'abondance de ces espèces dans la zone étudiée à un stade juvénile peut donc varier de façon importante d'une année sur l'autre.

En conclusion, le suivi halieutique réalisé à proximité du CNPE de PENLY en 2023 ne permet pas de mettre en évidence l'influence particulière du fonctionnement du CNPE sur le domaine halieutique.

D CONCLUSION GENERALE

D.1 Les particularités environnementales

Cette année 2023 est la plus chaude enregistrée à Dieppe depuis 1951, elle se classe donc au **premier rang des années les plus chaudes** avec une température moyenne annuelle de 12,5 °C et un **écart à la normale 1981-2010 de +1,6 degrés**, très peu devant 2022 avec 12,4 °C. Il s'agit de la dixième année consécutive où la température moyenne dépasse la valeur de référence 1981-2010. Les années les plus chaudes sont majoritairement des années très récentes : 9 des 10 années les plus chaudes depuis 1950 sont postérieures à 2010.

Après une année 2022 extrêmement sèche, **la pluviométrie en moyenne sur l'année 2023 est proche de la normale**, avec néanmoins de forts contrastes nord- sud. Sur Dieppe, avec 954 mm cumulés, la pluviométrie annuelle est excédentaire de 20 % par rapport à la valeur de référence 1981-2010 (798,2 mm). Malgré un mois de février très sec et à la faveur d'un mois de novembre particulièrement pluvieux, le cumul de précipitations de l'année 2023 occupe le 6e rang des années les plus pluvieuses sur une série de 38 années (de 1986 à 2023).

D.2 Compartiment pélagique

D.2.1 HYDROLOGIE, PHYSICO-CHIMIE, CHIMIE

En 2023, les paramètres suivis au CNPE de Penly ne montrent pas de profils inhabituels par rapport aux années précédentes. Les différences spatiales entre les points de suivi traduisent un gradient côte-large typique de la variabilité naturelle à Penly. Pour Dieppe, 2023 est l'année la plus chaude depuis 1951, avec une température moyenne annuelle de 12,5°C, légèrement au-dessus de 2022. Les **températures** de l'eau de mer près du CNPE sont supérieures à la normale, expliquées en partie par l'inertie thermique des masses d'eau marines.

Les **salinités** estivales sont plus élevées que celles du printemps et de l'automne, liées à des épisodes pluvieux précédents. Un gradient de la côte vers le large est observé toute l'année, reflétant une influence plus marquée de l'eau douce près de la côte. Les mesures d'**oxygène dissous** sont conformes aux attentes, sans observation d'hypoxie ou d'anoxie.

Les concentrations de **sels nutritifs** sont proches de la médiane historique pour les éléments azotés, suivant un cycle saisonnier lié au phytoplancton. Les matières en suspension sont élevées, surtout au printemps, avec des valeurs exceptionnelles au point Référence. La turbidité montre des valeurs similaires, bien que la relation avec les matières en suspension soit complexe.

Les **substances chimiques** restent inférieures aux seuils de détection. Une légère augmentation de la température de l'eau est observée près du point de rejet, mais reste limitée géographiquement. Les activités du CNPE n'impactent pas la distribution ni les variations saisonnières des paramètres étudiés, laissant les caractéristiques hydrologiques du milieu inchangées.

Les caractéristiques hydrologiques intrinsèques du milieu ne montrent aucun signe de déséquilibre pouvant être relié aux activités du CNPE.

D.2.2 PHYTOPLANCTON

L'année 2023 apparaît comme une année marquée par de faibles valeurs de biomasse, de production primaire potentielle, où l'état physiologique du peuplement phytoplanctonique est globalement mauvais en été et à l'automne sur les points Contrôle et Rejet. Ceci s'accompagne de faibles abondances du phytoplancton mesurées, notamment en été, sur les points *Canal* et *Référence*. Au printemps (mars et avril) l'ensoleillement est déficitaire, ce qui peut expliquer le faible développement du phytoplancton (biomasse et abondance) à cette saison d'habitude très productive. La forte

concentration observée pour certains sels nutritifs (azote inorganique et silicates) peut résulter de la faible consommation de ceux-ci par le phytoplancton.

A l'instar des années précédentes, l'année 2023 est caractérisée par une large dominance des diatomées sur l'ensemble des points d'échantillonnage à proximité du CNPE de Penly. Les espèces dénombrées sont communément observées sur la zone. Le cycle saisonnier du phytoplancton, ainsi que la structure des communautés phytoplanctoniques observées en 2023 ne présentent pas de caractéristiques pouvant mettre en cause l'activité du CNPE de Penly. La variabilité spatio-temporelle observée est principalement liée à l'évolution des conditions environnementales (e.g. concentrations en sels nutritifs, lumière, turbulence) le long du gradient côte large. Ainsi, l'évolution dans le temps de ces paramètres semble cohérente avec les connaissances que nous avons de ces paramètres en Manche.

L'étude des paramètres suivis dans le compartiment phytoplanctonique ne met pas en évidence une influence des activités du CNPE de Penly sur le milieu marin environnant.

D.2.3 ZOOPLANCTON

Les données historiques acquises depuis 1987 indiquent que la biomasse sestonique ne présente pas de différence significative entre les points de prélèvement, quelle que soit la saison considérée, au contraire des abondances. Cela confirme que le paramètre biomasse sestonique ne constitue pas une bonne approximation de la biomasse ou l'abondance zooplanctonique. Au mieux, nous donne-t-il une appréciation de la charge particulaire (seston > 100 µm) sur le site lors des prélèvements.

La distribution spatiale et les abondances 2023 étaient conformes aux valeurs moyennes historiques. Celles-ci montrent justement que les abondances au point *Canal* sont significativement plus faibles par rapport aux autres points de prélèvement, notamment pour les copépodes. La situation géographique particulière de ce point (faible profondeur, enclavement) et une charge particulaire plus importante (turbidité, apports terrigènes) expliquent ces faibles abondances.

La composition et la succession des espèces restent classiques. Le méroplancton est plus abondant au printemps et l'holoplancton domine largement le zooplancton en été et à l'automne. Comme toujours en milieu côtier tempéré, l'holoplancton est essentiellement caractérisé par les copépodes. La diversité spécifique de ce groupe reste faible et composée en général de moins d'une dizaine d'espèces dont une seule peut représenter plus des trois quarts du peuplement.

Chacune des espèces zooplanctoniques observées cette année respecte, pour ce que peut montrer cette analyse de trois campagnes annuelles, sa répartition saisonnière habituelle et est caractéristique des milieux tempérés de la Manche et de la baie sud de la Mer du Nord. **La variabilité spatio-temporelle de la population zooplanctonique lors des trois campagnes annuelles 2023 ne permet donc pas de mettre en évidence une évolution anormale du milieu récepteur qui pourrait être due au fonctionnement du CNPE de Penly.**

D.2.4 MICROBIOLOGIE

Dans le domaine de la microbiologie, on retrouve en 2023 des résultats se situant dans la gamme des observations historiques. C'est particulièrement le cas pour les Germes Totaux caractérisés par une grande homogénéité spatiale comme temporelle autour de la médiane historique. Il en est de même pour les germes aérobies revivifiables avec toutefois un signal un peu élevé (4 400 n/mL) sur le point Rejet en été. Les vibrions halophiles, indétectables en début d'année, se sont progressivement développés pour atteindre leurs niveaux les plus élevés en été pour les points Canal et rejet et être présents sur les 4 points de suivi à l'automne. À noter que le maximum historique pour PENLY a été observé au point *Canal* lors de la campagne d'été (8 000 UFC/L).

L'étude des paramètres du compartiment microbiologique n'a pas mis en évidence, au cours de l'année 2023, de résultats particuliers pouvant être liés à l'activité du CNPE de Penly.

D.3 Le compartiment halieutique

D.3.1 ICTHYOPLANCTON

Comme pour les années précédentes, sur les cinq espèces ciblées de l'ichtyoplancton, la sole et le sprat étaient les plus abondants sur le site du CNPE de Penly en 2023.

Pour ces deux espèces, l'année 2023 montrait des abondances globalement plus faibles que les cinq dernières années. Pour le sprat, les abondances restent inférieures aux maximums déjà observés dans les années 90. Cependant, la comparaison interannuelle des abondances reste délicate du fait du décalage probable, entre les années, de la période de ponte des espèces cibles en fonction des conditions environnementales. Le nombre limité de campagnes d'échantillonnage ne permettant pas de couvrir toute la période de présence des œufs et larves, ceci peut conduire à une interprétation erronée des abondances observées d'une année à l'autre.

La limande et la sardine ne sont pas des espèces abondantes aux stades œufs (pour la limande) et larves (pour les deux espèces) sur le site du CNPE de Penly pendant la période de prélèvement. Même si cette année fait figure d'exception pour les œufs de limande où l'on observe potentiellement une abondance importante sur le point contrôle. Il faut rappeler que pour la limande, un doute important subsiste quant à l'identification visuelle des œufs. Ces œufs peuvent être confondus avec ceux de flet, particulièrement pour le stade 'Non Embryonné'. Seule l'analyse moléculaire permet de séparer clairement les deux espèces. Pour la sardine, les faibles abondances de larves peuvent être expliquées par la reproduction plus tardive de cette espèce par rapport aux autres. Comme pour les années précédentes, il faut noter une quantité non négligeable d'œufs et de larves d'autres espèces présentes dans les échantillons collectés ainsi que l'absence d'œufs et de larves de plie.

La variabilité spatio-temporelle de la population ichtyoplanctonique lors des quatre campagnes annuelles 2023 ne permet donc pas de mettre en évidence une évolution anormale du milieu récepteur pouvant être reliée au fonctionnement du CNPE de Penly.

