

Direction des programmes et de la stratégie
Direction des opérations



Ifremer

Luis LAMPERT
Daniel WOEHLING

mars 2007 – Rapport RST – LERN 07/12

Proposition pour une nouvelle stratégie de surveillance de la CNPE de PALUEL dès 2008

Rapport scientifique

Commande EDF 5100-CSQ-4200112517

Type de rapport : RST (Rapports de résultats de recherches scientifiques et/ou techniques)	
Numéro d'identification du rapport : RST LERN 07.12	date de publication : mars 2007
Diffusion : libre - restreinte - interdite	nombre de pages : 19
Validé par B. Beliaeff Hervé du Boullay	bibliographie : <i>Oui</i>
Adresse électronique : llampert@ifremer.fr	illustration(s) : <i>Oui</i>
- chemin UNIX :	langue du rapport : <i>Français</i>
- adresse WWW :	
Auteur(s) principal (aux) : nom, prénom	Organisme / Direction / Service, laboratoire
LAMPERT Luis WOEHLING Daniel	IFREMER / LERN IFREMER/NANTES/EMH
Collaborateur(s) : nom, prénom	Organisme / Direction / Service, laboratoire
Organisme commanditaire : nom développé, sigle, adresse Electricité de France (EDF)	
Titre du contrat : n° de contrat Ifremer	
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 Centre de Nantes. Nantes/EMH	
Responsable scientifique : Luis LAMPERT - IFREMER / LERN	
Cadre de la recherche :	
Programme : Surveillance et évaluation de la qualité du milieu marin	Convention de marché : EDF n° 5100-CSQ-4200112517
Projet : I.G.A. Impact des Grands Aménagements	Autres (préciser) :
Campagne océanographique :	

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	1
2. METHODES UTILISEES.....	3
3. COMPARTIMENT PELAGIQUE	4
3.1. Prélèvement à mi profondeur.....	5
3.2. MES	7
3.3. Bore.....	8
3.4. Production primaire.....	10
3.5. Germes totaux	12
3.6. Biomasse zooplanctonique et abondance zooplanctonique.....	14
3.7. Nombre de réplicats	15
4. BIBLIOGRAPHIE	17
ANNEXES	18

1. INTRODUCTION

Depuis les années soixante dix, l'Ifremer réalise les suivis écologique et halieutique des centrales nucléaires implantées sur le littoral maritime, tel que définis dans les arrêtés interministériels. Des changements dans les stratégies de suivi ont été déjà mis en place au moment du passage de la phase de *projet* à celle de la *surveillance*, ainsi que dans les années 90, suite à une réflexion sur la pertinence des stratégies qui comptaient déjà une dizaine d'années. En 2008, la centrale de Paluel connaîtra un renouvellement de son arrêté de rejets en mer. Une étude rétrospective des résultats obtenus et de l'évolution du milieu nous permettra de statuer sur le bien-fondé des stratégies actuelles et de les adapter le cas échéant.

Le tableau 1 présente une synthèse des paramètres suivis en 2006 en accord avec les arrêtés de rejets thermiques et chlorés.

Un tableau de synthèse, réunissant l'ensemble des changements préconisés est présenté à la fin de ce document en annexe.

Rappel de l'objectif de la surveillance des centrales

L'objectif de la « surveillance écologique et halieutique des rejets thermiques et chlorés des centrales nucléaires du bord de mer », est d'étudier l'évolution des différents domaines marins (pelagos, benthos et halieutique) et leurs compartiments (hydrologie, phytoplancton, zooplancton, etc...) au niveau local (proche des centrales et de sa zone d'influence) et de tenter de mettre en évidence des modifications de ceux-ci à travers le suivi de quelques paramètres caractéristiques de chaque compartiment. La zone d'études peut toutefois s'étendre au niveau régional, si les paramètres surveillés ont une distribution régionale, comme dans le cas de l'halieutique. Les changements ou évolutions qui ne pourront pas être expliqués par les données obtenues, pourront donner lieu à des études particulières en-dehors du contrat des prestations actuelles.

Année 2006	PALUEL	PENLY	FLAMANVILLE	BLAYAIS	GRAVELINES
GENERALITES					
Climatologie	X	X	X	X	X
Evolution des fonds				X	
HYDROLOGIE					
T°	X	X	X	X	X
Salinité	X	X	X	X	
NH4	X	X	X	X	X
NO2+NO3	X			X	
NO2		X	X		
NO3		X	X		X
PO4			X	X	
Si(OH)4			X		
MES	X	X	X	X	
Trihalométhanés	X	X	X		X
Bore	X		X		X
Hydrazine+lithine+ethanolamine+morpholline					X
Vitesse courants				X	
Oxygène dissous				X	
MICROBIOLOGIE					
Germes totaux	X	X	X		
Germes revivifiables	X	X	X		
Vibrio-halophiles	X	X	X	X	X
PHYTOPLANCTON					
Chlorophylle	X	X	X	X	X
Production primaire	X	X	X		
Abondance spécifique	X	X	X		X
COP				X	
ZOOPLANCTON					
Poids sec	X	X	X		X
P. Carbone	X	X	X		X
P. Azote	X	X	X		X
Abondance spécifique	X	X	X	X (Copépodes)	X
BENTHOS SUBTIDAL					
granulométrie	X	Tous 4 ans			X
Macrofaune	X	Tous 4 ans			X
BENTHOS INTERTIDAL					
Poids sec fucales	X		X		
Idotea granulosa	X				
Cirripèdes			X		
Faune intertidal				X	X+ biomasse
PHYTOBENTHOS INTERTIDAL					
Poids humide fucales	X		X		
Taux fertilité	X		X		
HALIEUTIQUE					
Activité flotte	X		X		
Zooplankton halieutique		X			
Macrofaune halieutique		X			
Oeufs + larves		X			
Larves crustacés			X		
Larves homard			X		
Neuston			X		
Peche au casier			X		
Œufs et larves de Sole+Sprat+crevette grise					X

Tableau 1 : Paramètres suivis dans les études de surveillance écologique et halieutique des cinq centrales du bord de mer en 2006