D.3.2 MACROFAUNE

Les conditions météorologiques étant particulièrement favorables pendant la campagne de prospection, la stratégie d'échantillonnage de la macrofaune halieutique a été maintenue et le plan d'échantillonnage prévu a pu être réalisé en totalité cette année.

Cette année l'indice d'abondance des espèces de poissons plats diminue par rapport à l'année passée. Sur une période plus longue ceux-ci sont en dessous de la moyenne et atteignent parfois les plus bas historiques.

D'une manière générale et en dehors des résultats exceptionnels de l'année 2020, il n'existe pas de tendance particulière pour la sole sur l'ensemble de la série historique. En ce qui concerne les deux autres espèces de poissons plats, il semble qu'il y ait une différence d'abondance avant et après le début des années 2000. Cela est plus marqué pour la limande dont la densité moyenne a sensiblement diminué entre 1987 et 2001. Les espèces de poissons étudiées dans le cadre de la surveillance appartiennent toutes à la guildes écologiques des migrants marins dont les stocks dépassent largement le cadre de la zone prospectée. L'abondance de ces espèces dans la zone étudiée à un stade juvénile peut donc varier de façon importante d'une année sur l'autre.

En ce qui concerne la crevette grise, les abondances sont faibles, mais bien supérieures à ce qui est observé dans d'autres secteurs de nourriceries comme celle de la baie de Seine par exemple.

En conclusion, le suivi halieutique réalisé à proximité du CNPE de PENLY en 2023 ne permet pas de mettre en évidence l'influence particulière du fonctionnement du CNPE sur le domaine halieutique.

La surveillance réalisée à proximité du CNPE de PENLY en 2023 ne permet pas de mettre en évidence l'influence particulière du fonctionnement du CNPE sur le domaine halieutique.

D.4 Conclusion générale

En conclusion, la variabilité spatiale et temporelle des paramètres pélagiques et halieutiques suivis dans le cadre de la surveillance réglementaire du CNPE de Penly en 2023 ne montrent pas d'évolution ou de comportement atypique pouvant être mis en relation directe avec le fonctionnement du CNPE.

BIBLIOGRAPHIE

Références bibliographiques

ZOOPLANCTON

- Biddanda B and 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
- 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
- Chéramy J. Lefebvre A (1991). Autoécologie et éthologie de l'annélide polychète *Polydora ciliata* (Johnson, 1828). Synthèse bibliographique. Rapport Ifremer DEL/BL/TMR/02/01, 37p
- 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
- Fraser JH (1968) Smaller mesozooplankton, report of Working Party No,1. In: Tranter DJ (ed), Standardization of zooplankton sampling methods at sea, Part II. Monogr. Oceanogr. Methodol. 2, Zooplankton Sampling. UNESCO (United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization) Press, Paris, pp 153-159.
- Gorsky G, Ohman MD, Picheral M, Gasparini S, Stemmann L, Romagnan J-B., Cawood A, Pesant S, Garcia-Comas C and Prejger F (2010). Digital zooplankton image analysis using the ZooScan integrated system. *J. Plankton Res.*, 32, 285–303
- Martin J (2001). Les larves des crustacés décapodes des côtes françaises de la Manche. IFREMER, France, pp. 175.
- 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.
- Mauchline J (1998). The biology of calanoid copepods. *Advances in Marine Biology* 33: 1-710
- Motoda S (1959). Devices of simple plankton apparatus. *Memoirs. Faculty of Fisheries. Hokkaido University* 7, 73-94.
- 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): 4.
- Rose M (1933). *Faune de France*, 26. Copépodes pélagiques. Ed. Lechevalier, Paris, pp. 374.
- Todd CD, Laverrack MS, Boxshall GA (1996) *Coastal marine zooplankton – a practical manual for students*. Cambridge University Press, pp. 106.

ICHTYOPLANCTON

- 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* 32, 1527-1539.
- Lelièvre, S., Jérôme, M., Maes, G.E., Calaivany, S., Vaz, S., Verrez-Bagnis, V., 2012. Integrating molecular identification of pelagic eggs with geostatistical mapping to improve the delineation of North Sea fish spawning grounds. *Marine Ecology Progress Series*. 445, 161-172.
- 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.

Russel, F.S. 1976. The Eggs and Planktonic Stages of British Marine Fishes. Academic Press, London-New York-San Francisco, 524 pp.

Smith P.E., Richardson S. 1977. Standard techniques for pelagic fish egg and larval surveys. FAO Fisheries Technics Pap. 175:100 pp.

MACROFAUNE

Riley, J.D., Symonds, J., Wollner, L., 1981. On the factors influencing the distribution of 0 groupdemersal fish in coastal waters. Rapp P-V Réun Cons Int Explor Mer 223–228.

Références historiques de la surveillance :

ANTAJAN, E., M.-L. COCHARD, L. FIANT, C. LOOTS, and P. MONBET. 2011. Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Penly. Année 2010 - Rapport scientifique annuel.

ANTOINE, L. 1976. Etude écologique d'avant-projet sur le site de: Penly. Pays de Caux. archimer.ifremer.fr.

ARBAULT, S., J. BEAUDOIN, and N. LACROIX. 1980. Etude halieutique de projet de site Penly (Seine-Maritime). Rapport sur le premier cycle annuel. Zooplanctonologie.

ARBAULT, S., J. BEAUDOIN, and N. LACROIX. 1986. Etude halieutique de projet de site Penly (Seine-Maritime). Rapport de fin d'étude. 1ère partie. Zooplanctonologie halieutique.

ARBAULT, S., J. BEAUDOIN, N. LACROIX, and G. DESCHAMPS. 1977. Etude halieutique complémentaire d'avant-projet de site Penly (Seine-Maritime).

ARBAULT, S., J. BEAUDOIN, N. LACROIX, and G. DESCHAMPS. 1978. Etude halieutique d'avant-projet de site Penly (Seine-Maritime). Rapport de synthèse. Volume I et II.

ARZUL, G., L. DREVES, E. L. DENN, P. CLABAUT, D. HALGAND, and ... 1993. Surveillance écologique et halieutique de l'environnement marin du site de la centrale de Penly (Manche Est) : année 1988.

ARZUL, G., E. ERARD-LE DENN, D. HALGAND, F. QUINIOU, A. TETARD, F. TOULARASTEL, and M.-C. VINCKE. 1992a. Surveillance écologique et halieutique de l'environnement marin du site de la centrale de Penly (Manche Est) : année 1989.

ARZUL, G., E. ERARD-LE DENN, D. HALGAND, F. QUINIOU, A. TETARD, F. TOULARASTEL, and M.-C. VINCKE. 1992b. Surveillance écologique et halieutique de l'environnement marin du site de la centrale de Penly (Manche Est) : année 1990.

ARZUL, G., E. ERARD-LE DENN, D. HALGAND, F. QUINIOU, A. TETARD, F. TOULARASTEL, and M.-C. VINCKE. 1992c. Surveillance écologique et halieutique de l'environnement marin du site de la centrale de Penly (Manche Est) : année 1991.

ARZUL, G., E. ERARD-LE DENN, F. QUINIOU, D. HALGAND, and A. TETARD. 1990. Surveillance écologique et halieutique de l'environnement marin du site de la centrale de Penly (Manche est) : année 1987.

DESCHAMPS, G. 1976. Etude halieutique d'avant-projet du site de Penly (Seine-Maritime).

DESCHAMPS, G., M. GIRET, B. LIORZOU, and A. TETARD. 1981. Étude halieutique de projet de site PENLY (Seine-maritime)-Rapport sur deux cycles annuels II ème Partie-Pêche et biologie des espèces. archimer.ifremer.fr.

DEWARUMEZ, J. M., M. LUNVEN, and F. TOULARASTEL. 1984. Etude de la croissance des moules sur trois sites de centrales nucléaires. Gravelines-Penly-Plogoff. archimer.ifremer.fr.

GUILLAUMONT, B., D. HAMON, and L. DREVES. 1983. Etude écologique de projet. Site de Penly, 2e cycle.

HALGAND, D., G. ARZUL, M.-L. COCHARD, and E. ERARD-LE DENN. 1998. Surveillance écologique et halieutique de l'environnement marin du site de la centrale de Penly (Manche Est) : année 1997. non archivé.

- HALGAND, D., G. ARZUL, M.-L. COCHARD, E. ERARD-LE DENN, J. HUET, L. DOROBISZ, and M. RUMEBE. 2001. Surveillance écologique et halieutique de l'environnement marin du site de la centrale de Penly (Manche est) : année 2000.
- HALGAND, D., G. ARZUL, M.-L. COCHARD, E. ERARD-LE DENN, J. HUET, J. LE CLAIRE, and F. QUINIOU. 1999. Surveillance écologique et halieutique de l'environnement marin du site de la centrale de Penly (Manche Est) : année 1998.
- HALGAND, D., G. ARZUL, M.-L. COCHARD, E. ERARD-LE DENN, J. HUET, J. LE CLAIRE, and F. QUINIOU. 2000. Surveillance écologique et halieutique de l'environnement marin du site de la centrale de Penly (Manche est) : année 1999.
- HALGAND, D., G. ARZUL, E. ERARD-LE DENN, L. FIANT, J. HUET, F. QUINIOU, and J. LE CLAIRE. 1997. Surveillance écologique et halieutique de l'environnement marin du site de la centrale de Penly (Manche Est) : année 1996. 54397.
- HALGAND, D., G. ARZUL, E. ERARD-LE DENN, L. FIANT, J. HUET, F. QUINIOU, and F. ROGER. 1995. Surveillance écologique et halieutique de l'environnement marin du site de la centrale de Penly (Manche Est) : année 1994. 54395.
- HALGAND, D., G. ARZUL, E. ERARD-LE DENN, L. FIANT, J. HUET, F. QUINIOU, and F. ROGER. 1996. Surveillance écologique et halieutique de l'environnement marin du site de la centrale de Penly (Manche Est) : année 1995. 54396.
- HALGAND, D., G. ARZUL, E. ERARD-LE DENN, L. FIANT, J. HUET, F. QUINIOU, F. ROGER, and A. TETARD. 1994a. Surveillance écologique et halieutique de l'environnement marin du site de la centrale de Penly (Manche Est) : année 1992.
- HALGAND, D., G. ARZUL, E. ERARD-LE DENN, L. FIANT, J. HUET, F. QUINIOU, F. ROGER, and A. TETARD. 1994b. Surveillance écologique et halieutique de l'environnement marin du site de la centrale de Penly (Manche Est) : année 1993. 54394.
- HALGAND, D., J.-M. BRYLINSKI, M.-L. COCHARD, F. DAGAULT, J. HUET, L. LAMPERT, and D. VINCENT. 2006. Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Penly. Année 2005 - Rapport scientifique annuel.
- HALGAND, D., J.-M. BRYLINSKI, M.-L. COCHARD, F. DAGAULT, J. HUET, L. LAMPERT, and D. VINCENT. 2007. Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Penly. Année 2006 - Rapport scientifique annuel.
- HALGAND, D., M.-L. COCHARD, L. DOROBISZ, J. HUET, L. LAMPERT, and M. RUMEBE. 2003. Surveillance écologique et halieutique de l'environnement marin du site de la centrale de Penly (Manche est) : année 2002.
- HALGAND, D., M.-L. COCHARD, L. DOROBISZ, J. HUET, P. MONBET, M. RUMEBE, and H. THILLAYE DU BOULLAY. 2002. Surveillance écologique et halieutique de l'environnement marin du site de la centrale de Penly (Manche est) : année 2001.
- HALGAND, D., M.-L. COCHARD, J. HUET, L. LAMPERT, and F. DAGAULT. 2005. Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Penly. Année 2004 - Rapport scientifique annuel.
- HALGAND, D., M. RUMEBE, M.-L. COCHARD, J. HUET, and L. LAMPERT. 2004. Surveillance écologique et halieutique de l'environnement marin du site de la centrale de Penly (Manche est) : année 2003. Report, FRANCE.
- LOARER, R., and L. A. ROMANA. 1983. Etude écologique de projet. 1er cycle. Site de Penly. Rapport général. Volume 1. archimer.ifremer.fr.
- PERONNET, I., and A. TETARD. 1983. Etude halieutique de site PENLY (Seine-Maritime) -Étude complémentaire de la nourricerie de poissons plats-1er juin 1981-31 mai 1982-Pêche et biologie des archimer.ifremer.fr.
- PERONNET, I., and A. TETARD. 1984. Etude halieutique de site. PENLY (Seine Maritime). Etude complémentaire de la nourricerie de poissons plats. 1er juin 1983-31 mai 1984. Pêche et biologie des archimer.ifremer.fr.

- SCHLAICH, I., E. ANTAJAN, A. BAEHR, D. DEVREKER, S. FRANCOISE, C. LOOTS, E. RABILLER, and M. SCHAPIRA. 2014. Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Penly. Année 2013 - Rapport scientifique annuel. Ifremer.
- SCHLAICH, I., E. ANTAJAN, M.-L. COCHARD, P. CLAQUIN, P. MONBET, and C. WAREMBOURG. 2010. Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Penly. Année 2009 - Rapport scientifique annuel.
- SCHLAICH, I., E. ANTAJAN, M.-L. COCHARD, S. FRANCOISE, C. LOOTS, and P. MONBET. 2012. Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Penly. Année 2011 - Rapport scientifique annuel.
- SCHLAICH, I., E. ANTAJAN, M.-L. COCHARD, L. LAMPERT, P. MONBET, and C. WAREMBOURG. 2009. Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Penly. Année 2008 - Rapport scientifique annuel.
- SCHLAICH, I., E. ANTAJAN, M.-L. COCHARD, L. LAMPERT, and L. NOGUES. 2008. Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Penly. Année 2007 - Rapport scientifique annuel.
- SCHLAICH, I., E. ANTAJAN, S. FRANCOISE, C. LOOTS, L. LAMORT, F. MAHEUX, E. RABILLER, M. ROPERT, and B. SIMON. 2018. Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Penly. Année 2017 - Rapport scientifique annuel.
- SCHLAICH, I., E. ANTAJAN, S. FRANCOISE, C. LOOTS, F. MAHEUX, E. RABILLER, M. SCHAPIRA, and B. SIMON. 2017. Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Penly. Année 2016 - Rapport scientifique annuel.
- SCHLAICH, I., M.-L. COCHARD, S. FRANCOISE, C. LOOTS, D. DEVREKER, and P. MONBET. 2013. Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Penly. Année 2012 - Rapport scientifique annuel. Ifremer.
- SCHLAICH, I., B. SIMON, C. LOOTS, E. ANTAJAN, E. RABILLER, F. MAHEUX, M. SCHAPIRA, and S. FRANCOISE. 2015. Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Penly. Année 2014 - Rapport scientifique annuel. Ifremer.
- SCHLAICH, I., B. SIMON, C. LOOTS, E. ANTAJAN, E. RABILLER, F. MAHEUX, M. SCHAPIRA, and S. FRANCOISE. 2016. Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Penly. Année 2015 - Rapport scientifique annuel.
- SERET, B., G. LE FEVRE, R. LOARER, J.-Y. QUINTIN, M. RYCKAERT, and F. TOULARASTEL. 1977. Etude écologique d'avant-projet sur le site de Penly: le milieu pélagique. Page 79. archimer.ifremer.fr.
- Valorisation (Publications, Poster, Articles, ...)
- AUBERT, A., F. GOHIN, N. GOASCOZ, and I. SCHLAICH. 2017. Decline of cold-water fish species in the Bay of Somme (English Channel, France) in response to ocean warming. Elsevier.
- AUBERT, A., D. MOUILLOT, N. GOASCOZ, I. SCHLAICH, and ... 2019. Functional reorganization of marine fish nurseries under climate warming. *Global change ...* Wiley Online Library.
- COCHARD, M.-L. 2002. Manuel des protocoles de campagne halieutique. Campagnes IGA - Penly : Macrofaune halieutique.
- DREVES, L., 2010. Question du débat public relatif au projet d'implantation d'un réacteur électronucléaire de type EPR à Penly.
- DREVES, L., ABERNOT-LE GAC, C., ANTAJAN, E., CLABAUT, P., CLAQUIN, P., COCHARD, M.-L., MONBET, P., MORIN, J., TETARD, A., WAREMBOURG, C., THILLAYE DU BOULLAY, H., 2010. Synthèse hydrobiologique du site électronucléaire de Penly (1976-2008).
- Hazevis, G. 2019. Harmonisation des suivis de la mégafaune invertébrée benthique sur les campagnes halieutiques de l'Ifremer.
- ICES. 2018. 01 WGNSSK Report 2018. ICES.
- ICES. 2019. 01 WGNSSK Report 2019. ICES.

- LAMPERT, L., and D. WOEHLING. 2007. Proposition pour une nouvelle stratégie de surveillance de la CNPE de PENLY dès 2008. Rapport scientifique. archimer.ifremer.fr.
- MACE, M. 2015. Dynamique spatio-temporelle des communautés ichthyologiques en baie de Somme : approche taxonomique et fonctionnelle. Mémoire de fin d'étude d'ingénieur Agrocampus Ouest. 37p.
- McLEAN, M., Functional responses of fish communities to environmental gradients in the North Sea, Eastern English Channel, and Bay of Somme. Ecology, environment. Université du Littoral Côte d'Opale, 2019. English. ffNNT : 2019DUNK0532ff. fftel-02384271
- MORIN, J., M. J. ROCHET, I. SCHLAICH, and J. C. MAHE. 2003. A multispecies dynamic indicator-based approach to the assessment of the impact of fishing on fish communities. ices.dk.
- MORIN, J., M. J. ROCHET, I. SCHLAICH, and MAHE, J.C. 2009. Grands invertébrés et poissons observés par les campagnes scientifiques. Bilan 2007. archimer.ifremer.fr.
- RIOU P. 1999. Etude des nourriceries côtières et estuariennes de sole (*Solea solea*) et de plie (*Pleuronectes platessa*) en manche est. Importance écologique de l'estuaire de seine. Thèse de doctorat en Sciences biologiques et fondamentales appliquées université de CAEN. 132p
- ROCHET, M.-J., V. TENKEL, R. BELLAIL, F. COPPIN, O. LE PAPE, J.-C. MAHE, J. MORIN, J.-C. POULARD, I. SCHLAICH, A. SOUPLET, Y. VERIN, and J. BERTRAND. 2005. Combining indicator trends to assess ongoing changes in exploited fish communities: diagnostic of communities off the coasts of France. ICES Journal of Marine Science 62(8):1647–1664. Oxford Academic.