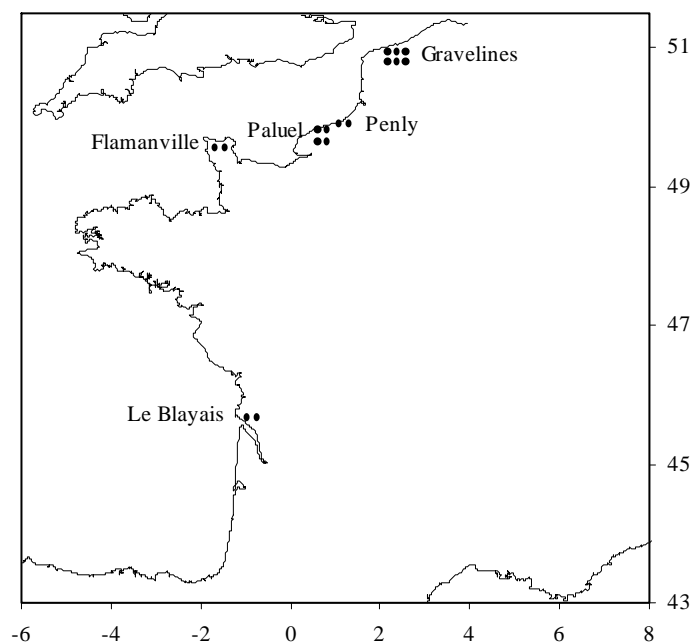


Figure 1 : Situation géographique des cinq centrales nucléaires suivies

2. METHODES UTILISEES

Les données nécessaires à cette étude ont été extraites de la base de données Quadrigé. Cette base de données stocke l'ensemble des résultats obtenus dans le domaine pélagique depuis les études de *projet* des centrales dans les années soixante-dix, jusqu'à celles acquises lors des campagnes récentes.

Les méthodes analytiques utilisées, ainsi que leurs précisions, sont décrites dans les rapports annuels correspondants.

Des traitements statistiques permettent de comparer les séries de données observées aux différents points et niveaux d'échantillonnage afin de mettre éventuellement en évidence des différences significatives entre les données à long terme. Le test de Student pour échantillons appariés a été utilisé pour comparer les données dans le cas où leur distribution pouvait être considérée comme normale. Dans le cas contraire, la comparaison des échantillons a été réalisée par le test de signes.

3. COMPARTIMENT PELAGIQUE

Les eaux de refroidissement sont captées dans un canal d'amenée au bord de mer, et suite à leur passage dans les échangeurs, elles sont rejetées à une distance supérieure à 500 m de la côte par des canaux creusés dans le fond marin (figure 2).

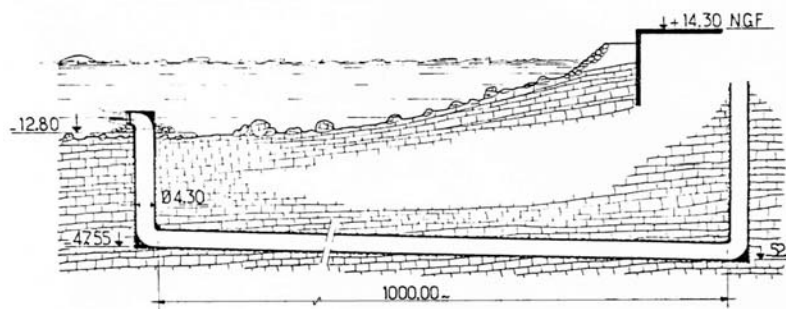


Figure 2 : Coupe verticale du canal de rejets

Le suivi de surveillance des paramètres pélagiques est effectué trois fois par an au moyen du navire océanographique d'Ifremer, *NO THALIA*. L'échantillonnage est centré sur les mois de mars, juin et septembre sur une radiale qui part du canal d'amenée vers le large (figure 3). Les trois points sont : *canal*, *rejet* et *référence*. Tous ces points sont suivis en surface, avec en plus un prélèvement effectué à 10 m pour le dernier. Les compartiments abordés dans le domaine pélagique sont : **hydrologie**, **microbiologie**, **phytoplancton** et **zooplancton**.

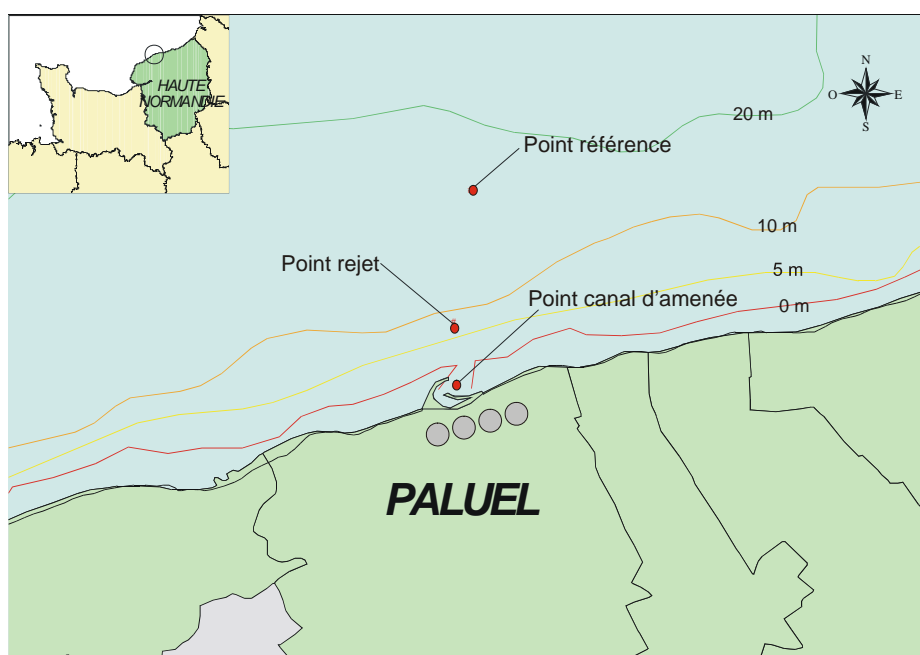


Figure 2 : Positionnement des points d'échantillonnage à Paluel

3.1. Prélèvement à mi profondeur

Dans les études de surveillance effectuées ces 15 dernières années, les mesures à mi-profondeur enregistrées au point *référence* n'ont pas apporté d'informations supplémentaires pertinentes, ni pour l'étude d'impact des centrales, ni pour l'évolution du milieu. Les zones d'étude présentent un fort hydrodynamisme et les écarts des mesures dans la colonne d'eau sont minimes, voire inexistantes dans la plupart des cas. Sur la Manche Est, les effets combinés de courants de marée et du fleuve côtier (*Brylinski et al., 1991*) sont prédominants sur les stratifications thermiques ou halines qui ont des développements spatio-temporels très limités dans ce secteur.