GLOSSAIRE

Termes	Domaine	Définition
Benthos	BENTHIQUE	Ensemble des organismes présents sur ou dans le fond des eaux : par exemple, les macro-algues sont fixées au fond, elles font partie du benthos (note : les algues unicellulaires ou micro-algues flottent passivement et font donc partie du phytoplancton). Les mollusques, les crustacés, et les vers font aussi partie du benthos, même si leurs œufs sont planctoniques. Il en est de même avec les échinodermes
CNEXO	GENERAL	Centre National pour l'Exploitation des Océans (Fusionne le 5 juin 1984 avec l'ISTPM pour donner naissance à l'Ifremer)
Frustule	HYDROLOGIE / 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-à-d, caractéristiques morphologiques) ont longtemps été la base de la taxinomie des diatomées et constitue de nos jours l'élément principal observé en microscopie optique
Gram Positive/négative	MICROBIOLOGIE	C'est une 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 - on dit aussi « Gram positives » - 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)
Holoplancton	ZOOPLANCTON	Partie du zooplancton effectuant tout son cycle de vie dans la colonne d'eau
Ichtyoplancton	INTRODUCTION	Partie du zooplancton animale holoplanctonique comprenant les œufs et les larves de poissons
ISTPM	GENERAL	Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes (Fusionne le 5 juin 1984 avec le CNEXO pour donner naissance à l'Ifremer)
Masse d'eau	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 ⁽¹⁾
Méropiancton	ZOOPLANCTON	Partie du zooplancton n'effectuant qu'une partie de son cycle de vie dans la colonne d'eau
Milieu TCBS	MICROBIOLOGIE	La gélose TCBS est un milieu sélectif pour la recherche et l'isolement des vibrions pathogènes présents dans les prélèvements poly microbiens.
Milieu ZOBELL	MICROBIOLOGIE	Milieu de culture bactérienne utilisé pour la recherche des Gremes revivifiables.
Mixotrophie	PHYTOPLANCTON	Capacité qui ont certains organismes à utiliser plusieurs sources de carbone, par autotrophie et hétérotrophie, suivant les conditions environnementales. La mixotrophie est considérée comme un avantage quand la disponibilité en nutriments est limitée. Aujourd'hui, elle est principalement reconnue au sein des dinoflagellés et certains types de chrysophytes
morphotype	MICROBIOLOGIE	terme technique qui sert à désigner l'aspect d'une colonie bactérienne selon plusieurs critères de différenciation (taille, forme, couleur, rugosité, ...)
Nauplius / Nauplii	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 : <i>Nauplii</i>)
Ovigère	ZOOPLANCTON	Femelles de crustacés portant des œufs
Phytoplancton	PHYTOPLANCTON	Partie végétale du plancton

Termes	Domaine	Définition
Plancton	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
Seston	ZOOPLANCTON	Ensemble des particules, de toute nature, minérales, mortes ou vives, d'origine organique ou inorganique en suspension dans l'eau
Subtidal	BENTHIQUE	Zone située en-dessous de la zone de balancement des marées et ne découvrant donc jamais à marée basse
Successions phytoplanctoniques	PHYTOPLANCTON	Les espèces du phytoplancton exploitent différentes conditions environnementales de température, lumière, concentration en nutriments, ainsi, au cours de l'année plusieurs espèces se succèdent. Des modifications de l'environnement peuvent donc induire un changement dans ce cycle de succession d'espèces. Ainsi, la date à laquelle surviennent les efflorescences algales, leur amplitude et leur durée, peuvent être modifiées.
Téledétection	PHYTOPLANCTON	Permet d'obtenir des informations sur un objet à distance, par la mesure de la quantité d'énergie électromagnétique qu'il réfléchit en fonction des longueurs d'onde. Les technologies à disposition sont aujourd'hui très variées, allant de la simple photographie en couleur aux plateformes satellitaires ou aéroportées (avion, drone)
Zoobenthos	BENTHIQUE	Ensemble des organismes animaux vivant dans le domaine benthique (fond, substrat)
Zooplancton	ZOOPLANCTON	Plancton animal.

ABREVIATIONS

Abbréviations	Définitions
Chl α	Chlorophylle α
CIEM	Conseil International pour l'Exploration de la Mer (CIEM) ou The International Council For the Exploration of the Sea (ICES) est un organisme inter-gouvernemental créé en 1902 qui coordonne la recherche sur les ressources et l'environnement marins dans l'Atlantique nord-est (zone 27 de la FAO)
DYNECO	Unité Dynamiques des Écosystèmes Côtiers de l'Ifremer
GC-MS	« Gas chromatography-mass spectrometry », ou chromatographie en phase gazeuse, couplée à la spectrométrie de masse
GEMEL	Groupe d'Étude des Milieux Estuariens et Littoraux
HMMN	Unité Halieutique de Manche-Mer du Nord de l'Ifremer
HPLC	« High Performance Liquid Chromatography », ou Chromatographie liquide à haute performance
HPLC-MS	« High Performance Liquid Chromatography- mass spectrometry » = Chromatographie liquide à haute performance, couplée à la spectrométrie de masse
ICP/MS	Spectrométrie de masse à couplage inductif
ICP-AES	Inductively coupled plasma optical emission spectroscopy « ICP-OES or ICP-AES », ou Spectrométrie d'Emission Atomique
IGA	Impact des Grands Aménagements (acronyme historique interne Ifremer regroupant l'ensemble de la surveillance écologique pour EDF)
LABEO	Laboratoire d'analyses Frack Buncombe, Caen, (analyses microbiologiques et chimique)
LC/MS	« Liquid Chromatography / mass spectrometry » = Chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse
LC/MS/MS	« Liquid Chromatography / tandem mass spectrometry » = Chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem
LER-AR	Laboratoire Environnement Ressources d'Arcachon de l'Ifremer
LER-BL	Laboratoire Environnement Ressources de Boulogne-sur-Mer de l'Ifremer
LER-BN	Laboratoire Environnement Ressources de Bretagne Nord (Dinard) de l'Ifremer
LER-N	Laboratoire Environnement Ressource de Normandie de l'Ifremer
LICAAL	Laboratoire d'analyse de microbiologie
LRHBL	Laboratoire Ressources Halieutiques de Boulogne sur mer de l'Ifremer
LRHPB	Laboratoire Ressources Halieutiques de Port en Bessin de l'Ifremer
LSEM	Laboratoire Santé Environnement et Microbiologie de l'Ifremer
MES	Matières en suspension
ODE	Département Océanographie et Dynamique des Ecosystèmes de l'Ifremer
PCR	Polymerase Chain Reaction ou Réaction en chaîne par polymérase.
PPT ou PSU	Part Per Thousand : quantité en gramme de sel sec dissous dans 1 Kg d'eau de mer
PSU ou PPT	Unité de salinité (Practical Salinity Unit). 1PSU = 1 g de sel (NaCl) par Kg d'eau de mer
RBE	Département Ressources Biologiques et Environnement de l'Ifremer
SGS	Laboratoire d'analyses SGS , Rouen (Chimie)
UL	Unité Littoral du département ODE de l'Ifremer
WGCRAN	Working Groupe Crangon crangon (groupe de travail thématique) au sein du CIEM.

ANNEXES

ANNEXE A-1: Définition des classes de qualité de site des stations METEO-FRANCE.....	139
ANNEXE A-2 : Statistiques climatologiques inter-annuelles de DIEPPE (Source METEO-FRANCE)	140
ANNEXE B-1 : Récapitulatif des résultats de surveillance physico-chimique et chimique	142
ANNEXE B-2 : Récapitulatif des résultats de surveillance des paramètres PHYTOPLANCTON.....	143
ANNEXE C-1 : Densités moyennes de la sole par strates (nb / 1000 m ²) et pourcentages par rapport à l'abondance totale.....	145
ANNEXE C-2 : Densités moyennes de la plie par strates (nb / 1000 m ²) et pourcentages par rapport à l'abondance totale.....	146
ANNEXE C-3 : Densités moyennes de la limande par strates (nb / 1000 m ²) et pourcentages par rapport à l'abondance totale.....	147
ANNEXE C-4 : Densités moyennes de la crevette par strates (nb / 1000 m ²) et pourcentages par rapport à l'abondance totale.....	148
ANNEXE C-5 : Table des espèces commerciales capturées.	149
ANNEXE C-6 : Densités par strates et sur la totalité du secteur (en nombre d'individus par 1000m ²)	149
ANNEXE C-7 : Pourcentage de l'abondance des espèces par strate.....	150
ANNEXE C-8 : Pourcentage du nombre élevé des poissons commerciaux par strate et sur toute la zone	150
ANNEXE C-9 : Densités par groupes, strates et sur la totalité du secteur (en nombre d'individus par 1000m ²).....	151
ANNEXE C-10 : Pourcentage de l'abondance des espèces par groupe et par strate.....	151
ANNEXE C-11 : Densités de la crevette grise par strates et sur la totalité du secteur (en nombre d'individus par 1000 m ²	152
ANNEXE C-12 : Pourcentage de l'abondance de crevettes grises par strate et sur l'ensemble du secteur	152

A. ANNEXES ENVIRONNEMENT ET CLIMATOLOGIE

ANNEXE A-1: Définition des classes de qualité de site des stations METEO-FRANCE

Vent			
Réf.	Classe	Commentaires	
Nr35B	1	obstacles h > 4m doivent être situés à plus de 30 fois leur hauteur, classe rugosité < 4	
Nr35	1	obstacles h > 2m doivent être situés à plus de 10 fois leur hauteur	
Nr35B	2	obstacles h > 4m doivent être situés à plus de 10 fois leur hauteur, classe rugosité < 5	
Nr35	2	obstacles h > 3m doivent être situés à plus de 10 fois leur hauteur	
Nr35B	3	obstacles h > 4m doivent être situés à plus de 5 fois leur hauteur	
Nr35	3	obstacles h > 4m doivent être situés à plus de 5 fois leur hauteur	
Nr35B	4	obstacles h > 6m doivent être situés à plus de 2.5 fois leur hauteur	
Nr35	4	obstacles h > 6m doivent être situés à plus de 2.5 fois leur hauteur	
Nr35B	4S	hauteur de mesure non standard, applications particulières	
Nr35B	5	obstacles de hauteur > 8m dans un rayon de 25m	
Nr35	5	obstacles de hauteur > 8m dans un rayon de 25m	
Nr35B	5S	hauteur de mesure non standard, applications particulières	

Température			
Réf.	Classe	Commentaires	Ombres portées
Nr35B	1	sources chaleur ou étendues eau à plus de 100m, végétation < 10cm, terrain plat et horizontal	pas d ombres portées si hauteur soleil > 5°
Nr35	1	sources chaleur ou étendues eau à plus de 100m, végétation < 10cm, terrain plat et horizontal	pas d ombres portées si hauteur soleil > 3°
Nr35	2	sources chaleur ou étendues eau entre 30 et 100m, végétation < 25cm, terrain plat et horizontal	pas d ombres portées si hauteur soleil > 5°
Nr35B	2	sources chaleur ou étendues eau entre 30 et 100m, végétation < 25cm, terrain plat et horizontal	pas d ombres portées si hauteur soleil > 7°
Nr35B	3	sources chaleur ou étendues eau entre 10 et 30m, végétation < 25cm	pas d ombres portées si hauteur soleil > 7°
Nr35	3	sources chaleur ou étendues eau entre 10 et 30m, végétation < 25cm	pas d ombres portées si hauteur soleil > 5°
Nr35	4	sources chaleur ou étendues eau à moins de 10m	ombres portées présentes si hauteur soleil > 5°
Nr35B	4	sources chaleur ou étendues eau à moins de 10m	ombres portées présentes si hauteur soleil > 7°
Nr35	5	au milieu de sources de chaleur ou d étendues d eau	
Nr35B	5	au milieu de sources de chaleur ou d étendues d eau	

Rayonnement Global et/ou Diffus			
Réf.	Classe	Commentaires	Ombres portées
Nr35B	1	pas d obstacles avec hauteur angulaire > 5°	pas d ombres portées si hauteur soleil > 5°
Nr35	1	pas d obstacles avec hauteur angulaire > 5°	pas d ombres portées si hauteur soleil > 2°
Nr35B	2	pas d obstacles avec hauteur angulaire > 7°	pas d ombres portées si hauteur soleil > 7°
Nr35	2	pas d obstacles avec hauteur angulaire > 7°	pas d ombres portées si hauteur soleil > 5°
Nr35	3	pas d obstacles avec hauteur angulaire > 10°	pas d ombres portées si hauteur soleil > 7°
Nr35B	3	pas d obstacles avec hauteur angulaire > 15°	pas d ombres portées si hauteur soleil > 10°
Nr35B	4	obstacles avec hauteur angulaire > 10° présents	ombres portées présentes si hauteur soleil > 7°
Nr35	4	obstacles avec hauteur angulaire > 10° présents	ombres portées présentes si hauteur soleil > 7°
Nr35	5	obstacles sur au moins 30% du trajet du soleil	ombres portées pendant au moins 30% du temps

Pluie			
Réf.	Classe	Commentaires	
Nr35B	1	pente < 19° et présence d'un brise-vent artificiel ou naturel; pluviomètre entouré d'obstacles de hauteur angulaire uniforme entre 14 et 26,5°	
Nr35	1	obstacles situés à plus de 4 fois leur hauteur, pente < 19°	
Nr35B	2	obstacles situés à plus de 2 fois leur hauteur, pente < 19°	
Nr35	2	obstacles situés à plus de 2 fois leur hauteur, pente < 19°	
Nr35	3	obstacles situés à plus de 1 fois leur hauteur, pente < 30°	
Nr35B	3	obstacles situés à plus de 1 fois leur hauteur, pente < 30°	
Nr35	4	obstacles situés à moins de 1 fois leur hauteur, pente > 30°	
Nr35B	4	obstacles situés à plus de la moitié leur hauteur, pente > 30°	
Nr35B	4S	classe 4 liée à la pente uniquement	
Nr35B	5	obstacles situés à moins de la moitié leur hauteur	
Nr35	5	obstacles situés au dessus du pluviomètre	
Nr35B	5S	application particulières	

Synthèse climatique 2023 pour les CNPE de Paluel et Penly



Statistiques records inter-annuelles 1986-2018 (Dieppe)

Indicatif : 76217001, alt. 38 m., lat. 49°55'56"N, lon. 1°05'19"E

Eléments météorologiques	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année	
Température maximum des températures : Tm minimums quotidiennes : Tn minimums absolues : Tn (N=102) moyennes quotidiennes : Tm (N=102) moyennes mensuelles : Tm (N=102) différence la plus basse date différence la plus élevée date nombre moyen de jours : de brèves gelées (Tm <= 0°C) de gel (Tm < 0°C) sans dégel (Tm <= 0°C) sans dégel (Tm <= 20°C) sans dégel (Tm <= 30°C)	-13,6 12/19/87 13/19/80	-7,4 31/1986 20/1990	-2,6 31/1986 20/1990	0,4 31/1986 21/2019	1,9 31/1986 27/2005	6,5 31/1986 21/2019	10,0 31/1986 10/2019	14,0 31/1986 10/2003	17,9 31/1986 10/2003	20,8 31/1986 10/2003	23,3 31/1986 10/2003	25,8 31/1986 10/2003	27,9 31/1986 10/2003	-13,6 12/19/87 10/2003
Précipitations hauteur maximale quotidienne date nombre moyen de jours : avec hauteur quotidienne <= 1 mm avec hauteur quotidienne <= 10 mm	29,5 23/1990	38,5 10/1992	32,0 20/2001	30,3 30/2018	66,1 21/2014	39,0 5/2002	44,0 10/1986	66,6 24/2013	90,0 30/1996	48,6 30/1996	48,1 30/1996	28,8 13/2010	28,8 13/2010	66,6 24/2003
ETP (1981/1999) hauteur maximale quotidienne date nombre moyen de jours : avec hauteur quotidienne <= 1 mm avec hauteur quotidienne <= 10 mm	12,3 1/7	10,1 1/9	10,1 1/3	10,1 1/3	10,1 1/3	10,1 1/3	10,1 1/3	10,1 1/3	10,1 1/3	10,1 1/3	10,1 1/3	10,1 1/3	10,1 1/3	10,1 1/3
Insolation (1981/1999) hauteur maximale quotidienne date nombre moyen de jours : avec hauteur quotidienne <= 1 mm avec hauteur quotidienne <= 10 mm	14,1 1/3	10,6 1/1	11,3 0/7	8,6 0/2	7,3 0/1	5,1 0/0	5,1 0/0	5,4 0/1	7,5 0/1	9,5 0/1	11,1 0/5	12,1 0/5	10,8 0/5	10,8 0/5
Rayonnement (non mesure) Vents maximum du vent moyen date nombre moyen de jours : avec vitesse <= 10 m/s (36 km/h) avec vitesse <= 20 m/s (72 km/h)	14,5 12/2017	14,0 20/1990	118,8 22/2008	115,2 8/1994	118,8 20/2000	104,4 22/2003	104,4 11/1987	154,8 24/2013	191,1 31/1986	104,4 31/1986	158,2 16/1987	126,6 17/2004	154,8 11/1987	154,8 11/1987
Occurrences de neige de verges de givre de brouillard	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Synthèse climatique 2023 pour les CNPE de Paluel et Penly



Annexe 1 : statistiques inter-annuelles de Dieppe et de Gonneville

Normales 1981-2010 (Dieppe)

Indicatif : 76217001, alt. 38 m., lat. 49°55'56"N, lon. 1°05'19"E

Eléments météorologiques	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année	
Température maximum des températures : Tm minimums quotidiennes : Tn minimums absolues : Tn (N=102) moyennes quotidiennes : Tm (N=102) moyennes mensuelles : Tm (N=102) différence la plus basse date différence la plus élevée date nombre moyen de jours : de brèves gelées (Tm <= 0°C) de gel (Tm < 0°C) sans dégel (Tm <= 0°C) sans dégel (Tm <= 20°C) sans dégel (Tm <= 30°C)	2,8 5,2 -16,4 0/1985 14/1990	4,5 5,3 -12,4 7/1991 19/1990	5,8 12,3 -7,4 31/1986 20/1990	5,8 12,3 -2,6 31/1986 20/1990	9,0 12,3 0,4 31/1986 20/1990	11,8 12,3 1,8 31/1986 20/1990	13,9 12,3 6,5 31/1986 20/1990	14,0 12,3 6,4 31/1986 20/1990	11,9 12,3 3,8 31/1986 20/1990	9,4 12,3 -3,3 31/1986 20/1990	6,0 12,3 -4,4 31/1986 20/1990	6,0 12,3 -10,6 31/1986 20/1990	3,4 12,3 -10,6 31/1986 20/1990	7,9 12,3 -10,6 31/1986 20/1990
Précipitations hauteur maximale quotidienne date nombre moyen de jours : avec hauteur quotidienne <= 1 mm avec hauteur quotidienne <= 10 mm	66,6 29/1990	61,5 10/1992	56,7 30/2001	56,6 30/2001	65,6 30/2001	56,6 30/2001	52,7 30/2001	67,0 30/1987	69,9 30/1987	80,7 30/1987	80,2 30/1987	87,8 30/1987	79,2 30/1987	66,6 29/1990
ETP (1981/1999) hauteur maximale quotidienne date nombre moyen de jours : avec hauteur quotidienne <= 1 mm avec hauteur quotidienne <= 10 mm	12,3 1/7	10,1 1/9	10,1 1/3	10,1 1/3	10,1 1/3	10,1 1/3	10,1 1/3	10,1 1/3	10,1 1/3	10,1 1/3	10,1 1/3	10,1 1/3	10,1 1/3	
Insolation (1981/1999) hauteur maximale quotidienne date nombre moyen de jours : avec hauteur quotidienne <= 1 mm avec hauteur quotidienne <= 10 mm	14,1 1/3	10,6 1/1	11,3 0/7	8,6 0/2	7,3 0/1	5,1 0/0	5,1 0/0	5,4 0/1	7,5 0/1	9,5 0/1	11,1 0/5	12,1 0/5	10,8 0/5	
Rayonnement (non mesure) Vents maximum du vent moyen date nombre moyen de jours : avec vitesse <= 10 m/s (36 km/h) avec vitesse <= 20 m/s (72 km/h)	14,5 12/2017	14,0 20/1990	118,8 22/2008	115,2 8/1994	118,8 20/2000	104,4 22/2003	104,4 11/1987	154,8 24/2013	191,1 31/1986	104,4 31/1986	158,2 16/1987	126,6 17/2004	154,8 11/1987	
Occurrences de neige de verges de givre de brouillard	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