La figure 3 présente le potentiel de stratification des eaux (P. Lazure, *comm.pers.*) calculé en utilisant le paramètre de stratification H/u^3 défini par Simpson et Hunter (1974), où H représente la hauteur de la colonne d'eau et u le module de la vitesse moyenne du courant au cours d'un cycle de marée.

Des faibles valeurs du paramètre de stratification (< 2) indiquent que la colonne d'eau est brassée et les fortes valeurs (> 3) définissent les zones où la colonne d'eau peut présenter une stratification en été. La figure 3 montre ainsi que les centrales en Manche se situent dans des zones présentant des valeurs inférieures à 3, donc peu propices aux stratifications estivales.

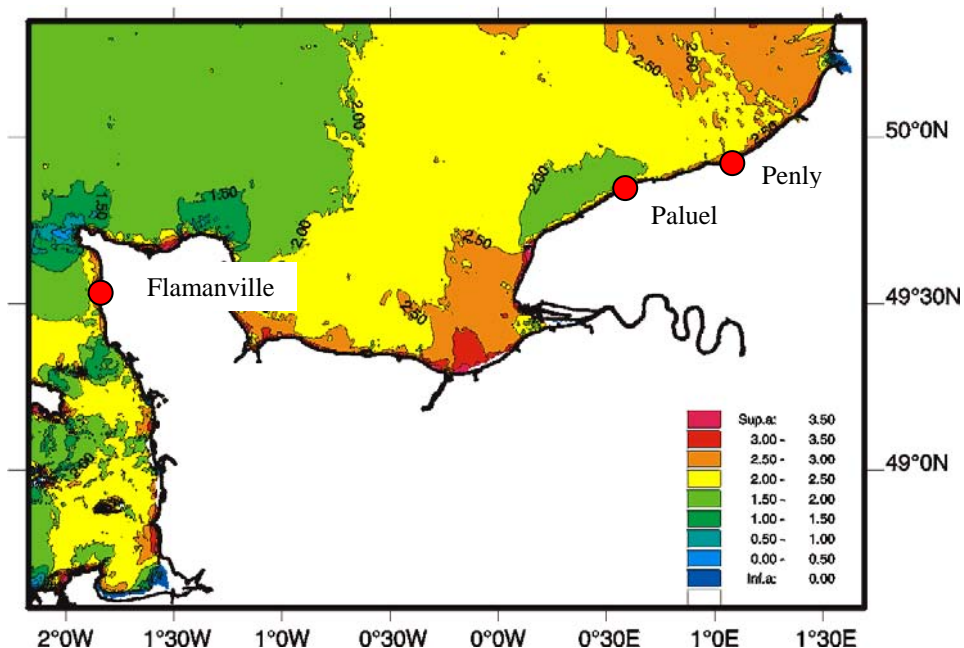


Figure 4 : Évolution spatiale du paramètre de stratification (H/u^3) en Manche évalué à l'aide du modèle hydrodynamique Mars 2D d'Ifremer

Dans les paragraphes suivants, nous présentons des comparaisons, pour chaque paramètre, entre les valeurs obtenues en surface et à mi profondeur.

Pour les paramètres du compartiment hydrologie, nous pouvons observer en figure 5 la distribution des différences observées entre les valeurs de surface et à mi-profondeur au point *référence* entre 1984 et 2005. Bien que les données des trois campagnes annuelles soient prises en compte ensemble, nous constatons une faible variabilité dans la boîte contenant les quantiles 50% et des valeurs des médianes qui sont toutes proches de zéro.

Quelques valeurs extrêmes isolés dans la série sont mises en évidence par les points bleus. Le nitrate présente une dispersion un peu plus étendue en raison des valeurs absolues plus importantes, mais en règle générale les boîtes à moustaches montre la forte homogénéité de la masse d'eau.

Dans le tableau 2 sont indiqués les valeurs des médianes, de la moyenne, ainsi que le nombre de valeurs qui ont été utilisés par paramètre.

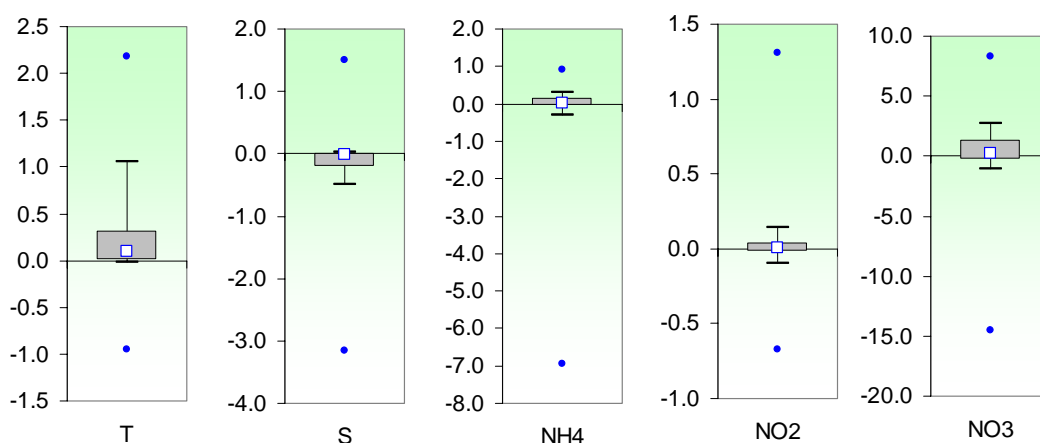


Figure 5 : Valeurs des séries temporelles 1984-2005 du point *référence* à Paluel pour les niveaux d'échantillonnage en surface et à 10 m. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50% des valeurs (▭) ; les moustaches, 80 % des valeurs (┌┐). Les points extrêmes présentent les valeurs maximales et minimales (●).