B. ANNEXES DOMAINE PELAGIQUE

ANNEXE B-1 : Récapitulatif des résultats de surveillance physico-chimique et chimique

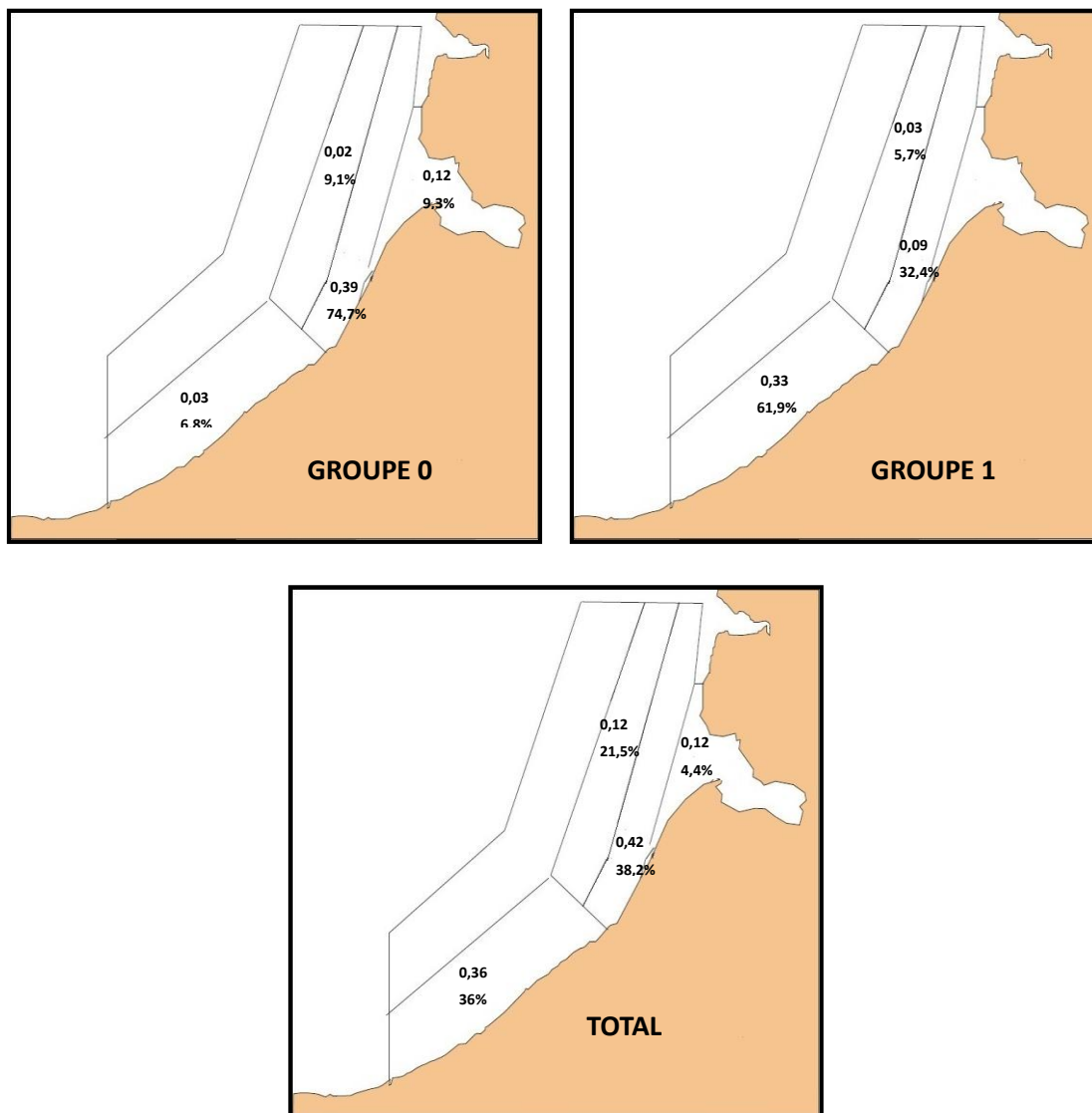
DATE	PARAMÈTRE	RÉFÉRENCE	CONTRÔLE	CANAL	REJET
04 avril 2023	Température (°C)	9,51	9,59	9,46	9,6
	Salinité	33,37	33,35	33,05	33,01
	MES (mg/L)	34,55	32,3	43,56	33,82
	Turbidité en NTU	4,72	7,19	26,6	27,7
	Oxygène dissous	9,06	9,49	8,99	9,12
	Nitrate (µmol/L)	0,2	0,19	0,22	0,2
	Nitrite (µmol/L)	27,2	24,51	23,88	26,2
	Ammonium (µmol/L)	0,53	0,44	1,35	1
	Phosphate (µmol/L)	0,6	0,46	0,4	0,49
	Silicate (µmol/L)	8,5	7,3	8,1	9,1
	Hydrazine (µg L ⁻¹)	< 20	< 20	< 20	< 20
	Ethanolamine (mg L ⁻¹)	< 200	< 200	< 200	< 200
	Bromoforme (µg L ⁻¹)	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
	Chloroforme(µg L ⁻¹)	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
	DiBrChmethane (µg)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
DiChBrmethane (µg)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	
20 juin 2023	Température (°C)	17,16	17,73	18,13	19,95
	Salinité	34,3	34,15	33,93	34,05
	MES (mg/L)	26,66	17,02	19,87	17,33
	Turbidité en NTU	0,75	2,37	9,44	9,02
	Oxygène dissous	7,28	7,26	6,83	7,02
	Nitrate (µmol/L)	0,04	0,03	0,09	0,05
	Nitrite (µmol/L)	0,4	0,28	1,21	0,77
	Ammonium (µmol/L)	0,46	0,15	1,58	0,8
	Phosphate (µmol/L)	0,15	0,13	0,2	0,22
	Silicate (µmol/L)	1,62	4,03	9,55	5,43
	Hydrazine (µg L ⁻¹)	< 20	< 20	< 20	< 20
	Ethanolamine (mg L ⁻¹)	< 50	< 50	< 50	< 50
	Bromoforme (µg L ⁻¹)	< 0,25	0,51	0,75	3,8
	Chloroforme(µg L ⁻¹)	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
	DiBrChmethane (µg)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,07
DiChBrmethane (µg)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	
26- sept 2023	Température (°C)	19,5	19,1	18,7	21,6
	Salinité	33,82	33,9	33,72	33,66
	MES (mg/L)	28,94	29,33	37,65	36,38
	Turbidité en NTU	2,07	2,93	8,29	7,03
	Oxygène dissous	7,23	7,13	7,19	7,1
	Nitrate (µmol/L)	0,27	0,26	0,35	0,31
	Nitrite (µmol/L)	9,13	8,54	9,75	9,69
	Ammonium (µmol/L)	1	1,5	2,5	2,1
	Phosphate (µmol/L)	0,36	0,35	0,4	0,36
	Silicate (µmol/L)	5,4	7	8,1	8,3
	Hydrazine (µg L ⁻¹)	< 20	< 20	< 20	< 20
	Ethanolamine (mg L ⁻¹)	< 5	< 5	< 5	< 5
	Bromoforme (µg L ⁻¹)	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,8
	Chloroforme(µg L ⁻¹)	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
	DiBrChmethane (µg)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
DiChBrmethane (µg)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	

ANNEXE B-2 : Récapitulatif des résultats de surveillance des paramètres PHYTOPLANCTON

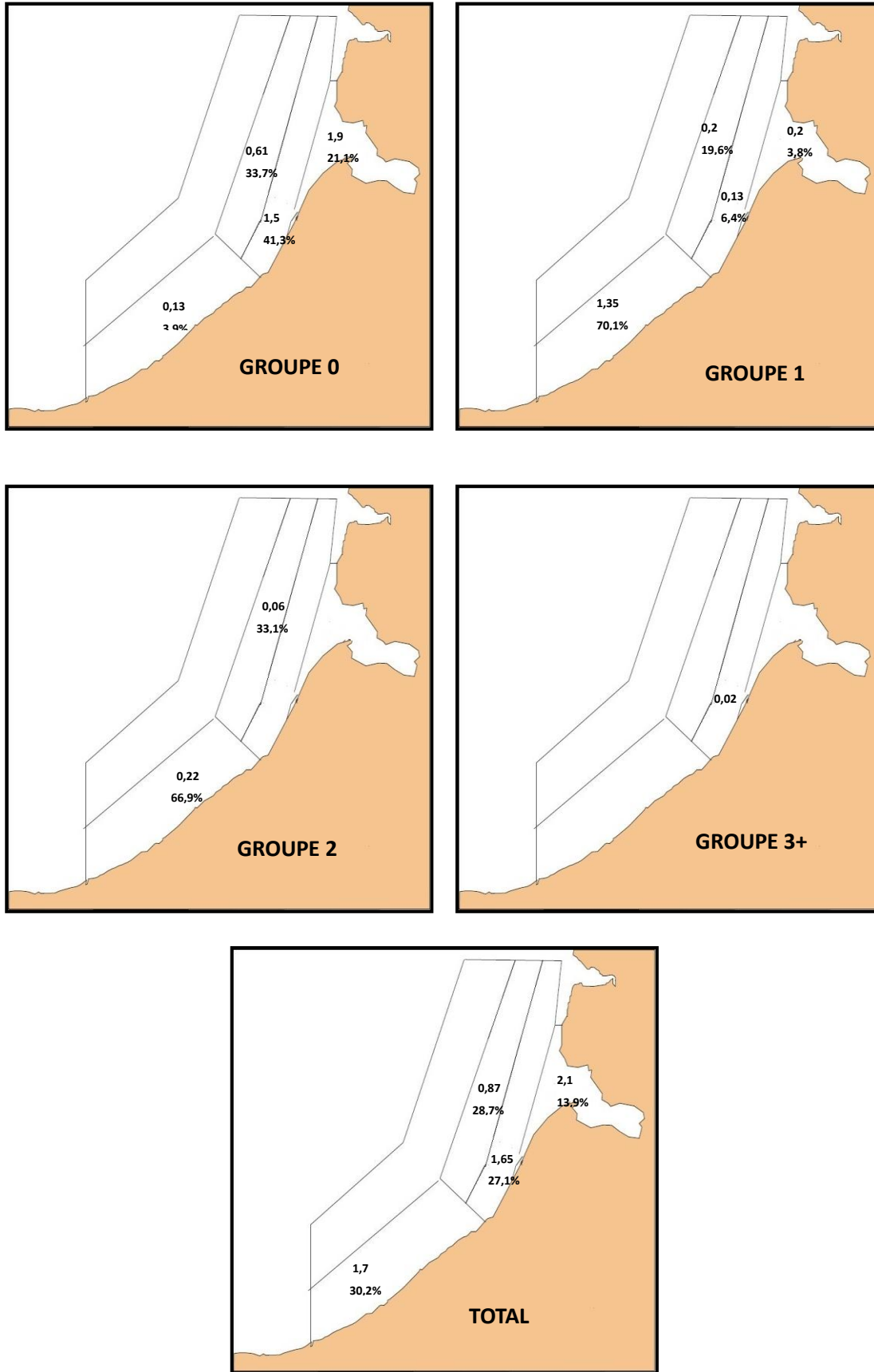
DATE	PARAMÈTRE	RÉFÉRENCE	CONTRÔLE	CANAL	REJET
04 avril 2023	Chl α ($\mu\text{g/L}$)	0,96	2,82	2,97	1,78
	Phéo. ($\mu\text{g/L}$)	0,47	1,37	2,04	0,92
	rETR	142	199	148	155
	γ_{max}	0,56	0,56	0,56	0,6
	Abond.(cell./L)	94100	128300	139900	96100
20 juin 2023	Chl α ($\mu\text{g/L}$)	0,96	1,84	1,32	2,25
	Phéo. ($\mu\text{g/L}$)	0,34	0,61	1,36	2,31
	rETR	78	69	77	81
	γ_{max}	0,34	0,31	0,42	0,52
	Abond.(cell./L)	92100	735700	59800	217400
26 sept 2023	Chl α ($\mu\text{g/L}$)	0,79	1,99	1,77	1,22
	Phéo. ($\mu\text{g/L}$)	0,36	0,59	0,88	0,83
	rETR	84	93	144	52
	γ_{max}	0,38	0,39	0,49	0,48
	Abond.(cell./L)	139700	127500	157400	107800

C. ANNEXES DOMAINE HALIEUTIQUE

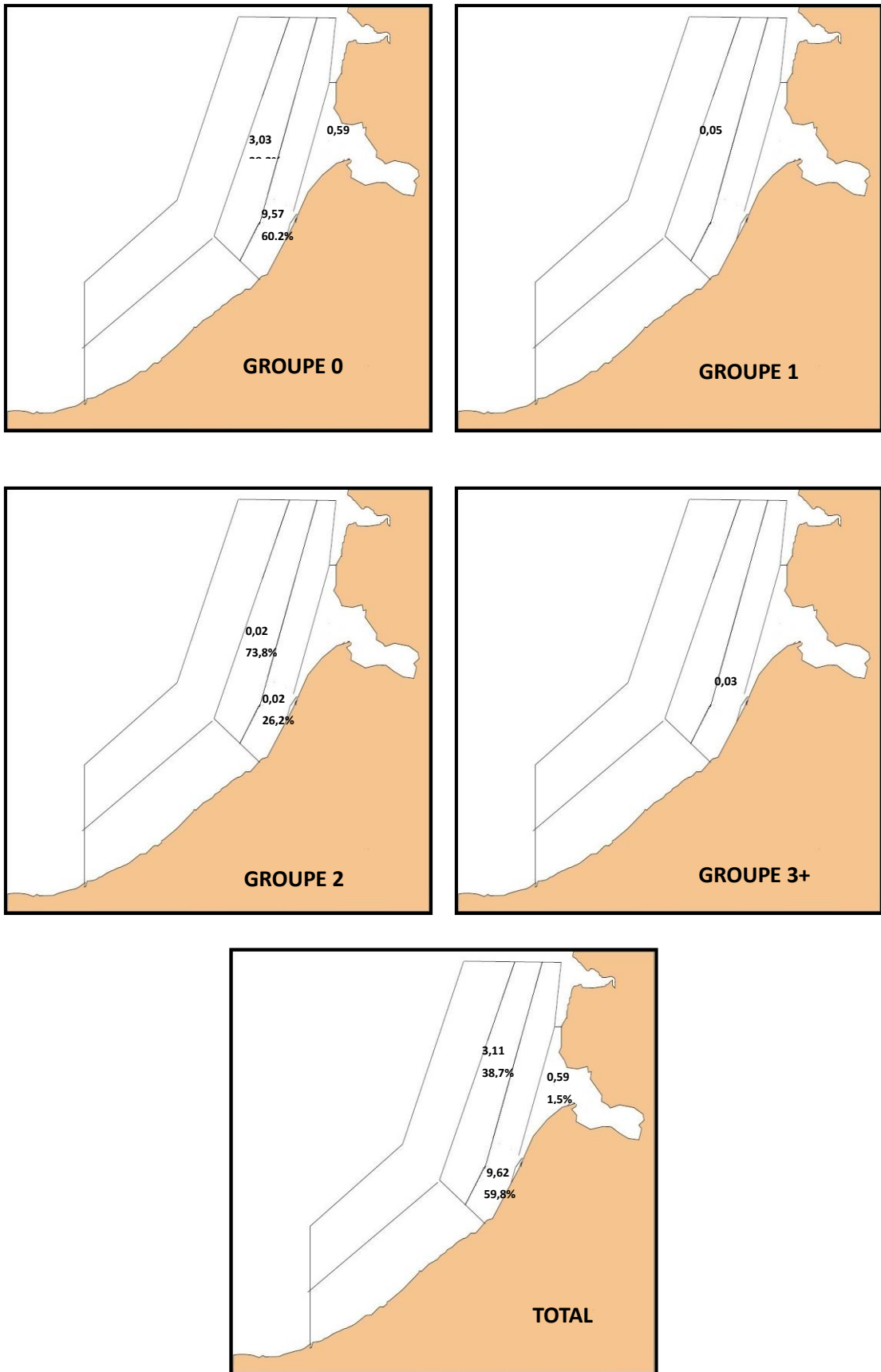
ANNEXE C-1 : Densités moyennes de la sole par strates (nb / 1000 m²) et pourcentages par rapport à l'abondance totale.



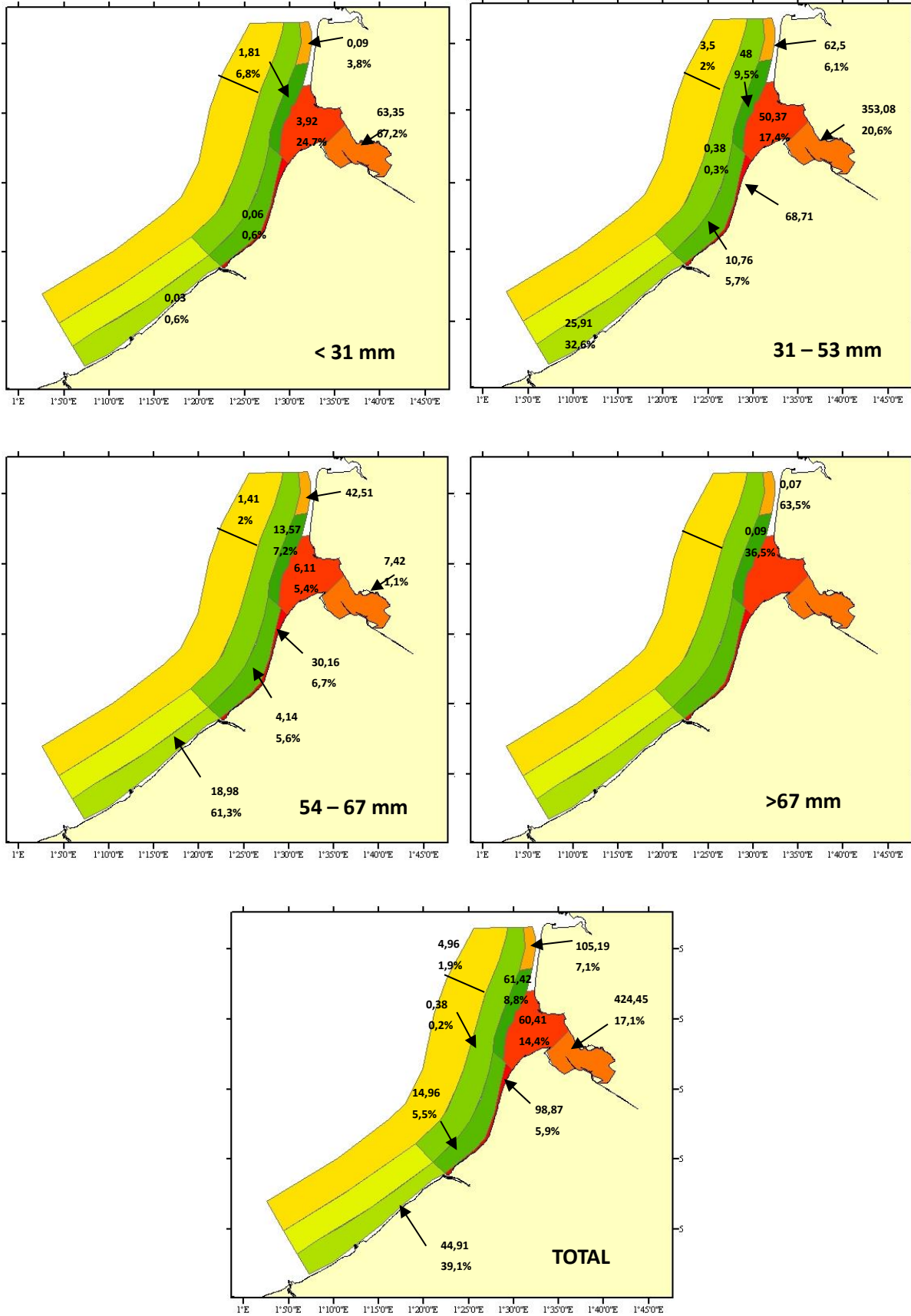
ANNEXE C-2 : Densités moyennes de la plie par strates (nb / 1000 m²) et pourcentages par rapport à l'abondance totale.