	T° 0m	T° 10m	Sal 0m	Sal 10m	NH4-0m	NH4-10m	NO2-0m	NO2-10m	NO3-0m	NO3-10m
Med	16.8	16.4	32.99	33.00	1.21	1.15	0.38	0.42	11.1	14.1
Moyenne	14.6	14.4	32.76	32.93	1.44	1.51	0.51	0.47	16.9	16.4
N val	86	86	67	67	105	105	87	87	89	89

Tableau 2 : Valeurs de la médiane, la moyenne et le nombre de valeurs utilisées pour réaliser la figure 5

Pour la température, la différence moyenne de 0,2° C observée correspond au bruit de fond couramment mesuré dans cette partie de la Manche. Nous ne pouvons donc pas conclure, d'un point de vue écologique, à une différence entre les valeurs obtenues en surface et à 10 m.

Les faibles stratifications qui ont pu être observées dans ces années de surveillance n'ont pas apporté d'éléments permettant de caractériser la masse d'eau étudiée, ni de mieux appréhender leur évolution à long terme.

A la lumière des résultats du modèle et des résultats observés, nous suggérons donc, l'abandon du suivi du niveau -10 m du point *référence* à Paluel.

3.2. MES

Les matières en suspension (MES) sont composées de particules d'origine minérale ou organique. Elles sont étroitement liées à l'érosion des terres et leur arrivée en mer est principalement assurée par les fleuves et rivières. Dans la zone très côtière, cet apport peut aussi se faire par les vents de terre et leur remise en suspension est assurée par les courants de marée et la houle. Les MES sont liées à la turbidité et la visibilité dans l'eau, mais leur relation n'est ni directe ni simple.

Des fortes concentrations en MES peuvent avoir une incidence dans le développement de la flore phytoplanctonique par la diminution de la pénétration de la lumière dans l'eau. Elles sont aussi le vecteur de privilège pour le transport des polluants quand leur taille est réduite.

Ce paramètre, très utilisé dans les eaux continentales, est moins suivi dans le milieu marin, qui reçoit les apports fluviaux *via* les estuaires et dilue rapidement les MES. Il est alors difficile de caractériser une masse d'eau marine par sa concentration en MES si ceux-ci sont d'origine fluvial.

Dans le cas précis de la surveillance des centrales nucléaires du bord de mer, et plus précisément pour Flamanville, Paluel et Penly, qui sont ouvertes directement vers le large, les matières en suspension sont très influencées par l'état de la mer, les faibles profondeurs (même au point *référence*) et la vitesse des rejets au droit de la grille (figure 2). Plus de deux fois sur trois c'est l'hydrodynamisme local, toujours présent au point *rejet*, plus le mauvais état de la mer, qui affectent les résultats des MES, rendant impossible toute interprétation. L'état de la mer, même peu agitée sur la bande côtière, permet la remise en suspension des sédiments marins. Ces sédiments sont alors aspirés dans le canal d'amenée, qui est directement ouvert sur le littoral.

La figure 6 présente un exemple de ce phénomène lors des campagnes pélagiques à Paluel en 2004. Les campagnes de juin et de septembre ont été réalisées avec un mauvais état de la mer, ce qui a engendré une augmentation notable de la concentration en MES dans la colonne d'eau. Le gradient décroissant côte-large met ainsi en évidence l'effet de l'hydrodynamisme sur les faibles profondeurs.

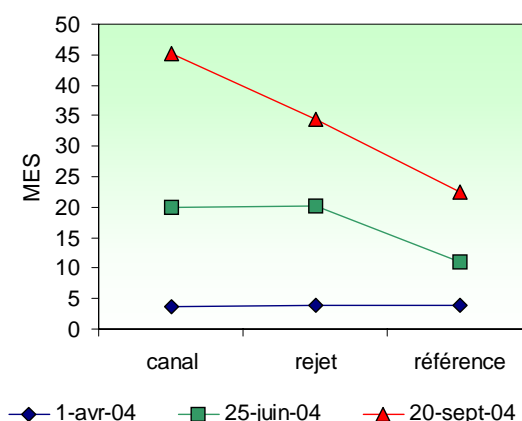


Figure 6 : Concentrations en MES (mg/L) dans les eaux de surface lors des campagnes de 2004 à Paluel

Un paramètre si sensible aux conditions météorologiques ne peut être utilisé qu'à condition de disposer d'un échantillonnage à haute fréquence. Une valeur de MES journalière peut permettre de lisser les effets ponctuels des coups de vent et tempêtes. Ceci nécessite cependant, un effort d'échantillonnage considérable et sans proportion avec l'avantage de la série de valeurs obtenue.

Il reste cependant intéressant de garder une mesure de la turbidité de l'eau de mer, mesure qui peut être réalisée par néphélométrie afin de coupler celle-ci aux valeurs de germes revivifiables et vibrions halophiles.

Le suivi des MES dans le domaine pélagique ne nous permet pas de caractériser la masse d'eau ni de suivre son évolution à long terme à cause du caractère très côtier de l'implantation des centrales. Nous proposons donc son abandon et le remplacement par une mesure de turbidité néphélométrique.

3.3. Bore

La concentration de bore dans l'eau de mer est surveillée depuis 2000 à Paluel et Flamanville (figure 7). A Paluel, nous observons un effet saisonnier, avec de plus fortes concentrations au mois de juin par rapport à mars et septembre. A Flamanville, le gradient décroissant côte-large est bien établi lors des trois campagnes, les concentrations obtenues étant comparables entre saisons.

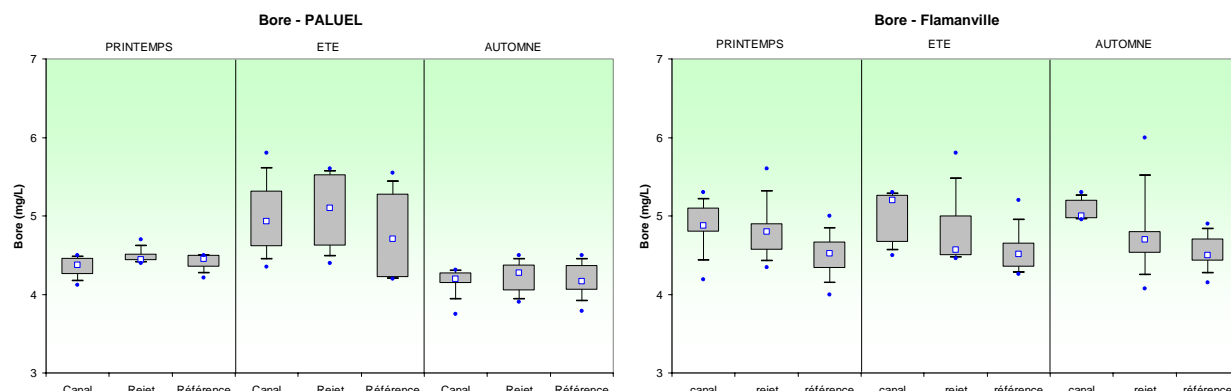


Figure 7 : Concentrations en bore (mg/L) dans les eaux de surface des points canal, rejet et référence à Paluel et Flamanville depuis 2000