ANNEXE C-3 : Densités moyennes de la limande par strates (nb / 1000 m²) et pourcentages par rapport à l'abondance totale.



ANNEXE C-4 : Densités moyennes de la crevette par strates (nb / 1000 m²) et pourcentages par rapport à l'abondance totale.



ANNEXE C-5 : Table des espèces commerciales capturées.

Code espèce	Nom Scientifique	Nom Vernaculaire
CHELLUC	<i>Chelidonichthys cuculus</i>	Grondin rouge
CLUPHAR	<i>Clupea harengus</i>	Hareng
CRANCRA	<i>Crangon crangon</i>	Crevette grise
DICELAB	<i>Dicentrarchus labrax</i>	Bar commun
LIMDLIM	<i>Limanda limanda</i>	Limande
MAJABRA	<i>Maja brachydactyla</i>	Araignée
MERLMNG	<i>Merlangius merlangus</i>	Merlan
MULLSUR	<i>Mullus surmuletus</i>	Rouget barbet
NECOPUB	<i>Necora puber</i>	Etrille
PLATFLE	<i>Platichthys flesus</i>	Flet
PLEUPLA	<i>Pleuronectes platessa</i>	Plie
RAJACLA	<i>Raja clavata</i>	Raie bouclée
RAJAMON	<i>Raja montagui</i>	Raie douce
SCOMSCO	<i>Scomber scombrus</i>	Maquereau
SCOPMAX	<i>Scophthalmus maximus</i>	Turbot
SCOPRHO	<i>Scophthalmus rhombus</i>	Barbue
SOLESOL	<i>Solea solea</i>	Sole commune
SPONCAN	<i>Spondyliosoma cantharus</i>	Dorade grise
SPRASPR	<i>Sprattus sprattus</i>	Sprat
TRACTRU	<i>Trachurus trachurus</i>	Chincard
TRISLUS	<i>Trisopterus luscus</i>	Tacaud commun

ANNEXE C-6 : Densités par strates et sur la totalité du secteur (en nombre d'individus par 1000m²)

Code Espèce	Strate A	Strate B	Strate C	Strate E	Totale
CHELLUC	0,16	0,28	0,05	0,04	0,07
CLUPHAR	0	0,08	0	4,52	0,25
DICELAB	0	0,18	0,05	0,24	0,05
LIMDLIM	0	9,62	3,11	0,59	2,09
MERLMNG	1,21	2,11	0,38	0,99	0,59
MULLSUR	0,62	0,08	0,14	0	0,14
PLATFLE	0,03	0,05	0	0,12	0,02
PLEUPLA	1,7	1,65	0,87	2,1	0,79
RAJACLA	2,05	0,39	0,52	0	0,47
RAJAMON	0,13	0,05	0	0	0,02
SCOMSCO	0	0,05	0	0	0,01
SCOPMAX	0,03	0,02	0	0,08	0,01
SCOPRHO	0	0,02	0,05	0,32	0,03
SOLESOL	0,36	0,42	0,12	0,12	0,14
SPONCAN	0	0	0,02	0	0,01
SPRASPR	0	0,03	0	1,5	0,08
TRACTRU	0,23	0,02	0	0	0,03
TRISLUS	1,69	0	3,52	1,58	1,24

ANNEXE C-7 : Pourcentage de l'abondance des espèces par strate

Code Espèce	Strate A	Strate B	Strate C	Strate E
CHELLUC	31,4	49	16,8	2,8
CLUPHAR		4,4		95,6
DICELAB		49,2	25,2	25,6
LIMDLIM		59,8	38,7	1,5
MERLMNG	28,6	46,1	16,5	8,8
MULLSUR	64,7	8,1	27,2	
PLATFLE	26,5	37,6		35,9
PLEUPLA	30,2	27,1	28,8	13,9
RAJACLA	61	10,5	28,5	
RAJAMON	73,8	26,2		
SCOMSCO		100		
SCOPMAX	42	20		38
SCOPRHO		7	39,5	53,5
SOLESOL	36	38,2	21,4	4,4
SPONCAN			100	
SPRASPR		5,2		94,8
TRACTRU	93,7	6,3		
TRISLUS	19,3		74	6,7

ANNEXE C-8 : Pourcentage du nombre élevé des poissons commerciaux par strate et sur toute la zone

Code Espèce	Strate A	Strate B	Strate C	Strate E	Total
LIMDLIM	0,0	71,9	48,1	7,9	46,0
PLEUPLA	33,0	12,4	13,5	28,0	17,5
SARDPIL	0	0	0	0	0
SOLESOL	7,1	3,1	1,8	1,6	3,1
SPRASPR	0,0	0,1	0,0	10,0	0,9
AUTRES	59,9	12,4	36,6	52,5	32,5

ANNEXE C-9 : Densités par groupes, strates et sur la totalité du secteur (en nombre d'individus par 1000m²)

Code Espèce	Groupe	Strate A	Strate B	Strate C	Strate E	Totale
LIMALIM	0	0	9,57	3,03	0,59	2,06
LIMALIM	1	0	0	0,05	0	0,01
LIMALIM	2	0	0,02	0,02	0	0,05
LIMALIM	3+	0,03	0	0	0	0,03
PLEUPLA	0	0,13	1,5	0,61	1,9	0,47
PLEUPLA	1	1,35	0,13	0,2	0,2	0,27
PLEUPLA	2	0,22	0	0,06	0	0,05
PLEUPLA	3+	0	0,02	0	0	<0,01
SARDPIL		0	0	0	0	0
SOLEVUL	0	0,03	0,39	0,02	0,12	0,07
SOLEVUL	1	0,33	0,03	0,09	0	0,08
SOLEVUL	2	0	0	0	0	0
SOLEVUL	3+	0	0	0	0	0
SPRASPR	0	0	0,03	0	1,5	0,08

ANNEXE C-10 : Pourcentage de l'abondance des espèces par groupe et par strate

Code Espèce	Groupe	Strate A	Strate B	Strate C	Strate E	Totale
LIMALIM	0	0	60,2	38,3	1,5	98,8
LIMALIM	1			100		0,6
LIMALIM	2		26,2	73,8		0,4
LIMALIM	3+		100			0,2
PLEUPLA	0	3,9	41,3	33,7	21,1	59,6
PLEUPLA	1	70,1	6,4	19,6	3,8	34,2
PLEUPLA	2	66,9	0	33,1	0	5,9
PLEUPLA	3+		100	0		0,3
SOLEVUL	0	6,8	74,7	9,1	9,3	47
SOLEVUL	1	61,9	5,7	32,4	0	53
SPRASPA	0		5,2		94,8	100

ANNEXE C-11 : Densités de la crevette grise par strates et sur la totalité du secteur (en nombre d'individus par 1000 m²)

Taille (mm)	Strate 0	Strate 1	Strate 2	Strate 3	Strate 4	Strate 5	Strate 6	Strate 7	Strate 81	Strate 9	Totalité
<31	63,35	3,92		1,81	0,06	0,03	0	0	0	0,09	69,98
31-53	353,68	50,37	68,71	45,97	10,76	25,91	0,38	0	3,51	62,5	365,04
54-67	7,42	6,11	30,16	13,57	4,14	18,98	0	0	1,41	42,51	129,45
> 67	0	0	0	0,07	0	0	0	0	0	0,09	0,16
TOTAL	424,45	60,41	98,87	61,42	14,96	44,91	0,38	0	4,96	105,19	834,64

ANNEXE C-12 : Pourcentage de l'abondance de crevettes grises par strate et sur l'ensemble du secteur

Taille (mm)	Strate 0	Strate 1	Strate 2	Strate 3	Strate 4	Strate 5	Strate 6	Strate 7	Strate 81	Strate 9	Totalité
< 31	67,2	24,7		6,8	0,6	0,6		0		0,2	3,8
31-53	20,6	17,4	5,9	9,5	5,7	32,6	0,3	0	2	6,1	69,2
54-67	1,1	5,4	6,7	7,2	5,6	61,3		0	2	10,7	27
> 67				63,5				0		36,5	0
TOTAL	17,1	14,4	5,9	8,8	5,5	39,1	0,2	0	1,9	7,1	100