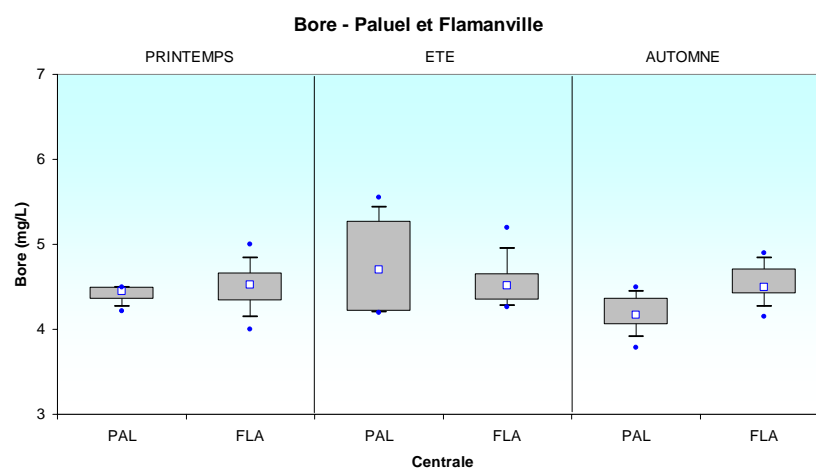


Figure 8 : Concentrations en bore (mg/L) dans les eaux de surface du point référence à Paluel et Flamanville depuis 2000

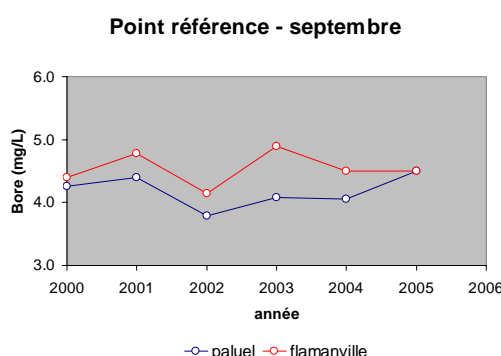


Figure 9 : Concentrations en bore (mg/L) dans les eaux de surface du point référence à Paluel et Flamanville depuis 2000

Lors des campagnes de mars et juin, les concentrations en bore au point référence à Paluel et Flamanville, ne présentent pas de différences marquées (figure 8). Seulement en septembre, les valeurs à Flamanville semblent supérieures à celles de Paluel. Ceci est prendre avec précaution, car les incertitudes liées aux analyses font

que fréquemment nous n'observons pas de différences significatives de concentration en bore entre les points d'échantillonnage (voir rapports annuels).

Dans la figure 9 nous observons l'évolution du bore au point *référence* des deux centrales en septembre. Aucune tendance n'est visible dans cette courte série de valeurs, les concentrations enregistrées à Flamanville étant légèrement supérieures à celles de Paluel.

Le bore ne présente pas de propriétés de bioaccumulation ni d'adsorption dans la matière organique et il n'existe pas de études permettant de comparer les résultats des campagnes de surveillance actuels au cycle saisonnier local, régional ou global.

Dans l'état actuel des choses, il semble plus judicieux de mesurer le bore là où il est plus concentré (en amont du processus industriel) et en calculer les dilutions par des modèles de dispersion. Nous préconisons donc, l'arrêt du suivi du bore dans les campagnes pélagiques.

Le bore n'a pas de conséquences connues sur les compartiments biologiques et ne nous permet pas non plus de suivre l'évolution du milieu. Nous proposons donc d'arrêter le suivi de ce paramètre dans le compartiment hydrologie.

3.4 Production primaire

La production primaire (mesuré par la méthode du ^{14}C) présente un gradient décroissant côte-large pour les trois campagnes annuelles à Paluel (figure 10), avec des valeurs maximales observées au printemps.

L'étude du compartiment phytoplanctonique se fait par le suivi de la biomasse chlorophyllienne, les abondances cellulaires (identification et dénombrement) et la production primaire. Nous constatons cependant, que l'évolution de ces trois paramètres est étroitement liée. La mesure de la production primaire par le carbone 14 est lourde et délicate du fait de l'utilisation des isotopes radioactifs. Des contaminations conduisant à des résultats aberrants sont possibles, et leur interprétation est délicate. De plus, la production primaire présente la plus forte variabilité.

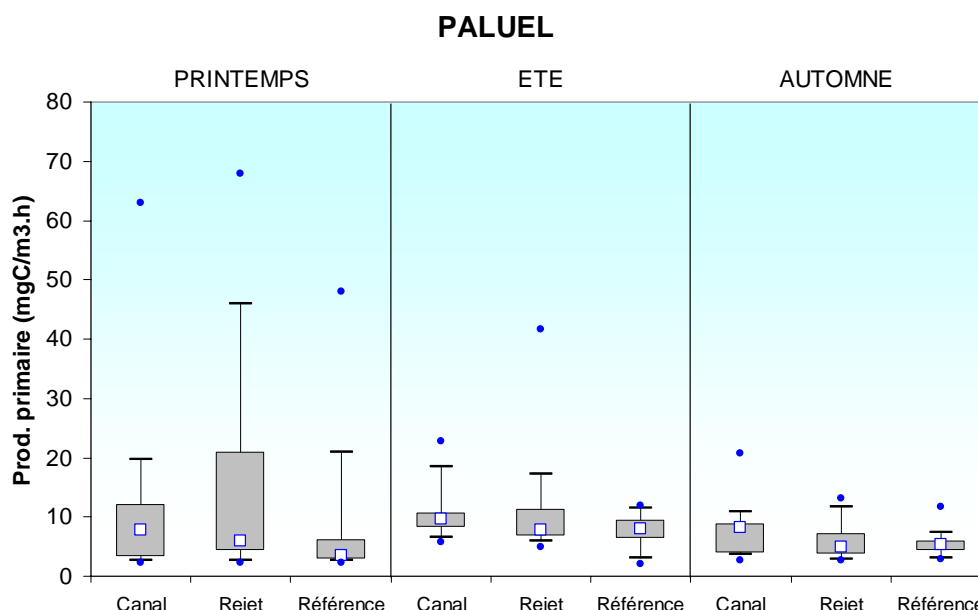


Figure 10 : Mesures de la production primaire par point et par campagne de 1993 à 2005 à Paluel

L'utilisation des données de production primaire est plus pertinente dans le cas des études des processus que dans la mesure en routine trois fois par an sur une zone aussi restreinte.

	Coefficient de corrélation "r"		
	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
	PALUEL		
Pp - Chla	0,33	0,57	0,06
Pp - Abond.	0,55	0,13	0,05

Tableau 3 : Coefficient de corrélation r obtenu avec les valeurs de production primaire (Pp), chlorophylle (chla) et abondance phytoplanctonique (Abond) par campagne

Le tableau 3 présente les coefficients de corrélation linéaires obtenus avec les données des paramètres caractérisant le compartiment phytoplanctonique : biomasse chlorophyllienne, production primaire et abondance phytoplanctonique, après transformation logarithmique pour ce dernier paramètre.

Des faibles valeurs de corrélation sont observées lors des campagnes automnales. Ceci suggère plutôt des valeurs de production primaire trop grossières et peu exploitables que des phénomènes biologiques sous-tendus. L'analyse de la biomasse chlorophyllienne ainsi que les dénombrements phytoplanctoniques étant plus fiables que les valeurs obtenues par la méthode ¹⁴C mise en place.

Nous proposons donc, de supprimer le suivi de la production primaire, car les tendances évolutives et spatiales sont déjà mises en évidence par la biomasse chlorophyllienne et les abondances phytoplanctoniques de façon plus fiable.

3.5 Germes Totaux

La communauté microbienne de taille inférieure à 2 μm dans l'eau de mer est représentée par deux groupes : les autotrophes, capables de réaliser la photosynthèse et les hétérotrophes, qui ont besoin de substances organiques pour se développer. Chez les autotrophes nous distinguons trois composantes, les picoeucaryotes (cellules avec noyau) et les deux genres de cyanobactéries procaryotes : *Prochlorococcus* et *Synechococcus*. La distribution et la dynamique des autotrophes dépendent des facteurs de contrôle environnementaux. *Prochlorococcus* semble ainsi ne pas être limité par les faibles concentrations en nutriments minéraux et s'adapte parfaitement aux conditions oligotrophes des régions océaniques. *Synechococcus* et les picoeucaryotes sont au contraire limités par le manque de nutriments et se développent préférentiellement dans les zones côtières et en surface.

En-dehors de ces trois groupes d'autotrophes, nous pouvons aussi observer dans le domaine marin la présence des hétérotrophes. La croissance des bactéries hétérotrophes dépend généralement de la disponibilité en matière organique dissoute, plus présente dans les zones côtières. Ce type de bactéries se trouve dans la masse d'eau à l'état libre, et sur des supports tels que les particules en suspension. Ainsi, une augmentation des particules peut se traduire par une augmentation des bactéries hétérotrophes. Cette augmentation des particules peut être la conséquence des travaux de terrassement sur le littoral, de l'activité humaine côtière ou des apports fluviaux et des périodes de forte houle.

Zubkov *et al.* (1998) ont mis en évidence la répartition de ses quatre groupes, qui évoluent avec les conditions du milieu. Entre les eaux de surface des côtes anglaises et jusqu'aux îles Malouines le pourcentage des hétérotrophes est le plus souvent inférieur à 50 % par rapport aux autotrophes.

Le suivi des germes totaux par épifluorescence effectué actuellement dans le suivi des centrales, ne permettant pas de faire la distinction entre les autotrophes et les bactéries hétérotrophes, ne semble alors pas judicieux. Les données obtenues lors de la surveillance des centrales montrent que ce paramètre présente une très faible variation spatio-temporelle (figure 11).

La mesure de ce paramètre pose de problèmes importants de reproductibilité ; notamment elle est très sensible à l'expérience et au "coup d'œil" de l'analyste. Ceci est particulièrement mis en évidence dans les résultats de l'année 2004 à Flamanville, inférieurs aux valeurs couramment observées du fait du changement d'analyste (figure 12).

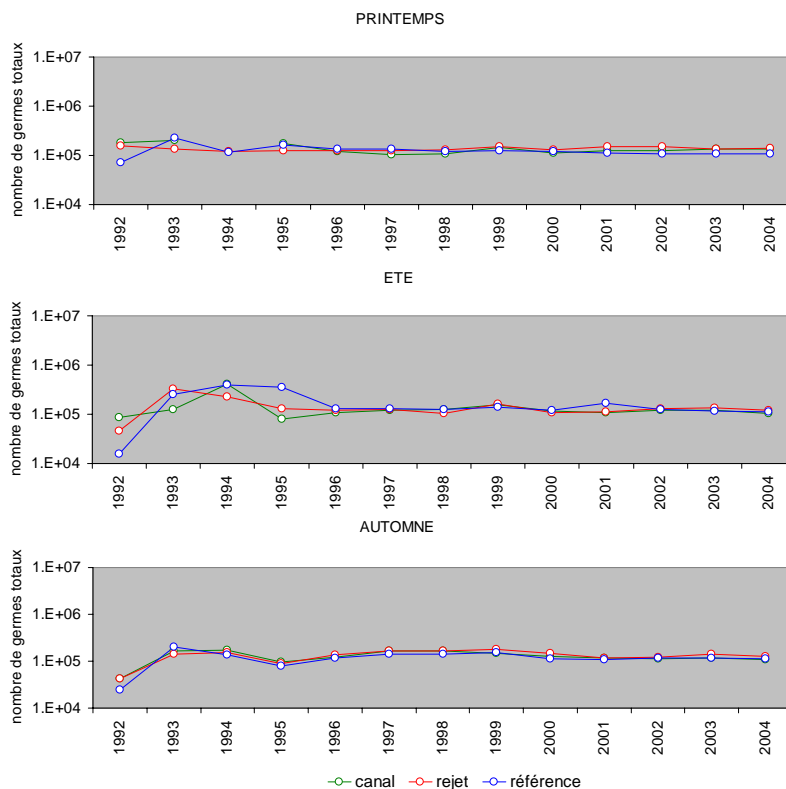


Figure 11 : Distribution des germes totaux par saison et par point d'échantillonnage entre 1992 et 2004 à Paluel

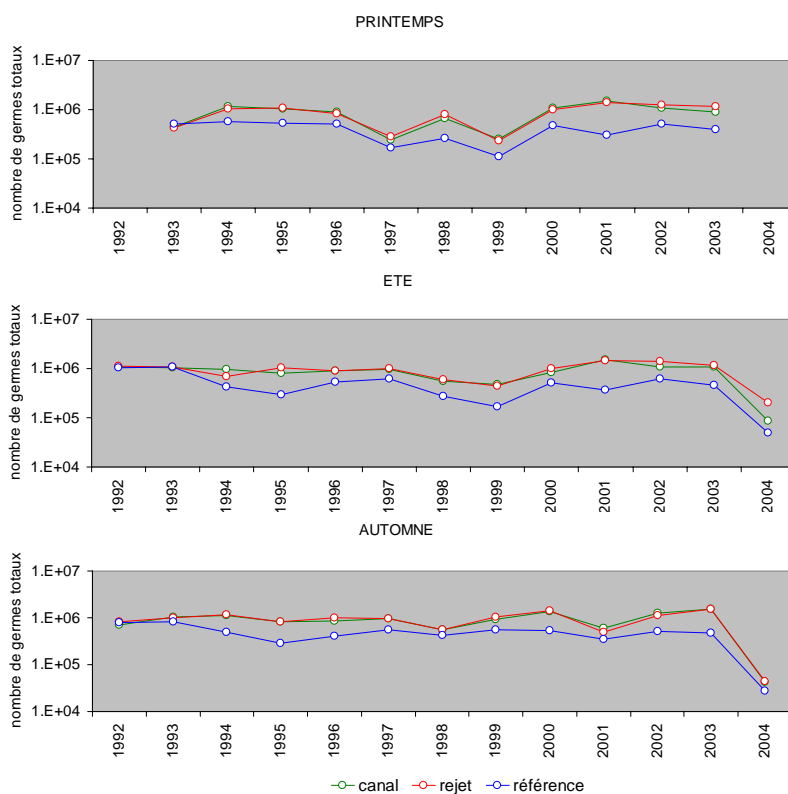


Figure 12 : Distribution des germes totaux par saison et par point d'échantillonnage entre 1992 et 2004 à Flamanville

Nous proposons donc, de supprimer ce paramètre du compartiment microbiologie, tout en gardant le suivi des germes revivifiables et des vibrions halophiles, qui eux, donnent un réel état du potentiel pathogène de la masse d'eau et de son évolution.

3.6 Biomasse zooplanctonique et abondance zooplanctonique pélagique

À la lumière de l'expérience acquise lors des campagnes en mer, nous pouvons affirmer aujourd'hui que les paramètres de biomasse zooplanctonique (poids sec, poids de carbone et d'azote) sont entachés d'un très fort biais. Dans les échantillons du canal d'amenée notamment, le nombre de particules minérales en suspension est souvent très élevé. Dans le canal de *rejet*, la remise en suspension des sables par le flux sortant est permanente. Au point *référence*, étant donné les faibles profondeurs et en période de vents soutenus, nous trouvons également de nombreuses particules en suspension. La mesure de la biomasse zooplanctonique dans ces conditions est particulièrement problématique et difficilement interprétable. Nous mesurons plus souvent de la silice minérale, ou des débris végétaux (en raison de la proximité de la côte), que de la matière organique zooplanctonique.

Dès lors, on pourrait penser que les mesures indirectes de biomasse par les poids en carbone et en azote pourraient nous apporter une information plus fiable que la biomasse zooplanctonique brute. Cependant, l'examen des soies après filtration révèle une grande quantité de petits et moyens débris d'algues macrophytes dus au fort hydrodynamisme ; de tels fragments sont par ailleurs mélangés à toutes sortes d'autres débris. Les plus grands peuvent être éliminés à la pince fine et rincés à l'eau de mer, mais les petits demeurent dans l'échantillon et sont responsables d'un biais considérable lors de la mesure de carbone et d'azote, laquelle se révèle ainsi inefficace, difficile à mettre en œuvre et impossible à interpréter.

Un seul échantillon au point *référence*, destiné à évaluer la composition spécifique, pourrait livrer une information suffisante pour suivre l'évolution temporelle de ce compartiment.

Le dénombrement et l'identification du zooplancton pourraient se borner également aux espèces ou genres qui apportent une information significative. Par exemple les copépodes et les cirripèdes qui constituent à eux seuls l'essentiel de l'abondance. L'expérience accumulée depuis le début de la surveillance nous permet aujourd'hui de bien cibler les espèces représentatives, et de détecter les changements éventuels à l'intérieur d'un compartiment pélagique dominant comme les copépodes.

Cette réflexion est aussi applicable au suivi zooplanctonique de la centrale de Gravelines

Nous proposons donc, d'abandonner le suivi de la biomasse zooplanctonique par le poids sec, ainsi que sa composition en Carbone et Azote, et de se limiter aux dénombrements, ciblés sur le point *référence* uniquement.

3.7 Nombre de répliqués d'échantillonnage

L'utilisation de répliqués dans les études scientifiques permet de prendre en compte la variabilité d'échantillonnage du paramètre étudié à petite échelle, autorisant ainsi la possibilité d'une estimation plus précise.

Dans la mesure où la variabilité mesurée entre les répliqués est inférieure à celle observé entre les points d'échantillonnage et entre les années, l'augmentation de la précision de la mesure apportée par les répliqués, et prenant en compte la variabilité de l'échantillonnage à petite échelle, ne se justifierait pas.

Pour vérifier cela, nous avons mené une analyse de la variance à deux critères de classification (point d'échantillonnage et année) pour les paramètres sur lesquels on dispose de répliqués (figure 13). L'analyse a porté sur les données du printemps, saison présentant les plus fortes variabilités.

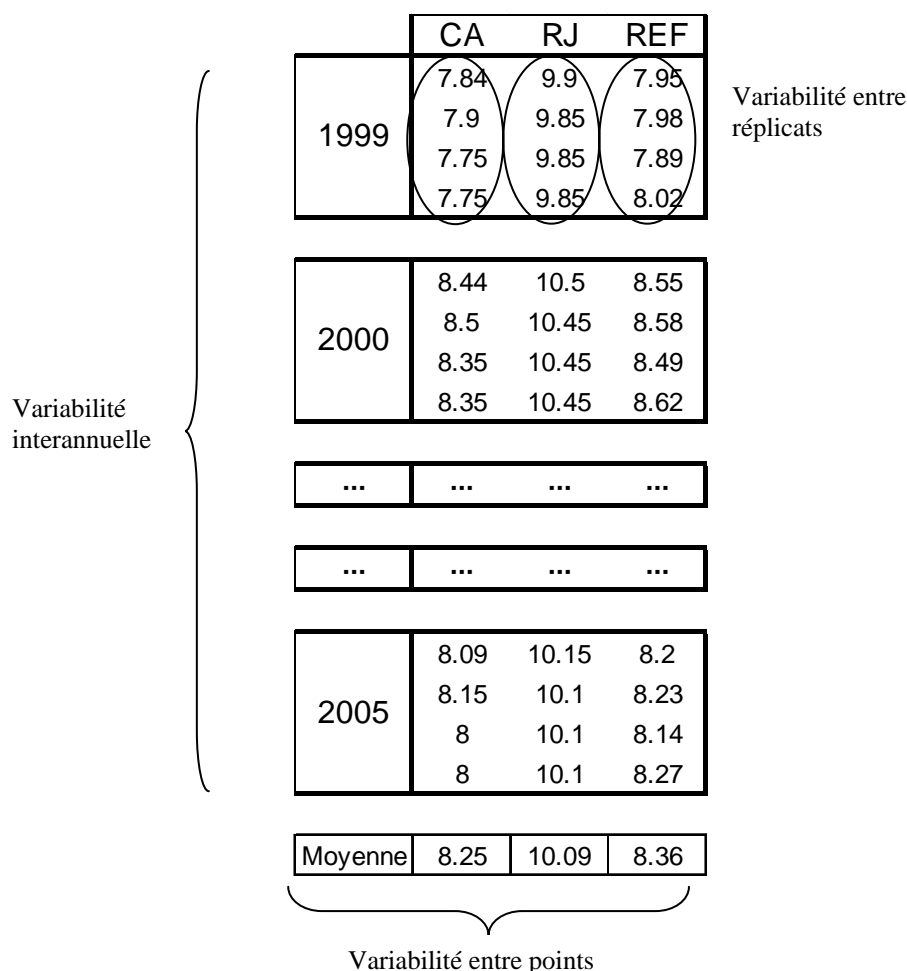


Figure 8 : Schéma de l'étude de la variabilité réalisée sur les paramètres avec répliqués à Paluel (mesures du printemps)

Dans le tableau 4 sont présentés les variances pour chaque groupe et par paramètre.

Paramètre	S ² point	S ² an	S ² réplicats
T°	52,1	3,6	0,19
S‰	0,37	15,7	0,03
NH ₄	1,85	8,07	0,2
NO ₂ +NO ₃	68	2423	2,3
Chla	208	642	6,2

Tableau 4 : Valeurs de variance estimées pour les critères « point », « an » et estimation de variances résiduelles (réplicats)

Cette étude nous permet de constater que la variabilité d'échantillonnage à petite échelle estimée à partir des réplicats est toujours inférieure à celle liée aux deux autres critères. Elle est au maximum égale à 10,8 % dans le cas de l'ammonium (par rapport au critère 'point') et sa valeur minimale est 0,09 % pour le paramètre nitrate plus nitrite (par rapport au critère 'an'). Nous concluons donc, que l'augmentation de la précision obtenue par l'exécution des réplicats n'apporte pas d'amélioration dans l'analyse des tendances ou des différences spatiales à plus grande échelle, et elle est donc inutile.

Les analyses des bactéries revivifiables et des vibrions halophiles, paramètre plus sensible du fait de la dimension santé publique et de l'évolution de ce compartiment depuis quelques années, pourraient être réalisées à partir de deux réplicats afin de se prémunir des éventuelles pertes des échantillons ou des problèmes lors des analyses.

En conclusion, nous proposons donc, d'effectuer une seule mesure par paramètre et par point de suivi pour les paramètres du domaine pélagique, à l'exception de la microbiologie.

4. BIBLIOGRAPHIE

BRYLINSKI, J.M., LAGADEUC, Y., GENTILHOMME, V., DUPONT, J.-P., LAFITTE, R., DUPEUBLE, P.-A., HUAULT, M.-F., AUGER, Y., PUSKARIC, E., WARTEL, M. & CABIOCH, L. 1991
Le fleuve côtier, un phénomène hydrologique important en Manche Orientale. Exemple du Pas-de-Calais. *Oceanologica Acta*, 11, 197-203

Zubkov, M.V., Sleigh, M.A., Tarran, G.A., Burkill, P.H., Leakey, J.G. 1998
Picoplanktonic community structure on an atlantic transect from 50 °N tu 50 °S. *Deep-Sea Res.*
I 45-1339-1355

ANNEXES

PALUEL

Dès 2008	Points de prélèvement	Paramètres étudiés	Prélèvements
DOMAINE PELAGIQUE			
Hydrologie	Canal d'amenée (CA) surface	Température Salinité Turbidité	1xCA 1xRJ 1x REF
		NH ₄ , NO ₃ , NO ₂ , PO ₄ , Si(OH) ₄	1xCA 1xRJ 1x REF
	Rejet (RJ) surface	Trihalométhanes	1xCA 1xRJ 1x REF
Phytoplancton		Chlorophylle <i>a</i>	1xCA 1xRJ 1x REF
		Abondance	1xCA 1xRJ 1x REF
Microbiologie	Référence (REF) Surface	Germes revivifiables Vibrions halophiles	2xCA 2xRJ 2x REF
Zooplancton		Abondance	1x REF

Tableau récapitulatif : paramètres et nombre de réplicats proposés dans le domaine pélagique pour la centrale de Paluel dès 2008 avec trois campagnes par an centrées sur les mois de mars, juin et septembre